

УЧРЕДИТЕЛИ:

Министерство
образования и науки
правительства Омской области,
технический университет,
Сибирская автомобильно-
дорожная академия,
аграрный университет,
медицинская академия,
государственный университет,
педагогический университет,
институт сервиса,
НПЦ «Динамика»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

В.Я. Никитин –
министр образования
Н.С. Жилин –
д-р техн. наук
(главный редактор)
А.П. Моргунов –
д-р техн. наук
(зам. главного редактора)
В.О. Бернацкий –
д-р филос. наук
(зам. главного редактора)
П.Д. Балакин –
д-р техн. наук
Г.И. Бумагин –
д-р техн. наук
В.Я. Волков –
д-р техн. наук
В.Н. Горюнов –
д-р техн. наук
В.В. Карпов –
д-р экон. наук
А.А. Колоколов –
д-р физ.-мат. наук
А.В. Кононов –
д-р мед. наук
В.Н. Костюков –
д-р техн. наук
В.А. Лихолобов –
д-р хим. наук
В.А. Майстренко –
д-р техн. наук
В.И. Потапов –
д-р техн. наук
А.Г. Патюков –
д-р мед. наук
О.М. Рой –
д-р социолог. наук
Л.О. Штриплинг –
д-р техн. наук

Ответственный секретарь –

канд. ист. наук Г.И. Евсеева

Редакторы –

Л.Н. Лиценбергер

Л.В. Капанина

Компьютерная верстка

М. Жёлтенький

Макет обложки

В.С. Гуринов

Зарегистрирован Сибирским окружным

межрегиональным территориальным

управлением Минпечати РФ.

Свидетельство № ПИ 12-0871 от 01.10.2001 г.

Подписной индекс 83597

© Редакция журнала

«Омский научный вестник»

Подписано в печать 21.12.06. Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 42,25. Уч.-изд. л. 59,2. Бумага офсетная.

Отпечатано на дупликаторе на кафедре «Дизайн,
реклама и технология полиграфического производства».

Тираж 1000 экз. (2-й завод 1-200). Заказ _____.

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

- А.Т. Когут.** Численные алгоритмы решения нелинейных уравнений с использованием высших производных. 5
А.А. Наумов. Исследование свойств эффективных стратегий экспериментирования. 8

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- В.Н. Паутов.** Начальные стадии образования AgCNS на серебре и сплава Au-Ag на золоте. 12

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

- Ю.В. Кузнецова, Вал.И. Суриков, Вад.И. Суриков, С.В. Данилов, Э.М. Ярош.** Фазовый переход Мотта-Пайерлса в диоксиде ванадия. 15
О.В. Кропотин, Ю.К. Машков, В.А. Егорова, М.В. Тренихин, Н.Н. Войтенко. Исследование структуры и фазового состава ультрадисперсного скрытокристаллического графита. 19
Вал.И. Суриков, О.В. Кропотин, З.Н. Овчар, В.А. Егорова. Влияние углеродных наполнителей на вязкоупругие свойства наполненного политетрафторэтилена. 24
Н.Г. Макаренко. Технические системы с электрохимико-механическим воздействием на поверхностный слой деталей машин. 29
В.В. Акимов, А.Ф. Мишуров, М.С. Корытов, М.В. Пластинина, Ю.К. Корзунин. Влияние термообработки на изменение микротвердости и фазовый состав твердых сплавов TiC-TiNi. 31
Д.В. Постников. Модель перераспределения элементов в сталях при облучении пучками заряженных частиц. 33
А.В. Гулькин, Д.В. Постников. Радиационно-термическое повреждение поверхности бериллия в условиях облучения сильноточным пучком электронов. 37
И.А. Чакурин, П.А. Корчагин. Микрорельеф. Методы формирования возмущающих воздействий. 41
В.П. Расщупкин, М.С. Корытов. Модифицирование высокопрочного чугуна РЗМ. 44
Д.В. Лаврик, В.И. Гурдин. Основные аспекты решения тепловой задачи при моделировании литейных процессов. 47
В.В. Ушаков, В.В. Мирошниченко. Анализ насыпной плотности сухих цементных штукатурных смесей различных составов с добавкой золы-уноса ТЭЦ-4 г. Омска. 50
А.Н. Леонтьев, В.П. Расщупкин, Г.А. Голощапов. Об автордиографическом методе изучения распределения элементов между фазами стали и чугуна. 52

МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Ю.А. Бурьян, В.Н. Сорокин, Г.С. Русских.** Низкочастотный скважинный источник упругих волн. 57
В.Г. Мальцев. Закономерности формообразования наружных цилиндрических поверхностей методом точения при одно- и двухпроходном снятии припуска на обработку. 61
Д.В. Ситников. Синтез системы управления электродинамическим вибратором. 65
Г.А. Нестеренко, И.О. Щука. Вихревая труба – антиэжектор. 68
И.И. Ширлин. К вопросу определения оптимальных размеров калильного тела. 73
В.В. Евстифеев, А.А. Александров, И.С. Лексутов. Построение технологических процессов точной объемной штамповки изделий с многогранной наружной поверхностью. 77
И.А. Чакурин. Математическая модель исполнительного контура гидропривода мобильных машин. 82

Отклоненные материалы
не возвращаются.

**ТРЕБОВАНИЯ
К ОФОРМЛЕНИЮ
НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ
В «ОНВ»**

О содержании. В заключительной части статьи необходимо отразить новизну результатов исследования, область их применения, указать конкретные предприятия, организации, в которых рекомендуется использование выводов, полученных автором. Просим акцентировать полезность научных разработок для Омского региона.

Об оформлении. Статью необходимо набрать на компьютере в редакторе *Word* версии не более ранней, чем *Word 2000*, распечатать на бумаге форматом А4 (210×297 мм).

Оригинал должен быть чистым, не согнутым, без ручных правок, страницы пронумерованы на обороте. Окончательный вариант статьи не должен содержать более 12 страниц. Наряду с распечатанной представляется электронная версия на дискете 3.5 дюйма, CD или DVD, в некоторых случаях допускается пересылка материала по электронной почте.

Поля. Сверху и снизу — по 2,5, слева и справа — по 2 см.

Заголовок и аннотация. В верхнем левом углу листа проставляется УДК. Далее по центру шрифтом *Times New Roman Cyr* размером 10 пт — инициалы, фамилия автора, строкой ниже — полное название организации. Ниже по центру шрифтом 12 пт печатается название статьи и через строку — аннотация обычным шрифтом 10 пт.

Не допускаются (!):

- набор всех указанных текстов прописными (заглавными) буквами;
- жирным шрифтом;
- помещение всех указанных элементов в рамки и имитация оформления набора, выполняемого в журнале.

Ниже через 1-2 строки помещают основной текст статьи.

Основной текст статьи набирается шрифтом *Times New Roman Cyr* 10 или 12 пт. Абзацный отступ 0,5 см. Межстрочный интервал полуторный.

Не допускаются (!):

- наличие в тексте двух и более пробелов подряд;
- знаков табуляции;
- имитация выключки и абзацного отступа пробелами и знаком табуляции.

Ссылки на литературные или иные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки (например, [1]). Ссылки должны быть последовательно пронумерованы (сквозная, а не постраничная нумерация). Сам библиографический список помещается после основного текста.

Примечания оформляются числами в виде верхнего индекса. Примечания должны быть последовательно пронумерованы (сквозная, а не постраничная нумерация). Тексты примечаний помещаются после основного текста перед библиографическим списком.

Формулы. Простые внутрострочные и однострочные формулы должны быть набраны без использования специальных редакторов — символами (допускается использование (вставка) специальных

А.В. Черняков, Р.А. Зверков. Исследование процесса сепарации мелких частиц через слой зерна и отверстия решета на цилиндрических качающихся решетках.

86

ТРАНСПОРТ

А.В. Климович, А.А. Кообар, А.В. Харламова. Построение оптимального графика движения поезда по заданному участку при помощи целевой функции.

88

С.С. Сероштанов, С.А. Лунев. Применение математического аппарата конформных отображений для непрерывного контроля и прогнозирования состояния тональных рельсовых цепей.

91

Е.И. Сквородников, С.М. Овчаренко, А.М. Минитаева, С.В. Мочалова, М.В. Тарута. Разработка математической модели для оценки степени экологического воздействия транспортных двигателей на окружающую среду.

95

П.В. Безобразов. Моделирование участка трубопровода значительной протяженности при нестационарных режимах работы систем с турбокомпрессорами.

100

П.А. Корчагин, В.В. Столяров. Математическая модель системы "Экскаватор — человек — оператор".

103

Н.В. Дорошенко, С.В. Дорошенко. Особенности подбора номенклатуры моторных масел для смешанного парка мобильной техники.

106

ЭНЕРГЕТИКА

А.Н. Новожилов, О.А. Андреева, М.П. Воликова, А.А. Гаспарян, Т.А. Новожилов. Метод формирования системы уравнений математической модели электрических машин и трансформаторов в эксплуатационных режимах.

108

П.В. Рысев, Д.В. Рысев. Моделирование процессов в нелинейной диссипативной системе двух автономных генераторов с различными типами связи.

112

В.А. Бороденко. Универсальное устройство противоаварийной автоматики подстанции с электродвигателями.

117

М.Я. Клецель, К.И. Никитин, А.С. Стинский. Универсальный алгоритм функционирования направленной дифференциальной защиты линий.

121

В.В. Бирюков, В.И. Сопов, Ю.А. Прокушев, А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов. Исследование энергетических показателей режимов тяги и торможения троллейбусов.

124

В.П. Белоглазов. К вопросу о разработке метода расчета поперечно-струйного аэрофильтра.

129

С.В. Патрушев. Нормативно-правовой аспект экологических проблем при формировании межгосударственной энергетической структуры.

132

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С.В. Нопин, В.Г. Шахов. Разработка защищенных от несанкционированного доступа систем IP-телефонии на основе операционной системы Windows.

137

В.И. Потапов. Вычисление показателей надежности нейрокompьютерной системы с человеко-машинным комплексом контроля и управления процессом настройки и восстановления после отказов нейронной сети при абсолютной и конечной надежности человека.

143

О.С. Ефимова, Р.Т. Файзуллин. Применение собственных чисел при гаммировании текстов и идентификации языков.

146

В.А. Кульбида, О.П. Шафеева. Векторные коды и их компьютерное исследование.

152

В.Н. Задорожный. Комбинированный метод моделирования циклических систем обслуживания.

156

Л.Н. Иванов, Ю.А. Мезенцев. Модели синтеза расписаний параллельных обслуживающих систем.

164

А.В. Фофанов. Определение численных характеристик математической модели несанкционированного доступа к информационным ресурсам организации.

168

символов, например ϵ , \perp , \Rightarrow , из шрифтов Symbol, Greek Math Symbols, Math A, Math-PS, Mathematica BTT). Специальные сложные символы, например \bar{b} , \dot{r} , а также сложные и многострочные формулы, которые не могут быть набраны обычным способом, должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0.

Не допускаются (!):

– набор в основном тексте статьи простых латинских, греческих или специальных символов в редакторе формул;
– размещение формулы и ее порядкового номера в таблице.

Категорически запрещается набирать отдельные элементы формулы в редакторе формул, а другие – обычным образом. Формула должна быть целиком набрана либо в редакторе формул, либо – простым набором.

Набор всех не однострочных (!) формул должен быть осуществлен в редакторе формул Microsoft Equation 3.0 или MathType 5.0.

Таблицы должны быть последовательно пронумерованы (жирным шрифтом, например, «Таблица 1», с выравниванием вправо) и ниже – озаглавлены (заглавие набирается жирным шрифтом по центру).

Таблицы помещаются на новой странице в самом конце статьи, последовательно, согласно нумерации. В основном тексте должны содержаться лишь ссылки на них.

Если таблица имеет большой объем, она может быть помещена на отдельной странице, а в том случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации должны быть последовательно пронумерованы (обычным шрифтом, например, «Рис. 1», с выравниванием по центру) и ниже, если необходимо, – содержать подрисовочную подпись (обычным шрифтом с выравниванием по центру).

Иллюстрации размещаются на новой странице в самом конце статьи (после таблиц, если таковые имеются), последовательно, согласно нумерации.

Иллюстрация большого формата должна быть помещена на отдельной странице, а в том случае, когда она имеет значительную ширину, – на странице с альбомной ориентацией.

Иллюстрации могут быть сканированными с оригинала (в градациях серого с разрешением 150 dpi) или выполнены средствами компьютерной графики. Допускается, а в случае с иллюстрациями большого объема (файла) – **приветствуется размещение иллюстраций в отдельном файле** электронной версии.

Не допускаются:

– размещение иллюстраций в основном тексте, особенно – верстка (с одно-, двух- и трехсторонней обложкой текстом).

– сканирование в цветном режиме или с разрешением 300 dpi и более.

Если авторы по техническим причинам не могут представить электронные версии иллюстраций, в качестве иллюстраций принимаются черно-белые фотографии, рисунки, выполненные на компьютере или черной тушью от руки или распечатанные на лазерном принтере.

Тексты примечаний. Ниже основного текста набирается по центру жирным шрифтом заглавие «Примечания» и через строку помещаются тексты примечаний, пронумерованные числом в виде верхнего индекса (например, ¹⁾).

Библиографический список. Если в тексте есть ссылки на литературные или

С.А. Хрущев. Организация отказоустойчивого масштабируемого доступа к Oracle RDBMS из программ на Java. 173

В.В. Слободин. Информационные технологии эффективного управления взаимоотношениями с клиентами. 177

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Ю.М. Вешкурцев, А.Ю. Волков. Характеристическая функция мгновенных смещений частиц неограниченной упругой среды. 182

А.Т. Когут, А.В. Красулин, Д.В. Литовкин. Комплексная система диагностирования технического состояния радиотехнических и управляющих устройств подвижного состава. 186

Н.Ф. Подковко. Рефракционная модель комплексной диэлектрической проницаемости гетерогенных материалов. 189

В.А. Майстренко, И.В. Богачков, А.И. Елецкий, Е.А. Катунский. Экспериментальные исследования электродинамических свойств жидких веществ в микроволновом диапазоне. 193

БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ВЕТЕРИНАРНЫЕ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

Г.В. Барайщук, Л.И. Фролова. Действие биологических препаратов на динамику роста одно- и двулетних саженцев хвойных пород. 197

Н.А. Калинин, Н.Н. Никитина, Н.И. Сабаева. Эколого-биологические особенности восстановления растительного покрова после пожара. 202

С.С. Кролевец. Изучение сортов голозерного ячменя мировой коллекции ВИР в условиях Сибирского Прииртышья. 205

Н.В. Гаврилова, С.Ф. Лихачев. Гетеротрофные звеленовые жгутиконосцы водоемов южной части Омской области. 209

Г.В. Барайщук, О.Ф. Хамова. Биологическая активность почвы после применения экологически чистых препаратов при выращивании посадочного материала хвойных пород. 212

М.Ф. Гаус, Д.Н. Карев. Эффективность использования пород молочного скота в Омской области. 218

В.В. Лёушкина, Н.А. Поползухина, Н.А. Калашник. Интенсивность транспирации яровой мягкой пшеницы в связи с устойчивостью к бурой ржавчине. 221

О.Л. Гаврильченко. Физиологические особенности эволюционно различающихся сортов твердой пшеницы в условиях Западной Сибири. 224

В.Н. Сорока, В.А. Ершов. Совершенствование технологии возделывания озимой ржи по занятым парам в лесостепи Западной Сибири. 228

А.Р. Хамидова, М.Г. Абросимова, Б.Ю. Кассал. Экологический мониторинг популяций голубя сизого синантропного (*Columba livia* L.) в Омской области. 231

Ю.В. Москалец, С.Ф. Лихачев. Особенности репродуктивной стадии жизненного цикла трахеломонасов. 236

Е.В. Жирнова. Избирательность перитрих к объектам прикрепления. 238

С.Ф. Лихачев, Е.Е. Губанов. Таксономическое разнообразие паразитических простейших рыб из некоторых водоемов Омской области. 241

Т.А. Корчагина, С.Ф. Лихачев. Видовое разнообразие и численность эндобионтных инфузорий в разных отделах желудка лося. 244

Л.В. Черная, С.Ф. Лихачев. Видовое разнообразие форгутиных инфузорий овцы домашней *Ovis aries*. 247

А.А. Подкуйко, В.Г. Ощепков, Т.Г. Попова, В.С. Бронников. Антигенные и иммуногенные свойства химической (полусинтетической) противобруцеллезной вакцины ВНИИБТЖ. 250

С.Ф. Мелешков. Анализ выживаемости и прогнозирование ранних исходов урологического синдрома у кошек. 254

А.М. Монастырев, А.Н. Гизатуллин, А.П. Онищенко. Морфологические и биохимические показатели крови бычков при технологических стрессах. 257

иные источники информации, ниже основного текста (или текстов примечаний) печатается по центру заглавие «Библиографический список» и помещается пронумерованный перечень источников в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию.

Реферат статьи, предназначенный для публикации в реферативном журнале, помещается ниже иллюстраций или таблиц и составляется из 45-50 слов по следующему образцу:

Экспериментальное определение размеров деталей при вытяжке / Ковалев В.Г., Григорьев В.В. // Омский научный вестник — 2001. — Вып. 14. — С. 37-39. — Рус.

На основании проведенных исследований установлены качественные и количественные зависимости между отдельными параметрами процесса вытяжки: относительным зазором между пуансоном и матрицей, коэффициентом вытяжки, относительной и исходной толщиной заготовки и конечными значениями толщины стенки и диаметра цилиндрической детали по всей ее высоте. Ил. 3. Библ. 4.

Текст на английском языке. После реферата на русском языке приводится английский перевод заглавия статьи, фамилии автора, названия организации и реферата.

В ОРИГИНАЛЬНОЙ ВЕРСИИ СТАТЬИ, ПРЕДСТАВЛЯЕМОЙ В РЕДАКЦИЮ, НЕ ДОПУСКАЕТСЯ ИМИТАЦИЯ ОФОРМЛЕНИЯ ЖУРНАЛЬНОЙ ВЕРСТКИ

К распечатанному варианту статьи необходимо приложить следующие сведения об авторе: фамилия, имя, отчество; ученая степень, звание, должность, место работы, номер телефона, а также экспертное заключение об открытой публикации материалов; для авторов, не имеющих ученой степени, — рецензию специалиста с ученой степенью.

РЕДАКЦИЯ ВПРАВЕ ОТКАЗАТЬ В ПУБЛИКАЦИИ СТАТЬИ, ЕСЛИ ОНА НЕ СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫМ К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В «ОНВ».

Д.Н. Зеленевский, Г.А. Хонин. Морфология слюнных желез хоря золотистого.	260
М.М. Строкин, В.И. Околелов. Паразитофауна рыб Среднего Прииртышья.	263
С.А. Соловьев, Т.К. Блинова, К.В. Торопов, В.Н. Блинов. Структура, организация и характеристика населения птиц Тоболо-Иртышской лесостепи и степи в летний и зимний периоды.	265

МЕДИЦИНА

Ю.А. Кривенцев, Д.М. Никулина, Р.А. Бисалиева. Иммунохимический анализ концентрации фетального гемоглобина в крови новорожденных мальчиков и девочек с внутриутробной гипоксией.	272
В.И. Совалкин, Е.П. Подгурская, Н.А. Левицкая. Иммунологическая характеристика больных с плевральным выпотом различной этиологии.	275
Е.А. Байгозина, В.И. Совалкин, Т.И. Долгих. Роль интерферона-гамма в патогенезе острого повреждения легких и нозокомиальной пневмонии.	277
Т.Р. Ахметов. Иммуногистохимическая характеристика метаплазий, дисплазий и аденокарцином в пищеводе Барретта.	281
Е.А. Байгозина, В.И. Совалкин, А.В. Павлов, М.В. Подойников. Проблемы диагностики нозокомиальной пневмонии в многопрофильном стационаре.	284
Д.В. Наумов, В.Т. Долгих, В.А. Ахмедов, В.Э. Дворников. Фибрилляция предсердий как разновидность наджелудочковых тахикардий, отягощающая течение артериальной гипертензии.	286
Е.В. Репин, В.Т. Долгих, А.В. Ершов. Хронический простатит: современный подход к проблеме.	290
В.Ю. Соломин, И.А. Викторова, В.К. Федотов, Е.Ю. Солдатова. Плоскостопие как проявление дисплазии соединительной ткани у детей и подростков.	292
Т.Н. Федорова, А.В. Глотов, В.Г. Демченко. Эффективность реабилитации инвалидов вследствие профессионального бронхита и ХОБЛ.	297
И.В. Ашвиц. О некоторых показателях состояния здоровья воспитанников учебного заведения начального военного образования (на примере Омского кадетского корпуса).	301
Г.В. Кривчик. Иммунопатологическая составляющая и молекулярно-клеточные модификации в патогенезе фетоплацентарной недостаточности при инфекции.	303

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Р.А. Норышева, Н.В. Клак, А.И. Григорьев. Биоиндикация загрязнения воздушной среды экосистем г. Омска (сообщение второе).	307
П.П. Бобров, О.А. Ивченко, В.Н. Красноухова, Т.И. Пирогова. Сопоставление гидрофизических и диэлектрических почвенных констант.	313
Н.О. Игенбаева, И.В. Карнацевич. Локализации твердого стока рек — один из наиболее вероятных механизмов тектоники Земли.	318

Краткие сообщения

И.В. Карнацевич. Инопланетяне и изменения климата.	326
---	-----

Книжная полка	11, 14, 40, 19, 60, 64, 81, 85, 107, 116, 123, 131, 145, 163, 185, 192, 196, 204, 208, 235, 240, 243, 246, 264, 271, 280, 289, 306, 312, 317
Информация	23, 28, 136, 142, 155, 172
Новые научные разработки	36
Объявления	56, 67
Календарь научных мероприятий	76, 181
России имена	329
Contents	330

УДК 62.501.12

А. Т. КОГУТ

Омский государственный
университет путей сообщения

ЧИСЛЕННЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСШИХ ПРОИЗВОДНЫХ

В работе рассматривается алгоритм численного решения нелинейных уравнений с помощью методов линеаризации. В основе линеаризации лежит разложение нелинейных гладких функций в ряд Тейлора, позволяющее учитывать, кроме первых, вторые и высшие производные. Получен итерационный алгоритм с использованием второй производной, исследованы его свойства и доказано, что он обладает кубической скоростью сходимости. Рассмотрены обобщения на общий случай высших производных и приближение линейной комбинацией производных первого порядка, которое при выполнении определенных условий позволяет в неявной форме учитывать производные высших порядков. Показано, что хотя скорость сходимости остается кубической, предложенные алгоритмы являются более простыми по вычислительным затратам.

Введение

Существуют итерационные методы высших порядков для численного решения нелинейных уравнений, которые содержат вторые и более высокие производные [1], но в вычислительной практике наиболее популярен метод Ньютона, использующий первую производную и обладающий квадратичной скоростью сходимости. Целью работы является рассмотрение других подходов к построению

итерационных процедур, использующих вторые и высшие производные в линеаризации нелинейных гладких функций рядом Тейлора и аппроксимации, учитывающей высшие производные в неявном виде.

Получение итерационных методов

Допустим, что на интервале $[a, b]$ необходимо определить корень x^* нелинейного уравнения

$$f(x) = 0, \quad (1)$$

где $f(x)$ — достаточно гладкая функция.

Предположим, что существует k - е приближение к решению x^* задачи (1), и для $(k+1)$ -го итерационного шага представим $f(x_{k+1})$ рядом Тейлора вида:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + f'(x_k)\Delta x + O(\Delta x^2). \quad (2)$$

В формуле (2) разность

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k. \quad (3)$$

Отбрасывая в выражении (2) величину $O(\Delta x^2)$, полагая, как это обычно делается при выводе рекуррентных схем [1], [2], что

$$f(x_{k+1}) = 0 \quad (4)$$

и рассматривая (2) как уравнение относительно x_{k+1} , получаем, что

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}, \quad (5)$$

т.е. известный итерационный метод Ньютона [1].

В разложении (2) входит только первая производная. Введем в рассмотрение аппроксимацию $f(x_{k+1})$ отрезком ряда Тейлора следующего вида:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + f'(x_k)\Delta x + 0.5f''(x_k)\Delta x\Delta x. \quad (6)$$

Непосредственно из формулы (6) нельзя линейно выразить разность Δx , поэтому применим следующую процедуру линеаризации. Заменяем в аппроксимации (6) одну из разностей Δx , например в третьем слагаемом, на некоторую известную величину δx_{k+1} , тогда приближением для $f(x_{k+1})$ будет являться линейная относительно Δx модель:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + f'(x_k)\Delta x + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}\Delta x \quad (7)$$

или с учетом условия (4)

$$[f'(x_k) + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}]\Delta x = -f(x_k).$$

Применяя формулу для разности (3), получим:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k) + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}}. \quad (8)$$

Используя выражение (8), можно получить рекуррентную процедуру, только если известен или задан способ определения разности δx_{k+1} . Предположим, что

$$\delta x_{k+1} = \tilde{x}_{k+1} - x_k. \quad (9)$$

Значение \tilde{x}_{k+1} может быть вычислено по любому известному алгоритму, но для удобства анализа сходимости будем определять \tilde{x}_{k+1} по методу Ньютона:

$$\tilde{x}_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)}. \quad (10)$$

Таким образом, получим двухступенчатую рекуррентную процедуру второго порядка. Для $(k+1)$ -й итерации на первой ступени, используя известное приближение x_k , по формуле (10) вычисляется \tilde{x}_{k+1} , формируется в соответствии с (9) разность δx_{k+1} , на второй ступени подставляется в выражение (8) и определяется следующее значение x_{k+1} . Итерационная процедура продолжается до достижения заданной точности.

Линеаризация (7) достаточно просто обобщается на случай n производных и записывается в виде:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + \left[f'(x_k) + \sum_{i=2}^n \frac{1}{i!} f^{(i)}(x_k) (\delta x_{k+1})^{i-1} \right] \Delta x. \quad (11)$$

и на ее основе получаются рекуррентные процедуры типа (8).

Непосредственное определение высших производных не требуется, если ввести следующую аппроксимацию:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + \left[\sum_{j=1}^m \sigma_j f'(x_k + a_j \delta x_{k+1}) \right] \Delta x. \quad (12)$$

Неизвестные значения параметров a_j , σ_j при заданном m могут быть вычислены путем сравнения соответствующих коэффициентов при разложении $f'(x_k + a_j \delta x_{k+1})$ в многочлены Тейлора степени $2m$ с представлением (11), если применять $n = 2m$.

Заменяя первые производные в (12) многочленом Тейлора, получим:

$$\begin{aligned} f(x_{k+1}) = & f(x_k) + [\sigma_1(f'(x_k) + a_1 \delta x_{k+1} f''(x_k) + \\ & + \frac{(a_1 \delta x_{k+1})^2}{2!} f^{(3)}(x_k) + \dots + \frac{(a_1 \delta x_{k+1})^{2m-1}}{(2m-1)!} f^{(2m)}(x_k)) + \\ & + \sigma_m(f'(x_k) + a_m \delta x_{k+1} f''(x_k) + \frac{(a_m \delta x_{k+1})^2}{2!} f^{(3)}(x_k) + \\ & + \frac{(a_m \delta x_{k+1})^{2m-1}}{(2m-1)!} f^{(2m)}(x_k))] \Delta x. \end{aligned} \quad (13)$$

Раскрывая в разложении (13) скобки, группируя по производным и сравнивая с коэффициентами при соответствующих производных в формуле (11) при $n = 2m$, получим систему из $2m$ нелинейных уравнений для неизвестных σ_j и a_j :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sigma_i = 1, \\ \sum_{i=1}^m \sigma_i a_i^j = \frac{1}{j+1}, \quad j = 1, 2, \dots, 2m-1. \end{cases} \quad (14)$$

Аналогичные условия получены в [2] при численном решении обыкновенных дифференциальных уравнений.

С учетом формул (4) и (12) получим в окончательном виде:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{\sum_{j=1}^m \sigma_j f'(x_k + a_j \delta x_{k+1})}. \quad (15)$$

Двухступенчатая рекуррентная процедура формируется так же и для алгоритма второго порядка (8).

Анализ сходимости

Подставим в алгоритм второго порядка (8) выражения (9), (10), вычтем из левой и правой части значение x^* и запишем:

$$x_{k+1} - x^* = x_k - x^* - \frac{f(x_k)}{f'(x_k) - 0.5f''(x_k) \left[\frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \right]}.$$

Перепишем в виде

$$x_{k+1} - x^* = x_k - x^* - \frac{\left[\frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \right]}{f'(x_k) - 0.5f''(x_k)} \left[\frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \right]$$

и, учитывая, что в соответствии с [1]

$$\frac{f(x_k)}{f'(x_k)} = (x_k - x^*) - 0.5 \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2, \quad (16)$$

где ξ заключено между x^* и x_k , получим:

$$x_{k+1} - x^* = x_k - x^* - \left[(x_k - x^*) - 0.5 \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2 \right]$$

$$\frac{f'(x_k)}{f'(x_k) - 0.5f''(x_k)} \left[(x_k - x^*) - 0.5 \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2 \right]$$

Приведем к общему знаменателю и запишем:

$$x_{k+1} - x^* = \frac{0.5 [f''(\xi) - f''(x_k)] (x_k - x^*)^2 + 0.25 \frac{f''(x_k)f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^3}{f'(x_k) - 0.5f''(x_k) \left[(x_k - x^*) - 0.5 \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2 \right]}. \quad (17)$$

Введем обозначения:

$$m_1 = \min_{y \in [a, b]} |f'(y)|; \quad M_{21} = \max_{y \in [a, b]} \frac{|f''(y)|^2}{|f'(y)|};$$

$$M_3 = \max_{y \in [a, b]} |f^{(3)}(y)|.$$

Естественно, что выполняется следующее:

$$|f''(\xi) - f''(x_k)| \leq M_3 |\xi - x_k| \leq M_3 |x_k - x^*|, \quad (18)$$

поэтому для формулы (17) можно записать:

$$|x_{k+1} - x^*| \leq \frac{0.5M_3 + 0.25M_{21}}{|f'(x_k) + O(x_k - x^*)|} |x_k - x^*|^3. \quad (19)$$

Оценим знаменатель в (19). При достаточно малом

$|x_k - x^*|$ выполняется условие

$$|O(x_k - x^*)| < \frac{m_1}{2}.$$

Теперь допустим, что для знаменателя выполняется требование

$$|f'(x_k) + O(x_k - x^*)| < \frac{m_1}{2}.$$

Тогда

$$|f'(x_k) + O(x_k - x^*)| + |O(x_k - x^*)| < m_1,$$

но в силу неравенства треугольника

$$|f'(x_k) + O(x_k - x^*)| + |O(x_k - x^*)| \geq |f'(x_k)|$$

и

$$|f'(x_k)| < m_1,$$

что противоречит определению величины m_1 .

Следовательно, для знаменателя формулы (19) должно выполняться:

$$|f'(x_k) + O(x_k - x^*)| \geq \frac{m_1}{2}.$$

Окончательно неравенство (19) можно записать в виде

$$|x_{k+1} - x^*| \leq \frac{2M_3 + M_{21}}{2m_1} |x_k - x^*|^3,$$

в соответствии с которым алгоритм второго порядка (8) обладает кубической скоростью сходимости, т.е. на порядок выше, чем итерационный метод Ньютона.

Аппроксимация (12) является приближением к разложению (11), поэтому для анализа сходимости рекуррентной процедуры (15) проверим, как изменится по сравнению с формулой (8) сходимость алгоритма:

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k) + \frac{1}{2}f''(x_k)\delta x_{k+1} + \frac{1}{6}f^{(3)}(x_k)(\delta x_{k+1})^2}. \quad (20)$$

Как и прежде, вместо δx_{k+1} подставим выражение (9), учтем формулу (10), вычтем из левой и правой частей x^* и получим:

$$x_{k+1} - x^* = x_k - x^* -$$

$$\frac{f(x_k)}{f'(x_k) - \frac{1}{2}f''(x_k) \left[\frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \right] + \frac{1}{6}f^{(3)}(x_k) \left[\frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \right]^2}.$$

С учетом условия (16) запишем:

$$x_{k+1} - x^* = x_k - x^* - \left[(x_k - x^*) - \frac{1}{2} \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2 \right]$$

$$\frac{f(x_k)}{f'(x_k) - \frac{1}{2}f''(x_k)\Phi(x_k, x^*, \xi) + \frac{1}{6}f^{(3)}(x_k)\Phi(x_k, x^*, \xi)^2},$$

где

$$\Phi(x_k, x^*, \xi) = x_k - x^* - 0.5 \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2.$$

Приведем к общему знаменателю и запишем в сокращенном виде:

$$x_{k+1} - x^* = \frac{f'(x_k)(x_k - x^*)}{f'(x_k) + O(x_k - x^*)} -$$

$$\frac{\frac{1}{2}f''(x_k) \left[(x_k - x^*) - \frac{1}{2} \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2 \right]}{f'(x_k) + O(x_k - x^*)} +$$

$$\frac{\frac{1}{6}f^{(3)}(x_k) \left[(x_k - x^*)^2 - \frac{1}{2} \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^3 \right]}{f'(x_k) + O(x_k - x^*)} -$$

$$\frac{f'(x_k) \left[(x_k - x^*) - \frac{1}{2} \frac{f''(\xi)}{f'(x_k)} (x_k - x^*)^2 \right]}{f'(x_k) + O(x_k - x^*)}.$$

После приведения подобных можно представить в виде:

$$x_{k+1} - x^* = \frac{0.5[f''(\xi) - f''(x_k)](x_k - x^*)^2}{f'(x_k) + O(x_k - x^*)} + \frac{0.25 \frac{f''(\xi)f''(x_k)}{f'(x_k)}(x_k - x^*)^3 + O(x_k - x^*)^4}{f'(x_k) + O(x_k - x^*)}. \quad (21)$$

Сравним полученное выражение (21) с формулой (17). Отличие состоит в том, что в числителе равенства (21) добавляется малая величина $O(x_k - x^*)^4$, но сохраняется квадрат разности $(x_k - x^*)^2$, поэтому с учетом равенства (18) в алгоритме (20) не увеличивается скорость сходимости.

Таким образом, рекуррентная процедура (15) также обладает кубической скоростью сходимости и имеет преимущество по сравнению с итерационным методом (8), т.к. не требует вычисления вторых производных.

Заключение

Предложены итерационные алгоритмы численного решения нелинейных уравнений на основе

методов линеаризации гладких функций. Один подход использует аппроксимацию многочленом Тейлора второго порядка, достаточно просто осуществляется обобщение на учет высших производных. Второй метод использует специальную линейную комбинацию первых производных, вычисленных в определенных точках. Показано, что предложенные рекуррентные процедуры обладают кубической скоростью сходимости, что на порядок выше, чем метод Ньютона.

Библиографический список

1. Вержбицкий В.М. Численные методы (Линейная алгебра и нелинейные уравнения): Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 2000. — 266 с.
2. Крылов В.И., Бобков В.В., Монастырский П.И. Вычислительные методы. Том 2. — М.: Наука, 1977. — 400.

КОГУТ Алексей Тарасович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и системы управления», директор института автоматизации телекоммуникаций и информационных технологий (ИАТИТ).

Дата поступления статьи в редакцию: 28.09.06 г.
© Когут А.Т.

УДК 510+519.24/27:62-50

А. А. НАУМОВ

Новосибирский государственный
технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭФФЕКТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЯ

В работе исследованы свойства эффективных стратегий экспериментирования. Показана асимптотическая эффективность дисперсионной матрицы оценок параметров и слабая сходимость эффективных стратегий к соответствующим классическим оптимальным планам. Приведены примеры, иллюстрирующие асимптотические свойства для различных критериев эффективности и изменение законов распределений этих критериев.

1. Постановка задачи построения стратегий экспериментирования

Рассмотрим уравнение наблюдения

$$y(x) = \sum_{i=1}^k \theta_i f_i(x) + \varepsilon(x) \quad (1)$$

и будем полагать, что $\sum_{i=1}^k \theta_i f_i(x) = \theta^T f(x) = \eta(x, \theta)$ — уравнение регрессии, $\varepsilon(x)$ — случайная ошибка модели со свойствами $E(\varepsilon(x)) = 0$ и $E(\varepsilon^2(x)) = \sigma^2(x)$, $\sigma^2(x) > 0$, $x \in X$, $X \subset R^p$ и $\sigma^2(x)$ — неизвестная функция (E — символ математического ожидания), причем ошибки наблюдений являются

независимыми как для различных точек области X , так и для повторных наблюдений, проведенных в этих точках, и распределены одинаково, $f^T(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$ — базисный вектор регрессии (вектор непрерывных линейно независимых на области экспериментирования X функций), x — вектор размерности p входных контролируемых переменных, $y(x)$ — выходная наблюдаемая переменная, $\theta^T = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$ — вектор неизвестных параметров модели.

Предположим, что наблюдения проводятся в точках x_1, x_2, \dots, x_m (в точках спектра плана экспериментов ξ) в количестве n_1, n_2, \dots, n_m наблюдений в каждой из них соответственно и пусть

$$\Xi_d = \left\{ \xi = \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_m \\ n_1 & n_2 & \dots & n_m \end{pmatrix} \middle| x_i \in X, n_i - \text{целые}, \right.$$

$$\left. n_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, \sum_{i=1}^m n_i = N \right\}.$$

Множество точек спектра плана и результатов наблюдений за выходной переменной представим в виде

$$Y_\xi = \left\{ \begin{matrix} x_1, & x_2, & \dots, & x_m \\ y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1n_1} & y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2n_2}, & \dots, & y_{m1}, y_{m2}, \dots, y_{mn_m} \end{matrix} \right\}.$$

В случае, когда дисперсия $\sigma^2(x)$ неизвестна и обрабатываются данные Y_ξ , соответствующие плану экспериментов из множества Ξ_d , несмещенными и асимптотически эффективными оценками параметров θ являются оценки взвешенного метода наименьших квадратов:

$$\hat{\theta}_\xi = M^{-1}(\xi, y) Y_\xi, \quad (2)$$

где

$$M(\xi, y) = M_\theta(\xi) = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{\hat{\sigma}^2(x_i)} f(x_i) f^T(x_i) = F_1^T D_2^{-1} F_1,$$

$$Y_\theta = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{\hat{\sigma}^2(x_i)} f(x_i) \bar{y}_i = F_1^T D_2^{-1} \bar{y}, \quad F_1 = \begin{pmatrix} f^T(x_1) \\ \dots \\ f^T(x_m) \end{pmatrix},$$

$$D_2 = \text{diag} \left(\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{y}_i - y_{ij})^2 \right) = \text{diag}(\hat{\sigma}_{\bar{y}}^2(x_i)),$$

$$i = 1, 2, \dots, m, \quad \bar{y}_i = \frac{1}{n_i} \left(\sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \right), \quad i = 1, 2, \dots, m. \text{ Здесь}$$

$$\hat{\sigma}^2(x_i) = \hat{\sigma}_{\bar{y}}^2 = \frac{1}{(n_i - 1)} \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{y}_i - y_{ij})^2,$$

$n_i \geq 2, i = 1, 2, \dots, m$ – оценки функции $\sigma^2(x)$ в точках $x_i, i = 1, 2, \dots, m$.

Задача построения наилучшего (оптимального) плана экспериментов состоит в нахождении на множестве Ξ_d такого, который минимизировал бы некоторый функционал от точностной характеристики оценок параметров модели (или оценок самой модели). Так, если план эксперимента получается в соответствии с решением задачи минимизации некоторого критерия $\Phi(M^{-1}(\xi, y))$ от

матрицы $M^{-1}(\xi, y)$ (функционал $\Phi(M^{-1}(\xi, y))$ является непрерывным и выпуклым вниз на множестве матриц $M^{-1}(\xi, y), \xi \in \Xi_d$), то соответствующий план называется Φ -оптимальным и для него можно записать (см., например, [1] - [4]):

$$\Phi(M^{-1}(\xi^*, y)) = \min_{\xi \in \Xi_d} \Phi(M^{-1}(\xi, y)). \quad (3)$$

Здесь матрица $M^{-1}(\xi, y)$ является обратной для матрицы $M(\xi, y)$ и представляет собой дисперсионную матрицу оценок параметров модели. Этот функционал называют также критерием опти-

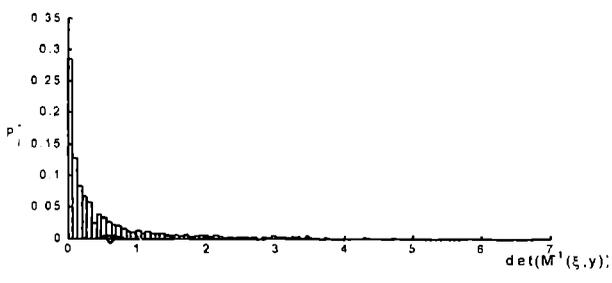


Рис. 1. Закон распределения $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$ при $i_{MM} = 100, \Delta h = 0,0696$

мальности (эффективности) планов экспериментов.

Назовем последовательность планов экспериментов $\xi_{(j)}$ - решений задачи

$$\Phi \left(M^{-1} \left(\xi_{(j-1)}^{*0} \dot{\cup} \xi_{(j)}^*, y \right) \right) = \min_{\xi_{(j)} \in \Xi_d} \Phi \left(M^{-1} \left(\xi_{(j-1)}^{*0} \dot{\cup} \xi_{(j)}^*, y \right) \right), j = 1, 2, \dots \quad (4)$$

– Φ -эффективными стратегиями экспериментирования, полученными на шаге с номером j , а соответствующие планы – решения задачи для случая, когда функция $\sigma^2(x)$ известна, – классическими Φ -оптимальными планами. Выше $\xi_{(j-1)}^{*0}$ – итоговая (накопленная) стратегия экспериментирования, полученная к j -му шагу,

$\xi_{(0)}^{*0}$ – начальная (заправочная) стратегия экспериментирования, смысл операции $\xi_{(j-1)}^{*0} \dot{\cup} \xi_{(j)}^*$ состоит в объединении стратегий $\xi_{(j-1)}^{*0}$ и $\xi_{(j)}^*$.

2. Асимптотические свойства стратегий экспериментирования

Последовательность оценок $\{\hat{\sigma}_i^2\}, i = 1, 2, \dots, m$ является состоятельной последовательностью, т.е. $\hat{\sigma}_i^2 \xrightarrow{P, n_i} \sigma^2(x_i)$ при $n_i \rightarrow \infty$ для всех $i = 1, 2, \dots, m$, т.е. она сходится по вероятности к $\sigma^2(x_i)$. Сходимость по вероятности, например, вида $\hat{\sigma}_i^2 \xrightarrow{P, n_i} \sigma^2(x_i)$, будем обозначать ниже через

$$P \lim_n \hat{\sigma}_i^2 = \sigma^2(x_i). \text{ Поскольку } P \lim_n \hat{\sigma}_i^2 = \sigma^2(x_i), \text{ то}$$

$$P \lim_n \frac{n_i}{\hat{\sigma}^2(x_i)} = \frac{n_i}{\sigma^2(x_i)} \quad \text{и, как следствие,}$$

$$P \lim_{n_{\min}} M(\xi, y) = M(\xi), \text{ где } \min\{n_1, n_2, \dots, n_m\} = n_{\min},$$

$$M(\xi) = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{\sigma^2(x_i)} f(x_i) f^T(x_i). \text{ Тогда, очевидно, вы-}$$

полняется и сходимость $P \lim_{n_{\min}} M^{-1}(\xi, y) = M^{-1}(\xi)$.

Поскольку функционал $\Phi(M^{-1}(\xi, y))$ является непрерывным и выполняется сходимость

$$P \lim_{n_{\min}} M^{-1}(\xi, y) = M^{-1}(\xi), \text{ то, таким образом, справедливо, что последовательность } \Phi(M^{-1}(\xi_{(j)}, y)),$$

$j = 1, 2, \dots$ сходится по вероятности при $n_i \rightarrow \infty, i = 1, 2, \dots, m$, к $\Phi(M^{-1}(\xi)), \xi \in \Xi_c$, т.е. выполняется

$$P \lim_{n_{\min}} \Phi(M^{-1}(\xi, y)) = \Phi(M^{-1}(\xi)).$$

Таблица 1

№ п/п	Значение параметра p	ξ^*	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	Оценка закона распределения
1	$p=0$	$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 3 & 3 & 3 \end{Bmatrix}$	2.2343	4.4979	J -образное β -распределение
2	$p=1$	$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 5 & 10 & 5 \end{Bmatrix}$	0.4824	3.5645	β -распределение
3	$p=1.3$	$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 6 & 13 & 6 \end{Bmatrix}$	0.3914	3.5327	β -распределение или логарифмически нормальное (близкое к нормальному)
5	$p=2.2$	$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 11 & 28 & 11 \end{Bmatrix}$	0.1650	3.0871	
6	$p=20$	$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 2 & 6 & 2 \end{Bmatrix}$	2.2499	6.0019	β -распределение
8	$p \rightarrow \infty$	$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ 2 & 6 & 2 \end{Bmatrix}$	2.6185	6.5382	

Если множество эффективных стратегий ограничить множеством

$$\Xi_{cd} = \left\{ \xi = \begin{Bmatrix} x_1, & x_2, & \dots, & x_m \\ p_1, & p_2, & \dots, & p_m \end{Bmatrix} \mid x_i \in X, \right. \\ \left. p_i = \frac{n_i}{N} \geq 0, i=1, 2, \dots, m, \sum_{i=1}^m p_i = 1 \right\}, \quad (5)$$

где величины n_i и N определены, а сами стратегии $\xi \in \Xi_{cd}$ представить в виде функций вида $\xi_d(x) = \sum_{x_i \leq x} p(x_i) = \sum_{x_i \leq x} p_i$ (аналогичных функциям распределения), то можно утверждать, что Φ -эффективные стратегии экспериментирования $\xi_{(j)}^*$, $j=1, 2, \dots$ сходятся по распределению к Φ -оптимальным классическим планам экспериментов ξ^* , построенным на множестве Ξ_c , т.е.

$$\xi_{(j)}^* \xrightarrow{d} \xi^* \Leftrightarrow \lim_{\substack{j \rightarrow \infty \\ (N \rightarrow \infty)}} \xi_{d(j)}^*(x) = \xi_d^*(x), \quad (6)$$

где $\xi_{(j)}^*$ – Φ -эффективная стратегия, полученная на j -м шаге; $\xi_{d(j)}^*(x)$ – функция, соответствующая $\xi_{(j)}^*$; $\xi_d^*(x)$ – функция для классического Φ -оптимального плана ξ^* . Таким образом, можно сделать вывод, что Φ -эффективные стратегии $\xi_{(j)}^*$, $j=1, 2, \dots$ слабо сходятся (или сходятся по распределению) к классическим Φ -оптимальным планам ξ^* при $n_i \rightarrow \infty, i=1, 2, \dots, m$ (или при $N \rightarrow \infty$).

3. Анализ поведения критериев $\Phi(M^{-1}(\xi, y))$ с использованием методов имитационного моделирования

Пусть базисный вектор модели имеет вид $f^T(x) = (1, x, x^2, x^3)$, область экспериментирования – отрезок $X = [-1; 1]$, ошибка наблюдений распределена по нормальному закону $\varepsilon \sim N(0; \sigma^2)$. Классический D -оптимальный план имеет вид

$$\xi^* = \begin{Bmatrix} -1.0 & -0.447 & 0.447 & 1 \\ 4 & 4 & 4 & 4 \end{Bmatrix}, N=16, NM=1000 \text{ (число}$$

модельных вычислений), $\sigma = 2$. На рис. 1 показан

эмпирический закон распределения функционала $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$. При этом $\Delta h = 0,0696$ (ширина интервалов), $I_{NM} = 100$ (количество интервалов разбиения области значений $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$),

$\delta_j^* = P_j^* \cdot 100\% = \frac{L_j}{NM} \cdot 100\%$, $j=1, 2, \dots, I_{NM}$, δ_j^* – эмпирические доли в процентах, L_j – количество реализаций выборки, попавших в j -й интервал,

$j=1, 2, \dots, I_{NM}$, $\sum_{j=1}^{I_{NM}} L_j = NM$, P_j^* – эмпирическая частность (доля). На рис. 1 также показаны значения

критерия для $\det(\sigma^2 M^{-1}(\xi^*)) = 0.7629$ (звездочка), среднее для модельных вычислений значение критерия $E_\varepsilon(\det(M^{-1}(\xi^*, y))) = 0.6098$ (треугольник). При этом наименьшее и наибольшее значения критерия эффективности составили: $\min_\varepsilon(\det(M^{-1}(\xi^*, y))) = 1.3674e-004$ и $\max_\varepsilon(\det(M^{-1}(\xi^*, y))) = 6.9976$ соответственно.

Анализ поведения случайной величины $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$ показывает, что примерно в 21,6% случаев всех модельных вычислений значение $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$ было больше значения функционала $\det(\sigma^2 M^{-1}(\xi^*))$ (асимптотического значения для $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$ и используемого в классической теории планирования экспериментов).

4. Оценивание законов распределения критериев эффективности

Для оценивания вида закона распределения значений функционалов $\Phi(M^{-1}(\xi^*, y))$, где ξ^* – Φ -оптимальный классический план эксперимента, воспользуемся методом плоскости моментов. С этой целью вычислим два параметра $\hat{\beta}_1$ и

$\hat{\beta}_2$ по формулам: $\hat{\beta}_1 = \left(\frac{\hat{\mu}_3}{\hat{\mu}_2^{3/2}}\right)^2$ и $\hat{\beta}_2 = \frac{\hat{\mu}_4}{\hat{\mu}_2^2}$, где

$\hat{\beta}_1$ – оценка квадрата коэффициента асимметрии, $\hat{\beta}_2$ – оценка коэффициента эксцесса, $\hat{\mu}_i$ – оценки центральных моментов случайной величины (например, для D -критерия это функционал $\det(M^{-1}(\xi^*, y))$) i -го порядка, $i=1,2,3,4$; в общем случае для Φ -критерия эффективности моменты вычисляются по формулам:

$$\hat{\mu}_i = \frac{\sum_{j=1}^{I_{NM}} \left(\Phi(M^{-1}(\xi^*, y))_{(j)} - \overline{\Phi(M^{-1}(\xi^*, y))} \right)^i r_j}{NM}. \quad \text{Здесь}$$

I_{NM} – количество интервалов, на которое разбита область значений функционала $\Phi(M^{-1}(\xi^*, y))$;

$\overline{\Phi(M^{-1}(\xi^*, y))} = E_c(\Phi(M^{-1}(\xi^*, y)))$ – усредненные по NM реализациям значения критерия $\Phi(M^{-1}(\xi^*, y))$; r_j – количество реализаций, попавших в j -й интервал; NM – общее число модельных вычислений.

Проведем исследование изменения закона распределения критерия $\Phi_p(M^{-1}(\xi^*, y))$ в зависимости от его параметра p . Для $f^T(x) = (1, x, x^2)$ и для $NM=1000$ модельных просчетов при $\varepsilon \sim N(0; \sigma^2) = N(0; 4)$ были получены следующие результаты (см. табл. 1).

На рис. 2 показано изменение вида закона распределения критерия эффективности $\Phi_p(M^{-1}(\xi^*, y))$ в зависимости от значения параметра p . Можно заметить, что с увеличением значения параметра p точки с координатами $(\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2)$ перемещаются вдоль некоторой дуги. Причем точки этой дуги наиболее близко подходят к точке плоскости, соответствующей нормальному закону распределения при $p=2.2$. Эта дуга начинается в области J -образного v -распределения, проходит вдоль этой области, входит в область v -распределения, подходит к точкам области, близким к нормальному распределению, и затем удаляется от точки нормального распределения, оставаясь в области v -распределения. Таким образом, все точки дуги находятся в двух подобластях области v -распределения плоскости моментов и не покидают их при всех значениях параметра $p \in (0; \infty)$.

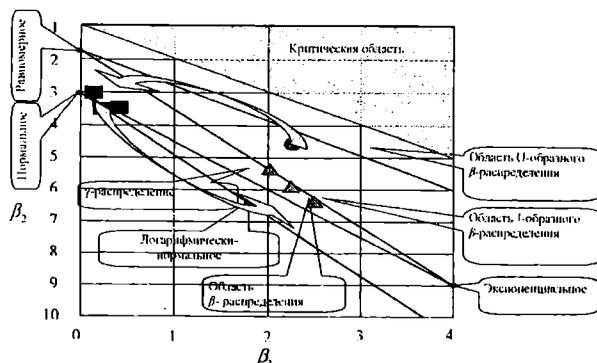


Рис. 2. Изменение вида закона распределения критерия эффективности $\Phi_p(M^{-1}(\xi^*, y))$ в зависимости от p

Выводы

1. В работе исследованы свойства эффективных стратегий экспериментирования. Показана асимптотическая эффективность дисперсионных матриц оценок параметров модели.

2. Показана слабая сходимость Φ -эффективных стратегий к классическим оптимальным планам при увеличении общего количества экспериментов ($N \rightarrow \infty$). Полученные результаты проиллюстрированы модельными вычислениями.

3. Исследованы вопросы оценивания законов распределения критериев эффективности в зависимости от вида этих критериев, которые могут быть использованы в алгоритмах построения стратегий экспериментирования.

Автор выражает признательность профессору В. И. Денисову за поддержку и внимание к данной работе.

Библиографический список

1. Kiefer J. General equivalence theory for optimum designs (approximate theory). // The Annals of Mathematical Statistics. – 1974. – Vol. 2. – No. 5 – P. 849 – 879.
2. Rao С.Р. Линейные статистические методы и их применение. – М.: Наука, 1968. – 548 с.
3. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 312 с.
4. Денисов В.И. Математическое обеспечение системы ЭВМ-экспериментатор. – М.: Наука, 1977. – 251 с.
5. Bandemer H. et al. Theorie und Anwendung der optimalen Versuchsplanung I. Handbuch zur Theorie. – Berlin: Akademie-Verlag, 1977. – 478 p.
6. Наумов А.А., Сенич В.В. Эффективное управление экспериментом. – Новосибирск: ОФСЕТ, 2003. – 254 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 09.06.06 г.
© Наумов А.А.

Книжная полка

Лавров И.А. Математическая логика: учеб. пособие / И.А. Лавров; ред.: А.Л. Максимова. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 240 с.

В учебном пособии изложены основы современного подхода к изучению математических теорий с привлечением логических понятий и методов, а также концепция программы Д. Гильберта о построении математических теорий аксиоматическим путем. Рассмотрены аксиоматические теории для множеств, натуральных и действительных чисел и для геометрии.

Для студентов вузов. Рекомендовано Минобразованием России.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 618.32

В. Н. ПАУТОВ

Новосибирский государственный
технический университет

НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ОБРАЗОВАНИЯ AgCNS НА СЕРЕБРЕ И СПЛАВА Au-Ag НА ЗОЛОТЕ

Разработана математическая модель поверхностных процессов применительно к методу неравновесного электродного импеданса. С помощью полученной модели изучен вид экспериментальных кривых. Исследованы начальные стадии хемосорбции и зародышеобразования в системах $\text{Ag}/(\text{NaCNS}+\text{Na}_2\text{SO}_4)$ и $\text{Au}/(\text{AgClO}_4+\text{HClO}_4)$. Получены параметры электродного процесса: ток обмена и адсорбционная емкость при нулевой частоте.

Исследование поверхностных явлений — необходимый этап разработки пленочных технологий при изучении адсорбции и зарождения новой фазы. С целью создания достаточно общего метода исследования была разработана математическая модель неравновесного электродного импеданса фазограничного процесса. Полученная математическая модель применена при изучении кинетики процесса начальных стадий образования фазы труднорастворимого соединения или фазы сплава.

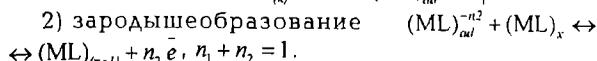
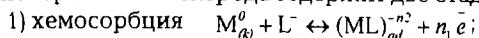
1. Механизм процесса с участием анионов

Процесс хемосорбции анионов L^- на электроде, выполненном из металла М, может завершаться образованием фазы труднорастворимого соединения

$\text{ML}_{(т)}$ на поверхности электрода. На начальном этапе, когда поверхность электрода лишь частично покрыта слоем молекул ML , потенциал электрода зависит не только от активности ионов L^- , но также от активности труднорастворимого соединения. Отношение активностей ML и М представим как отношение доли поверхности θ_{ML} , покрытой ML , к доле поверхности металла θ_{M} , свободной от адсорбата. Молекулы труднорастворимого соединения могут находиться на поверхности электрода в двух состояниях:

- 1) одиночные хемосорбированные молекулы $(\text{ML})_{\text{ад}}$;
- 2) зародыши новой фазы $(\text{ML})_x$, где x — число молекул в зародыше.

Механизм 1-го процесса образования новой фазы на поверхности электрода содержит две стадии:



В качестве примера стадий хемосорбции и зародышеобразования рассмотрено начальное образование AgCNS на серебре.

2. Процесс с участием катионов

Механизм 2-го процесса начального фазообразования может включать стадию диффузии катионов металла $M_1^{n_1+}$ из раствора к поверхности электрода (металл M^0) и кинетические стадии перехода вещества в новое состояние:

1) катион $M_1^{n_1+}$ переходит в адсорбционное состояние A_2 на поверхности чужеродного металла M^0 ,



2) частица занимает энергетически более выгодное положение, переходя в адсорбционное состояние A_1 , $M_{1ind}^{n_1+} + xM^0 + n_1 \bar{e} \leftrightarrow M_1M_x^0$, $A_1 = M_1M_x^0$.

Если адсорбционное состояние A_2 может быть только в виде аддона или адатома на плоскости, то адсорбционное состояние A_1 , в зависимости от условий, может иметь более сложный вид: интерметаллическое соединение на основе частиц адсорбата и атомов подложки, микроструктура твердого раствора двух металлов и т.д. Таким образом, адсорбционное состояние A_1 представляет собой начальное состояние (зародыши) при образовании фазы сплава.

В качестве примера стадий образования адсорбционных A_2 и A_1 рассмотрено начальное образование микроструктуры Au-Ag на золоте.

Для двух предлагаемых механизмов начальных стадий образования фазы составлены математические модели, получены уравнения, характеризующие зависимость компонент импеданса электродного процесса Z_{ep} от частоты ω . Показано, что зависимость реактивного компонента импеданса X_{ep} от активного R_{ep} на высоких и средних частотах выражается уравнением четверти круга (механизм процесса 1) или уравнением полукруга (механизм процесса 2). На низких частотах проявляется резкое увеличение значения X_{ep} при уменьшении частоты. Получены уравнения, показывающие зависимость степени заполнения поверхности от концентрации реагента и потенциала электрода [1, 2].

3. Анализ уравнений импеданса электродного процесса

В [1, 2] показано, что уравнение импеданса может иметь одинаковый вид для механизмов хемосорбции как роданид-анионов на серебре, так и катионов серебра на золоте. В общем виде уравнение импеданса электродного процесса Z_{ep} можно представить в виде функции частоты ω и семи не зависящих от частоты групп G_i ,

$$Z_{ep} = \frac{1 + (1-i) \cdot G_2 / \omega^{1/2} - i \cdot G_3 / \omega}{G_1 + (1-i) \cdot G_3 / \omega^{1/2} - i \cdot G_5 / \omega} - \frac{(1+i) \cdot G_6 / \omega^{3/2} - G_7 / \omega^2}{G_1 + (1-i) \cdot G_3 / \omega^{1/2} - i \cdot G_5 / \omega}, \quad (1)$$

где не зависящие от частоты группы $G_1 \dots G_7$ являются функциями частных производных, индивидуальных для хемосорбции ионов CNS⁻ и Ag⁺. Измерение импеданса было проведено в диапазоне

частот ω от 20 до 100 000 Гц. В экспериментах применялись серебряный и золотой микроэлектроды, поверхности которых обновлялись с помощью рубинового ножа непосредственно в изучаемом растворе.

Хемосорбция роданид-ионов на серебре. Экспериментальные исследования частотных зависимостей активного R_{ep} и реактивного X_{ep} компонентов импеданса электродного процесса Z_{ep} показали, что в концентрированных растворах зависимость (X_{ep}, R_{ep}) имеет форму четверти круга. Это соответствует случаю, когда в уравнении (1) можно ограничиться только группами G_1, G_2, G_3 . Получено уравнение четверти круга:

$$\left(R_{ep} - \frac{G_1 G_2 + G_3}{2 G_1 G_3} \right)^2 + \left(X_{ep} + \frac{G_1 G_2 - G_3}{2 G_1 G_3} \right)^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{G_1 G_2 - G_3}{G_1 G_3} \right)^2. \quad (2)$$

Центр окружности смещен по оси R_{ep} в положительную сторону на величину $(G_1 G_2 + G_3) / 2 G_1 G_3$, а по оси X_{ep} — в отрицательную сторону на величину $(G_1 G_2 - G_3) / 2 G_1 G_3$. На оси R_{ep} линия окружности отсекает величины $1/G_1$ и G_2/G_3 , если двигаться от точки максимума в область более высоких или более низких частот соответственно. В точке максимума частота ω_M связана с группами G_1 и G_3 соотношением $\omega_M = 2 G_3^2 / G_1^2$. Частоту максимума ω_M можно рассматривать в качестве границы между областями частот. Выше ω_M располагается высокочастотная область импеданса, а между частотой минимума ω_{min} и ω_M — область средних частот. Для разбавленных растворов NaCNS наблюдается низкочастотная область, расположенная ниже ω_{min} [3,4].

Экспериментальные зависимости X_{ep} от R_{ep} , полученные для серебряного электрода, помещенного в раствор (1 М · NaCNS + 0,67 М · Na₂SO₄), приведены на рис. 1. Плотность тока обмена, прямо пропорциональная величине G_1 , составляет 0,05 А/см².

Для разбавленных растворов (0,03...0,3 М NaCNS) получена низкочастотная емкость $C_{\omega \rightarrow 0} = 150 \dots 800$ мкФ/см².

Хемосорбция катионов серебра на золоте. Экспериментальные частотные зависимости X_{ep} и R_{ep} от ω показали, что имеется два характерных участка. В области высоких и средних частот вид зависимости (X_{ep}, R_{ep}) определяется уравнением полукруга [1, 5, 6]. Здесь главную роль играют группы G_1, G_4, G_5 , не связанные с диффузией ионов металла в растворе. Можно получить уравнение полукруга с центром на оси R_{ep} :

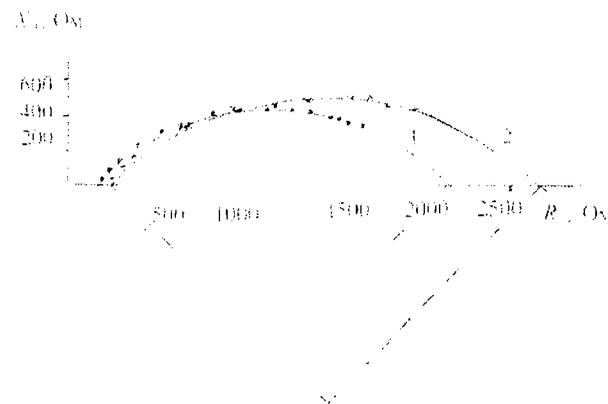


Рис. 1. Зависимость (X_{ep}, R_{ep}) для Ag-электрода в растворе (1 М NaCNS + 0,67 М Na₂SO₄). Потенциал электрода составляет 0,095 В (кривая 1) и 0,075 В (кривая 2)

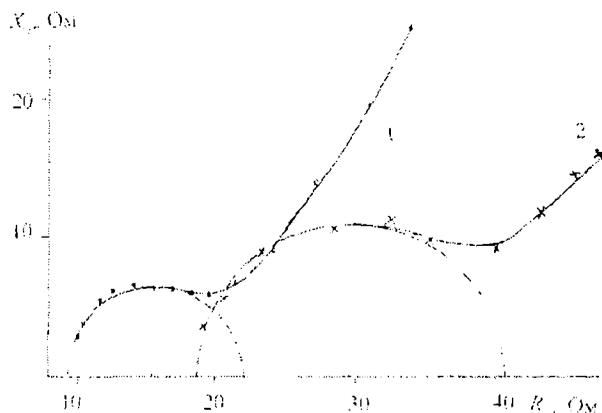


Рис. 2. Зависимость (X_{ep}, R_{cp}) для системы $Au / (8 \cdot 10^{-2} M AgClO_4 + 2 M HClO_4)$. Перенапряжение составляет 0,02 (кривая 1) и 0,04 В (кривая 2)

$$(R_{cp} - \frac{G_1 G_4 + G_5}{2 G_1 G_3})^2 + X_{ep}^2 = (\frac{G_1 G_4 - G_5}{2 G_1 G_3})^2 \quad (3)$$

При экстраполяции полуокружности на ось R_{cp} будут определены величины поляризационного сопротивления:

$$\omega \rightarrow \infty, R_{cp} \rightarrow 1/G_1; \quad \omega \rightarrow 0, R_{cp} \rightarrow G_4/G_5.$$

При частоте максимума ω_m реактивный компонент имеет максимальное значение. В точке максимума

$$\omega_m = \sqrt{G_5/G_1}.$$

При $\omega < \omega_{min}$ располагается область низких частот. На низких частотах, где $X_{ep} > R_{cp}$, имеет место соотношение

$$(X_{ep} - R_{cp})\omega = (G_7/G_5) - \omega G_4/G_5.$$

При экстраполяции в координатах $((X_{ep} - R_{cp})\omega, \omega)$ можно вычислить емкость при нулевой частоте $C_{\omega \rightarrow 0}$:

$$\omega \rightarrow 0, (X_{ep} - R_{cp})\omega \rightarrow G_7/G_5 = 1/C(\omega \rightarrow 0). \quad (4)$$

Экспериментальные зависимости (X_{ep}, R_{cp}) , полученные для золотого электрода, помещенного в раствор $(0,08 M AgClO_4 + 2 M HClO_4)$, приведены на рис. 2. Плотность тока обмена равна $1 A/cm^2$, емкость при нулевой частоте составляет $200 \dots 800 \mu F/cm^2$.

В заключение отметим основные результаты исследования.

1. Разработана математическая модель неравновесного электродного процесса, применимая для ряда различных поверхностных процессов.

2. Показано, что в области высоких и средних частот зависимость активного компонента импеданса от реактивного выражается уравнением четверти круга (2) или уравнением полуокружности (3), а в области низких частот путем экстраполяции можно найти адсорбционную емкость при нулевой частоте, уравнение (4).

3. Эксперименты подтвердили, что вид частотных зависимостей хорошо согласуется с кривыми, рассчитанными математически, рис. 1 и 2.

4. Согласие теории с экспериментом позволяет применить математическую модель для обработки экспериментальных кривых. Рассчитаны значения тока обмена и адсорбционной емкости для двух процессов: а) начального образования трудно-растворимого соединения $AgCNS$ на поверхности серебра; б) начального образования зародышей сплава $Au - Ag$ на поверхности золота.

Библиографический список

1. Паутов В.Н. Электрохимический анализ. Ч. 2. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 124 с.
2. Паутов В.Н. Механизм и кинетика процессов хемосорбции / Новосибирский гос. тех. ун-т. – Новосибирск, 2004. – 22 с. – Деп. в ВИНТИ 20.04.2004, № 659 – В2004.
3. Паутов В.Н. Адсорбция роданид-ионов на серебре // 8-й Всесоюзный симпозиум «Строение ДЭС и кинетика электродных процессов»: Сб. докладов. – Тарту: Изд-во Таллинского гос. ун-та, 1988. – С. 310–312.
4. Паутов В.Н. Хемосорбция и зародышеобразование с участием анионов и катионов // 8-й Международный Фрумкинский симпозиум «Кинетика электродных процессов»: Сб. докладов. – М.: Ин-т физической химии и электрохимии РАН, 2005. – С. 302.
5. Паутов В.Н. Электрохимический анализ. Ч. 1. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – 89 с.
6. Паутов В.Н., Бек Р.Ю. Изучение адсорбции ионов серебра на золоте методом импеданса // 7-й Всесоюзный симпозиум «Строение ДЭС и кинетика электродных процессов»: Сб. докладов. – Тарту: Изд-во Таллинского гос. ун-та, 1985. – С. 257 – 259.

ПАУТОВ В.Н., кандидат химических наук, доцент кафедры химии.

Дата поступления статьи в редакцию: 04.02.06 г.
© Паутов В.Н.

Книжная полка

Годнева М. М. Химия подгруппы титана: сульфаты, фторосульфаты, фториды из вод. сред / М. М. Годнева, Д. Л. Мотов; Ин-т химии и технологии ред. элементов и минер. сырья. – М.: Наука, 2006. – 16 л.

В монографии рассмотрено фазообразование соединений подгруппы титана в сернокислых системах с разграничением их полей образования, установлением химического состава и характеристик – рефрактометрических, рентгенометрических, термических и ИК-спектроскопических. Для ряда соединений показаны структура с параметрами элементарных ячеек и виды химических связей. Сопоставлены все полученные к настоящему времени соединения, что позволило систематизировать и прогнозировать образование в фторидно-сульфатных системах не выделенных до сих пор соединений, относящихся к сульфато-, фторосульфато-, фторометаллатам с одновалентными и поливалентными катионами.

Для химиков, специалистов в области технологии редких элементов и минерального сырья.

УДК 546.881.4

*Ю. В. КУЗНЕЦОВА
ВАЛ. И. СУРИКОВ
ВАД. И. СУРИКОВ
С. В. ДАНИЛОВ
Э. М. ЯРОШ

*Трест «Сургутнефтегеология»
Омский государственный
технический университет

ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД МОТТА-ПАЙЕРЛСА В ДИОКСИДЕ ВАНАДИЯ

В работе сообщаются результаты исследования температурных зависимостей магнитных, электрических свойств и теплоемкости диоксида ванадия в пределах области гомогенности. Совместная обработка полученных результатов позволила сделать вывод о своеобразной природе фазового перехода металл-полупроводник в этом соединении.

Как известно, фазовый переход металл-диэлектрик (ФПМД) в диоксиде ванадия – это фазовый переход 1 рода, происходящий при температуре $T_{MD} \sim 340$ К: выше T_{MD} VO_2 металл с тетрагональной симметрией решетки, а ниже – полупроводник с моноклинной симметрией решетки и шириной запрещенной зоны около 0,7 эВ [1]. Обе фазы являются парамагнитными, причем магнитная восприимчивость (χ) при переходе испытывает резкое изменение; также и теплоемкость (C_p) в окрестностях 340 К изменяется скачкообразно. Электросопротивление (ρ) для двух фаз различается на несколько порядков [2]. При этом дискутируется вопрос о том,

является ли данный переход электронным переходом Мотта, а возникающие структурные изменения лишь его сопровождают, или же это переход типа Пайерлса, когда доминируют структурные изменения, а перестройка электронной подсистемы – вторичный процесс [3].

Ранее [2] мы сообщали о том, что нами был синтезирован диоксид ванадия в пределах области гомогенности. Там же было сообщено об аттестации полученных образцов, в том числе рентгеноструктурном и гравитометрическом анализе, а также исследовании температурных зависимостей электрических, магнитных свойств и теплоемкости.

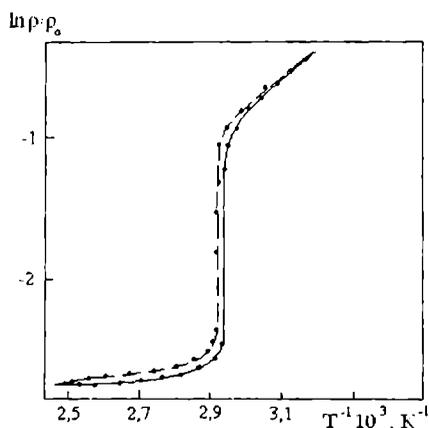


Рис.1. Температурная зависимость электросопротивления

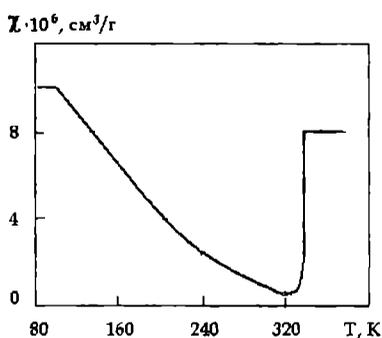


Рис.2. Магнитная восприимчивость VO_{2,001}

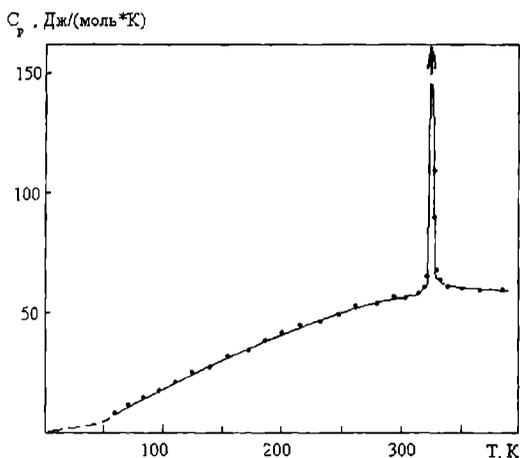


Рис.3. Температурная зависимость теплоемкости

На рисунках 1 – 3 приведены результаты исследований для образца, близкого по составу к стехиометрическому.

Анализируя полученные результаты, в первую очередь надо отметить, что полученные нами образцы являются порошкообразными. В силу примененного нами способа синтеза каждая порошокинка является неоднородной по объему. Это приводит к неодновременному по температуре фазовому переходу в различных микрообластях каждой отдельно взятой порошокинки. В зависимости от содержания кислорода в образце периферийный слой отдельной порошокинки либо обеднен (в случае реакции восстановления), либо обогащен (в случае реакции окисления) кислородом. При перемещении порошокинки от периферии к центру концентрация кислорода, скорее всего, меняется нелинейно, но, во всяком случае, меняется. Это и приводит к тому, что при исследовании теплоемкости и магнитной вос-

приимчивости такая неоднородность состава по объему каждой отдельно взятой порошокинки образца меняет температурную ширину ФПМП: она наименьшая для исходного образца и увеличивается для остальных препаратов независимо от содержания кислорода. Электрический ток при нашей методике исследования протекает по поверхностям порошокинок и не является в данном случае интегральной характеристикой.

Из полученных результатов по исследованию теплоемкости, магнитной восприимчивости и электросопротивления можно сделать вывод, что восстановленные образцы более неоднородны по своему составу (у них больше область температурной протяженности фазового перехода), нежели окисленные. Очевидно, диссоциация VO₂ протекает со значительно меньшей скоростью, чем окисление в токе кислорода.

Температуры ФПМП, определенные как температуры, соответствующие пику Cp(T), и определенные из данных по исследованию электросопротивления при нагревании образца (здесь T_{МД} определялась как температура, соответствующая температуре половине скачка ρ(T) при ФПМП, неплохо согласуются между собой (см. таблицу 1). Из-за большой температурной ширины изменения магнитной восприимчивости при ФПМП (~ 50 К) определение T_{МД} по данным χ(T) недостаточно корректно.

Хорошо известно, что для двуокиси ванадия наблюдается температурный гистерезис фазового перехода ФПМП. Для изученных образцов он может быть установлен по результатам изучения температурных зависимостей электросопротивления. Гистерезис для наших препаратов не превышает 10 К, имеет минимальное значение для образца VO_{2,001} (4,0 К) и меняется мало и бессистемно с изменением содержания кислорода. Необходимо отметить, что величина гистерезиса заметным образом зависит от температуры нагрева образца: чем выше (вблизи T_{МД}) нагрет образец, тем меньше величина гистерезиса [4]. В данной работе все образцы при определении гистерезиса фазового перехода нагревались до температуры 370 К. В таблице 1 приведены значения температур фазового перехода, определенные по данным исследования электросопротивления (T_{МД,ρ}) и теплоемкости (T_{МД,Cp}), а также температурный гистерезис перехода (ΔT_{МД}).

В таблице 2 представлены оценки изменения энтропии при фазовых переходах металл-диэлектрик для всех исследованных образцов. Изменение энтропии при фазовом переходе определялось из экспериментальных значений Cp(T):

$$\Delta S = \Sigma (\Delta C_p \Delta T / T), \quad (1)$$

Таблица 1

Значения T _{МД,ρ} , T _{МД,Cp} и ΔT _{МД}				
№ образца	Соединение	T _{МД,ρ} , К	T _{МД,Cp} , К	ΔT _{МД} , К
1	VO _{1,999}	338	338,0	4
2	VO _{1,995}	339	338,4	10
3	VO _{1,998}	339	339,6	6
4	VO _{2,001}	340	340,0	4
5	VO _{2,004}	342	340,5	6
6	VO _{2,009}	343	341,0	4

где ΔC_p — разность между экспериментальным значением теплоемкости и значением теплоемкости, определенным экстраполяцией регулярной ветви C_p из области ниже температуры фазового перехода для данного значения T , ширина шага ΔT принималась равной 0,5К. Значение T определялось как температура, соответствующая середине температурного шага.

В этой же таблице приведены значения характеристических температур Дебая θ_D для этих образцов, определенные при температуре 150 К. Вообще говоря, значения θ_D определены нами с некоторой погрешностью. Дело в том, что в таблице интегралов Дебая значения θ_D сопоставляются со значениями теплоемкости, определенными при постоянном объеме C_v , мы же измеряли теплоемкость при постоянном давлении C_p . Пересчет C_p на C_v возможен, но для этого необходимы знания коэффициента всестороннего сжатия α . Определение α требует достаточно сложной методики, и мы не определяли значения этого коэффициента.

Ранее мы показали [5], что порядок величины разности между C_p и C_v при низких температурах для соединений этого класса составляет не более 1%, и лишь при температурах, близких к комнатным, эта разность может превышать 4%. Поэтому для оценок характеристических температур при 150К мы не определяли C_v .

Изменение энтропии фазовых переходов ΔS для всех образцов с содержанием кислорода меньше стехиометрического практически одинаково и значительно превышает таковые (на 20 – 40%) для препаратов, содержание кислорода в которых превышает стехиометрический состав.

Значения характеристических температур Дебая, как видно из таблицы 2, в пределах области гомогенности изменяются экстремально, имея минимальное значение в окрестностях стехиометрического состава. Очевидно, это связано с тем, что в образцах как с меньшим, так и с большим содержанием кислорода атомные цепочки ванадия в рутильной фазе [1] испытывают искажения. Эти искажения связаны с дефектами кристаллической решетки типа «вычитания» и «внедрения», что, как известно, вызывает изменение граничных дебаевских частот, а следовательно, и температур Дебая.

Полученные нами экспериментальные данные позволяют разделить электронный и решеточный вклады как в теплоемкость металлической фазы (выше T_{MD}), так и изменения энтропии при фазовом переходе изученных оксидов ванадия.

Полагая, что скачок магнитной восприимчивости ($\Delta\chi$) при фазовом переходе, в основном, связан с добавочным вкладом в полную восприимчивость появлением в 3d-зоне ванадия электронов проводимости (свободных электронов), мы оценили плотности электронных состояний — вблизи уровня Ферми $N(E_F)$:

$$N(E_F) = \Delta\chi / 2\mu_B^2, \quad (2)$$

где μ_B — магнетон Бора.

С другой стороны, коэффициент электронной теплоемкости (γ) связан как с $N(E_F)$, так и с изменением электронной составляющей энтропии при фазовом переходе ($\Delta S_{эл}$):

$$\gamma = (2/3)(\pi k)^2 N(E_F); \quad (3)$$

$$\Delta S_{эл} = \gamma T_{MD}. \quad (4)$$

В выражении (3) k — постоянная Больцмана (расчет ведется на 2 спина).

Совместное решение уравнений (2) — (4) позволило определить коэффициенты электронной тепло-

Таблица 2
Изменение энтропии фазовых переходов ΔS и характеристические температуры Дебая θ_D для исследованных образцов

№ образца	Соединение	ΔS , Дж/К	θ_D , К
1	VO _{1,990}	25,2	1040
2	VO _{1,995}	25,5	950
3	VO _{1,999}	25,8	890
4	VO _{2,001}	16,5	700
5	VO _{2,010}	16,0	1090
6	VO _{2,030}	20,2	1190

Таблица 3
Значения экспериментально определенных $\Delta\chi$ и рассчитанных γ

№ образца	Соединение	$\Delta\chi \cdot 10^4$, г/см ³	$\gamma \cdot 10^4$, Дж/(моль·К ²)
1	VO _{1,990}	5,3	51
2	VO _{1,995}	9,2	88
3	VO _{1,999}	9,2	88
4	VO _{2,001}	7,0	67
5	VO _{2,010}	5,9	56
6	VO _{2,030}	6,1	58

Таблица 4
Значения $\Delta S_{эл}$ и $\Delta S_{реш}$ при фазовом переходе

№ образца	Соединение	$\Delta S_{эл}$, Дж/К	$\Delta S_{реш}$, Дж/К
1	VO _{1,990}	3,4	21,8
2	VO _{1,995}	6,0	19,5
3	VO _{1,999}	6,0	19,5
4	VO _{2,001}	4,6	11,9
5	VO _{2,010}	3,8	12,2
6	VO _{2,030}	4,0	16,2

емкости и электронную составляющую энтропии фазового перехода.

В таблице 3 приведены экспериментально определенные значения $\Delta\chi$, а также рассчитанные для всех исследованных образцов, лежащих по составу в пределах области гомогенности, значения коэффициентов γ .

Как видно из полученных результатов, в пределах области гомогенности с увеличением содержания кислорода в образце коэффициенты электронной теплоемкости изменяются экстремально, достигая максимального значения вблизи стехиометрического состава.

Совместное решение этих же уравнений (2) — (4) позволило оценить электронную $\Delta S_{эл}$ и решеточную $\Delta S_{реш}$ составляющие энтропии фазовых переходов. При этом решеточная составляющая энтропии оценивалась в предположении аддитивности энтропии при фазовом переходе, т.е.:

$$\Delta S = \Delta S_{эл} + \Delta S_{реш}. \quad (5)$$

В таблице 4 приведены рассчитанные значения $\Delta S_{эл}$ и $\Delta S_{реш}$ при фазовом переходе

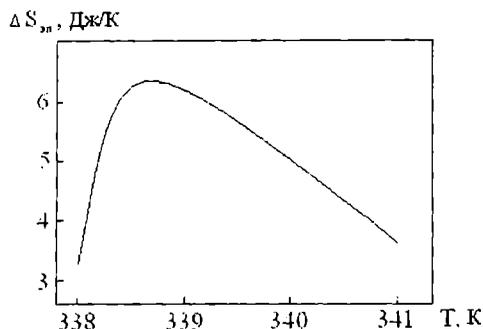


Рис. 4. Зависимость изменения электронной составляющей энтропии фазового перехода от температуры перехода

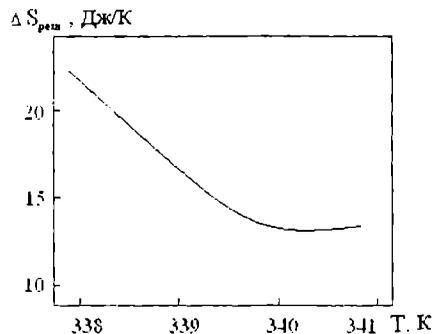


Рис. 5. Зависимость изменения решеточной составляющей энтропии фазового перехода от температуры перехода

Для наглядности на рис. 4 и 5 представлены зависимости $\Delta S_{эл}$ и $\Delta S_{реш}$ от температур фазовых переходов $T_{МА}$ для соответствующих образцов.

Из полученных результатов видно, что как $\Delta S_{эл}$, так $\Delta S_{реш}$ в достаточной степени коррелируют с $T_{МА}$. На наш взгляд, это может указывать на то, что и электронный механизм Мотта, и механизм Пайерлса в одинаковой степени определяют ФПМП в двуокиси ванадия.

Выводы

В ходе экспериментальных исследований были синтезированы порошковые образцы двуокиси ванадия, установлена их область гомогенности. Были изучены условия синтеза диоксида ванадия, выполнен рентгеноструктурный анализ полученных препаратов. Исследованы температурные зависимости электросопротивления, магнитной восприимчивости и теплоемкости [2].

Определены температуры фазового перехода ($T_{МА}$) металл-диэлектрик как методом исследования электросопротивления, так и теплоемкости. Температуры, определенные различными методами, достаточно хорошо согласуются друг с другом и в пределах области гомогенности возрастают с увеличением содержания кислорода в образце. Величина скачка электросопротивления максимальна для соединения, близкого к стехиометрическому $VO_{2,001}$ (~ 4 порядка), и уменьшается с изменением содержания кислорода в образце. Температурный гистерезис ФПМП не превышает 10 К, а энергия активации полупроводниковой фазы для различных образцов возрастает с увеличением содержания кислорода в образце (от 0,025 эВ для $VO_{1,990}$ до 0,110 эВ для $VO_{2,010}$). Исключение составляет $VO_{2,030}$, для которого энергия активации составляет 0,085 эВ.

Исследуемые образцы являются парамагнетиками как в полупроводниковом, так и металлическом состояниях. В области фазового перехода магнитная восприимчивость скачком возрастает с увеличением температуры, что связано с дополнительным вкладом в полную восприимчивость появлением в 3d-зоне ванадия электронов проводимости (свободных электронов).

Как показали результаты исследований температурной зависимости теплоемкости и их дальнейшая обработка, характеристические температуры Дебая изменяются экстремально с изменением содержания кислорода — θ_D минимальна для $VO_{2,001}$ (700 К) и возрастает с изменением содержания кислорода. Очевидно, это связано с тем, что в образцах как с меньшим, так и с большим содержанием кислорода атомные цепочки ванадия

испытывают искажения. Эти искажения связаны с дефектами кристаллической решетки типа «вычитания» и «внедрения», что, как известно, вызывает изменение граничных дебаевских частот, а следовательно, и температур Дебая. Изменение энтропии, связанное с фазовым переходом (ΔS), для всех образцов с содержанием кислорода меньше стехиометрического практически одинаково и значительно превышает таковые (на 20 — 40%) для препаратов, содержание кислорода в которых превышает стехиометрический состав.

Совместная обработка полученных результатов позволила оценить электронную $\Delta S_{эл}$ и решеточную $\Delta S_{реш}$ составляющие энтропии фазовых переходов. Корреляции этих параметров с $T_{МА}$ может указывать на то, что и электронный механизм Мотта, и механизм Пайерлса в одинаковой степени определяют ФПМП в двуокиси ванадия. Иными словами, здесь можно говорить о переходе Мотта-Пайерлса.

Библиографический список

1. Мотт Н.Ф. Переходы металл — изолятор. — М.: Наука, 1979, 344 с.
2. Суриков Вад.И., Суриков Вал.И., Кузнецова Ю.В., Данилов С.В. Влияние отклонения от стехиометрии на фазовый переход в двуокиси ванадия // *Материаловедение*. 2004. №1. С. 18-21.
3. Шадрин Е.Б., Ильинский А.В. О природе фазового перехода металл — полупроводник в диоксиде ванадия // *ФТТ*. 2000. т. 42. №6. с. 1092 — 1099.
4. Суриков Вад.И., Данилов С.В., Кузнецова Ю.В., Кропотин О.В. Электрические и теплофизические свойства двуокиси ванадия // *Фізико-хімія конденсованих структурно-неоднорідних систем: Матеріали III Всеукраїнської наукової конференції «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики»*. Київ, 1998. Ч.2. С.166.
5. Суриков Вад.И., Данилов С.В., Суриков Вал.И., Штольц А.К. Электронная теплоемкость V_1Ga и V_2O_3 при низких температурах // *Известия вузов, физика*. — 1981. — №4. — С. 112-114.

Кузнецова Юлия Вадимовна, ведущий геофизик треста «Сургутнефтегеология».

Суриков Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики.

Суриков Вадим Иванович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физики.

Данилов Сергей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики.

Ярош Эмилия Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики.

Дата поступления статьи в редакцию: 04.02.06 г.

© Кузнецова Ю.В., Суриков Вал.И., Суриков Вад.И., Данилов С.В., Ярош Э.М.

О. В. КРОПОТИН
Ю. К. МАШКОВ¹
В. А. ЕГОРОВА
М. В. ТРЕНИХИН²
Н. Н. ВОЙТЕНКО²

Омский государственный
 технический университет

¹Сибирская автомобильно-дорожная
 академия

²Омский научный центр СО РАН
 Институт проблем переработки
 углеводородов СО РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА УЛЬТРАДИСПЕРСНОГО СКРЫТОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГРАФИТА

Рассматриваются результаты экспериментальных исследований фазового состава и плотности ультрадисперсного скрытокристаллического графита марки ГЛС-3 (ГОСТ 5420-74), его структуры, размеров и особенностей поверхности частиц. СКГ используется в качестве наполнителя при структурной модификации полимерных композиционных материалов, и его свойства играют важную роль в формировании структуры композита.

Графит широко применяют во многих областях машиностроения и производстве материалов благодаря совокупности ценных физико-химических свойств: высокая жаропрочность, коррозионная и химическая стойкость, электропроводность, хорошие антифрикционные свойства. Он является одним из наиболее распространенных наполнителей антифрикционного назначения для различных полимеров, в том числе политетрафторэтилена (ПТФЭ) [1 - 4]. На процессы трения и изнашивания композиционных материалов на основе ПТФЭ влияют не только свойства матрицы, но и свойства наполнителя: природа наполнителя, его содержание, размер и форма частиц, свойства и геометрия его поверхности, а также другие характеристики. Следовательно, свойства наполнителя, размеры и поверхность его частиц во многом определяют характер и интенсивность взаимодействия на границе «наполнитель-полимер» и играют важную роль в формировании структуры матрицы и свойств композиционного материала (КМ). Изучение свойств наполнителя в связи с этим является необходимой составной частью материаловедческой задачи по изучению свойств КМ, включающего данный наполнитель. В последнее время при изготовлении КМ антифрикционного назначения на основе ПТФЭ в качестве наполнителя в Сибирском регионе часто используется ультрадисперсный скрытокристаллический графит (СКГ) марки ГЛС-3 (ГОСТ 5420-74), получаемый предприятием "Красноярскграфит" из природной графитовой руды методом размола. Сибирская графитовая руда содержит очень высокое — до 85% — содержание углерода, что позволяет производить дешевый графит, так как при этом не требуется обогащения природной руды. В доступной литературе практически не встречается или дается

весьма скудная информация о свойствах СКГ, получаемого как предприятием "Красноярскграфит", так и из природной руды других месторождений. Единые стандарты на графитовые руды отсутствуют. Несмотря на ряд работ [2, 5], в которых исследовалось влияние данного наполнителя на параметры структуры и свойства КМ на основе ПТФЭ, свойства самого СКГ, за исключением отдельных параметров кристаллической структуры [2] и теплофизических свойств [6], практически не изучены.

Целью данной работы является исследование структуры и фазового состава СКГ марки ГЛС-3 (ГОСТ 5420-74), что является актуальным для материаловедения композиционных материалов, в частности, по указанным выше причинам для Сибирского региона.

Графит представляет собой аллотропную модификацию углерода, характеризующуюся определенной кристаллической структурой. Эта структура и обуславливает свойства графитового вещества. Согласно идеализированной модели, предложенной Берналом [7,8], структура графита представляет собой непрерывный ряд слоев, параллельных основной плоскости и состоящих из гексагонально связанных друг с другом атомов углерода. В природе встречаются две соответствующие двум кристаллическим модификациям структурные формы графита: гексагональная и ромбоэдрическая. Они различаются взаимным расположением слоев. Гексагональная решетка состоит из параллельных слоев (базисных плоскостей), образованных правильными шестиугольниками из атомов углерода, причем слои чередуются по схеме А-В-А-В-... (рис. 1) [8,9].

Специфичность кристаллической структуры графита, величина отдельных кристаллов и их

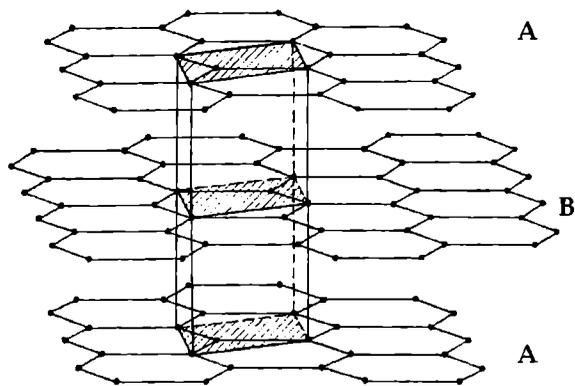


Рис. 1. Гексагональная решетка графита

группировок, различные устойчивые дефекты структуры обуславливают разнообразие физических свойств различных видов данных углеродистых материалов [7]. По размеру кристаллитов и их взаимной ориентации графит делится на явнокристаллический (ЯКГ), представленный плотными и чешуйчатыми разновидностями, и скрытокристаллический (СКГ). Первый – графит с кристаллами более 1 мкм и упорядоченной ориентацией плоскостей спайности этих кристаллов между собой, второй – графит с кристаллами менее 0,2 мкм и неупорядоченной ориентацией [10]. ЯКГ при измельчении до выпускаемых промышленностью стандартизованных порошков расслаиваются по плоскостям спайности на частицы в виде чешуек. В процессе изготовления полимерного композиционного материала (ПКМ) при прессовании смеси порошка такого графита с порошком ПТФЭ плоскости спайности ориентируются, в основном, перпендикулярно к направлению прессования, т.е. оказываются ориентированы в одном направлении. Это оказывает существенное влияние на износ композиций с ЯКГ.

При прессовании КМ с СКГ преимущественная ориентация плоскостей спайности частиц графита невозможна, композиции ПТФЭ с СКГ, в отличие от ЯКГ, обладают при трении изотропией свойств. Вследствие этого работоспособность деталей из материалов на основе ПТФЭ с СКГ не зависит ни от их положения в узле трения, ни от ориентации заготовки материала при получении из нее механической обработкой необходимой детали. По данным работы [10], износостойкость материалов на основе ПТФЭ с СКГ больше, чем с ЯКГ, что можно отнести к преимуществам наполнения фторопласта СКГ.

В работе [11] изучаются взаимосвязь между физико-химическими свойствами и усиливающей активностью различных тонкоизмельченных природных графитов и влияние на эти свойства модификации поверхности графита. В качестве объектов исследования выбраны образцы и опытные партии графитовых наполнителей с удельной поверхностью 60-150 м²/г, полученные путем виброизмельчения природных графитов, а именно плотнокристаллического графита; чешуйчатого графита и СКГ с различным содержанием минеральных примесей. Частицы тонкоизмельченного графита представляют собой неопределенной конфигурации пластинки различной толщины, которые по мере увеличения дисперсности и поверхностной активности в процессе измельчения склонны к агрегированию. Анализируя литературные данные, автор работы объясняет более высокую

усиливающую активность СКГ тем, что его исходное аморфизированное строение и наличие большого числа внутренних дефектов приводят к образованию частиц более или менее изометрической формы. Более совершенная структура кристаллического графита обуславливает образование при его измельчении частиц в виде чешуек. Большая часть поверхности таких частиц образована базисными плоскостями, являющимися весьма инертными в химическом и адсорбционном отношении. В случае СКГ соотношение поверхностей, образованных базисными плоскостями и гранями, существенно меньше. Следовательно, поверхность СКГ более гетерогенна и содержит большее количество активных центров адсорбции, что отражается в проявлении эффективного структурирующего действия при взаимодействии с полимерами (каучуками общего назначения) и лучших усиливающих свойствах. В работе показано преимущество наполнения каучуков СКГ, но свойства самого графита не обсуждаются.

В соответствии с ГОСТ 5420-74 технические характеристики СКГ марки ГЛС-3, получаемого предприятием "Красноярскграфит" из руды Красноярского месторождения, следующие:

- удельная геометрическая поверхность 20-25 м²/г;
- удельная адсорбционная поверхность после обработки активными добавками 45-60 м²/г;
- масляное число 35-40 мл/100 г;
- рН водной суспензии 8-9;
- содержание влаги не более 1,0%;
- зольность не более 20%;
- содержание общей серы не более 2,0%;
- содержание общего кислорода на поверхности графита не менее 6%;
- остаток после просева через сито с сеткой 014К по ГОСТ 3584-73 не более 0,02%.

Природный графит как технический материал состоит, в основном, из углерода, но всегда содержит примеси других веществ в виде золы, летучих веществ, влаги и т. д. Но независимо от химического состава и примесей у графитов различных месторождений наблюдается большое разнообразие свойств, которое сводится, в основном, к различиям дисперсной структуры, т.е. к величине, форме и взаимному расположению кристаллов графита. Поэтому все графитовые материалы классифицируются по дисперсной структуре, поскольку она, а не примеси, определяет промышленное применение графитов.

С целью установления кристаллической дисперсной структуры используемого СКГ, обуславливающей его свойства, были использованы стандартные методы исследования [12] для определения размеров и формы частиц СКГ и проведения рентгенографического анализа.

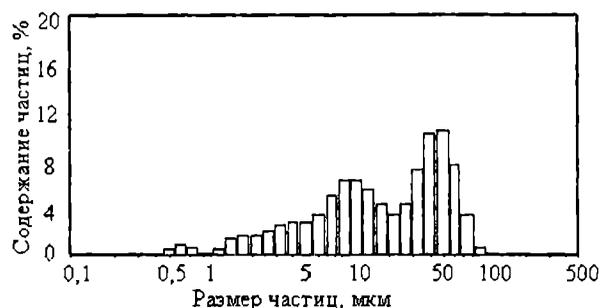


Рис. 2. Распределение частиц скрытокристаллического графита по размерам

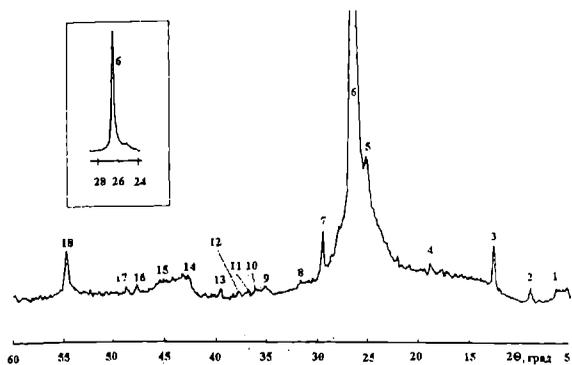


Рис. 3. Дифрактограмма скрытокристаллического графита

На рис. 2 приведено распределение частиц СКГ по размерам, полученное на лазерном дифракционном анализаторе размера частиц SALD – 2101 фирмы SHIMADZU. Как следует из данного распределения, размеры частиц наполнителя изменяются от 0,36 мкм до 153 мкм, причем это распределение имеет два ярко выраженных максимума: 12,6 мкм и 54 мкм. Столь значительный диапазон размеров частиц позволяет предположить два возможных варианта воздействия наполнителя на процессы структурообразования в полимерной матрице: искусственными зародышами структурообразования [13] могут выступать как сами частицы, так и участки их поверхности в случае более крупных частиц.

Плотность порошка скрытокристаллического графита, определенная пикнометрическим методом

в среде гелия на автоматизированном газовом пикнометре «AccuPyc-1330» фирмы «Micromeritics Instrument Corporation» (США)¹, составила $2,112 \pm 0,002 \text{ г/см}^3$.

Дифрактограмма графита, полученная на дифрактометре ДРОН-3¹ с использованием фильтрованного $\text{CuK}\alpha$ -излучения с применением щелей Соллера, представлена на рис. 3. Межплоскостные расстояния, рассчитанные по формуле Вульфа-Брэгга и соответствующие рефлексам, пронумерованным на рис. 3, приведены в таблице 1. Здесь же для сравнения приведены табличные значения межплоскостных расстояний по справочной картотеке ASTM [14] и индексы Миллера, соответствующие этим межплоскостным расстояниям. При сопоставлении табличных и рассчитанных по данным эксперимента межплоскостных расстояний установлены вещества (примеси), обнаруженные в скрытокристаллическом графите. Наименования идентифицированных примесей указаны в таблице 1.

Как следует из приведенного анализа, углерод, содержащийся в скрытокристаллическом графите, обладает кристаллической решеткой, близкой к гексагональной (рис. 1), содержащей 8 атомов в элементарной ячейке. Рассчитанные по рентгенографическим данным параметры кристаллической решетки углерода равны: $a = 0,2456 \text{ нм}$, $c = 1,3392 \text{ нм}$. Помимо углерода в скрытокристаллическом графите содержатся примеси кальцита CaCO_3 , мусковита $\text{KAl}_3\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ и клинохлора $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$. Относительно большой фон на рентгенограмме СКГ предположительно

Таблица 1

Фазовый состав скрытокристаллического графита

№ рефлекса на рис. 4	Межплоскостное расстояние по данным эксперимента, нм	Межплоскостное расстояние по картотеке ASTM, нм	Индексы Миллера (hkl)	Вещество
1	1,426	1,4242	001	клинохлор
2	0,983	1,00	002	мусковит
3	0,720	0,7121	002	клинохлор
4	0,477	0,4747	003	клинохлор
5	0,356	0,356	004	клинохлор
6	0,340	0,3348	004	углерод
7	0,303	0,3035	104	кальцит
8	0,284	0,2848	005	клинохлор
9	0,256	0,2545 0,2554	201 -132, -1-32	клинохлор
10	0,250	0,2495	110	кальцит
11	0,245	0,2448	132, 20-1	клинохлор
12	0,240	0,2393 0,2384	-133, -1-33 202	клинохлор
13	0,229	0,2285	113	кальцит
14	0,210	0,2101	101	углерод
15	0,201	0,2027	102	углерод
16	0,191	0,1913	018	кальцит
17	0,188	0,1875	116	кальцит
18	0,168	0,1674	008	углерод



Рис. 4. Микрофотографии порошка СКГ: а – увеличение $\times 38\,000$; б – увеличение $\times 36\,000$; 1 - «чешуйки» и образования неясной природы

свидетельствует о наличии в природном графите примеси железа. Судя по наличию на дифрактограмме графита гало с центром тяжести, приходящимся примерно на 22° (рис. 3), графит имеет неупорядоченную фазу. Средний размер кристаллитов, определенный по известной формуле Шеррера [15], для скрытокристаллического графита составил 21 нм. Это согласуется с данными работы [10] о малых размерах кристаллов СКГ в отличие от явнокристаллического графита. Сравнивая размеры кристаллитов с размерами частиц СКГ, следует отметить, что частицы СКГ состоят из большого числа кристаллитов, что обеспечивает изотропность свойств наполнителя и изотропность свойств ПКМ с указанным наполнителем.

На рис. 4 приведены результаты просвечивающей электронной микроскопии, полученные на электронном микроскопе марки ЭМ-125 (разрешение 0,5 нм), для скрытокристаллического графита. На микрофотографиях видны частицы графита неправильной формы с неровной поверхностью размером порядка 0,4–3 мкм и более. Также отмечается наличие на поверхности графита «чешуек» и образований неясной природы, которые, по-видимому, состоят из наночастиц. Это может быть как сам графит, так и установленные при фазовом анализе примеси. Технология изготовления полимерных композиционных материалов предполагает предварительную термообработку частиц СКГ при 360°C с целью очистки их поверхности от оксидов и других химических соединений и повышения адгезии наполнителя к полимеру – матрице. Проводимая обработка не избавляет частицы графита от чешуйчатых образований на их поверхности. Наличие подобных частиц может являться фактором, препятствующим процессу структурообразования на границе «наполнитель – матрица». Это объясняется тем, что существование подобных образований затрудняет взаимодействие матрицы с поверхностью частиц СКГ и приводит к уменьшению поверхности адгезионного взаимодействия и возникновению пор в ПКМ, что подтверждается результатами электронной микроскопии.

Наполнители-модификаторы по эффективности влияния на молекулярную подвижность цепей и структуру полимера могут быть разделены на два основных типа: на структурно-активные (САН) и неактивные (СНН) наполнители. К САН относятся материалы с хорошей адгезией поверхности наполнителя к полимерной матрице, а к СНН – с пло-

хой адгезией. Наполнители углеродного происхождения с активированной или неактивированной поверхностью, такие, как графит, углеродное волокно и кокс, относятся к первому типу. Структурно-активный наполнитель оказывает сложное влияние на структурообразующие процессы. Характер структурообразующих процессов зависит от концентрации наполнителя. При содержании последнего меньше так называемой пороговой концентрации ϕ_0 степень кристалличности композита K увеличивается с возрастанием концентрации ϕ . Увеличение K связано с ростом концентрации зародышей структурообразования из-за структурной активности отдельных точек химически активной поверхности углеродного наполнителя при одновременном понижении барьера зародышеобразования ΔF за счет хорошей смачиваемости расплавом полимера поверхности частиц наполнителя. Все это способствует увеличению скорости кристаллизации и, соответственно, увеличению числа кристаллитов без изменения их размеров. Пороговая концентрация наполнителя зависит преимущественно от удельной площади поверхности (дисперсности) и геометрии частиц, распределения частиц по размерам и от состояния поверхности частиц с точки зрения образования химических связей с полимером – матрицей. Рост степени кристалличности, хорошая адгезионная связь между полимером и наполнителем, проявляющаяся в образовании межфазного слоя (МФС) на границе раздела «полимер-наполнитель», наряду с высокомолекулярными свойствами наполнителя (в случае углеродного волокна, кристаллического графита) являются основными факторами, способствующими усилению механических свойств композитов на основе полимеров. Но усиление может нейтрализоваться слабой адгезией полимера к наполнителю [16]. Структурная активность наполнителя проявляется в достаточной мере в случае хорошего адгезионного контакта поверхности наполнителя и матрицы. Известно, что разрушение наполненных полимеров происходит обычно по межфазным границам матрицы и наполнителя. Поэтому прочность адгезионной связи частиц наполнителя с матрицей полимера оказывает непосредственное влияние на механическую прочность [17]. Образование этой связи и формирование МФС может быть затруднено из-за недостаточного контакта поверхности частиц наполнителя, покрытой пылевидными чешуйками. Как отмечалось ранее, по мере увеличения дисперсности и поверхностной

активности частицы графита склонны к агрегированию [11]. В работе [18] частицы дисперсного наполнителя размером до 1 мкм отнесены к пылеобразным. Наличие примеси пыли в порошке вводимого в матрицу ПТФЭ наполнителя препятствует процессу структурообразования на границе «наполнитель — матрица», вследствие чего резко снижается относительное удлинение и увеличивается износ материала [18].

Выводы

1. Проведенные исследования позволили определить фазовый состав и плотность исследуемого вида графита, размеры и особенности строения поверхности его частиц. СКГ наряду с углеродом содержит в небольших количествах следующие фазы: клинохлор, мусковит и кальцит.

2. Размеры частиц распределяются в широком диапазоне от ультрадисперсного (0,33-10 мкм) до дисперсного (100-150 мкм) с двумя максимумами распределения в области 12,6 мкм и 54 мкм.

3. Полученные данные могут быть использованы при разработке научно обоснованного механизма модифицирования структуры и свойств КМ на основе ПТФЭ и других полимеров с целью повышения их механических и триботехнических свойств.

Примечание

¹ Авторы благодарят А.В. Бубнова и П.С. Барбашову за помощь в проведении исследований на оборудовании ОНЦ СО РАН.

Библиографический список

1. Коваленко Н.А., Черский И.Н. Исследование физико-механических свойств композиций на основе политетрафторэтилена с углеродными наполнителями // Механика композитных материалов. 1991. №1. с. 14 - 19.
2. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. - 240 с.
3. Горяинова А.В., Божков Г.К., Тихонова М.С. Фторопласты в машиностроении. М.: Машиностроение, 1971. - 233 с.
4. Уплотнения и уплотнительная техника / Л. А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; под общ. ред. А.И. Голубева и Л. А. Кондакова. - М.: Машиностроение, 1986. - 464 с.
5. Рентгенографическое исследование влияния пластической деформации и отжига на структуру сильнонаполненного ультрадисперсным графитом политетрафторэтилена / Ю.К. Машков, Л.Ф. Калистратова, Н.П. Калистратова, М.Ю. Байбарацкая // Материаловедение. 2004. № 1. с. 42 - 47.
6. Теплоемкость углеродного волокна и скрытокристаллического графита в области от 7 К до 650 К / Ю.К. Машков,

С.В. Даннлов, В.А. Егорова и др. // Материаловедение. 2004. № 6. с.31-34.

7. Углерод — углеродные композиционные материалы: справ. изд. Бушуев Ю.Г., Перлин М.И., Соколов В.А. — М.: Металлургия, 1994. — 128 с.

8. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М.: Техносфера, 2003. — 336 с.

9. Шулепов С.В. Физика углеграфитовых материалов. М., 1972.

10. Истомина Н.П., Семенов А.П. Антифрикционные свойства композиционных материалов на основе фторполимеров. М.: Наука, 1981. — 146 с.

11. Гончаров В.М. Исследование особенностей усиления каучуков общего назначения тонкоизмельченными природными графитами. Автореферат диссертации на соискание уч. степ. к.т.н. М., 1980. — 24 с.

12. Д. Брандэн, У. Каплан. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. — 384 с.

13. Соломко В.П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры. Киев: Наук. думка, 1980. - 264 с.

14. ASTM. Powder diffraction file. X — ray diffraction data card file and key.

15. Мартынов М.А., Вылегжанина К.А. Рентгенография полимеров. Методическое пособие для промышленных лабораторий. - Л.: Химия, 1972.- 96 с.

16. Суриков Вал.И. Повышение эксплуатационных свойств композитов на основе политетрафторэтилена путем структурной многоуровневой модификации: Дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.01. — Омск, 2001. — 363 с.

17. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. - М.: Химия, 1991.- 260 с.

18. Пугачев А.К., Росляков О.А. Переработка фторопластов в изделия. Технология и оборудование. Л.: Химия, 1987. — 168 с.

МАШКОВ Юрий Константинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики СибАДИ.

КРОПОТИН Олег Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ОмГТУ.

ЕГОРОВА Виктория Александровна, старший преподаватель кафедры физики ОмГТУ.

ТРЕНИХИН Михаил Викторович, младший научный сотрудник Института проблем переработки углеводородов СО РАН.

ВОЙТЕНКО Наталья Николаевна, младший научный сотрудник Института проблем переработки углеводородов СО РАН.

Дата поступления статьи в редакцию: 21.04.06 г.

© Машков Ю.К., Кропотин О.В., Егорова В.А., Тренихин М.В., Войтенко Н.Н.

Информация

Студенческий конкурс

“Лучший бизнес-план инновационного проекта”

Студенческий конкурс “Лучший бизнес-план инновационного проекта” проводится Инновационным бюро “Эксперт” с 2005 года на базе Конкурса русских инноваций. Идея студенческого конкурса заключается в разработке и доработке группами студентов бизнес-планов проектов, поданных на Конкурс русских инноваций.

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА НАПОЛНЕННОГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА

Приведены результаты исследований динамических вязкоупругих свойств композиционных материалов на основе политетрафторэтилена. На основании проведенного анализа для данных материалов выявлены общие процессы и закономерности, определяющие характер влияния углеродных наполнителей (углеродного волокна и скрытокристаллического графита) на их структуру и вязкоупругие свойства.

Введение

Композиционные материалы (КМ) на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) в настоящее время являются одними из наиболее эффективных материалов для деталей узлов трения машин и технологического оборудования (например, нефтеперекачивающих насосов) благодаря комплексу уникальных физико-механических, химических и триботехнических свойств. К настоящему времени накоплен и частично обобщен богатый экспериментальный материал по изучению влияния различных наполнителей на структуру и физико-механические свойства таких композитов [1 – 7]. Несмотря на это, изучение структурных особенностей и свойств КМ на основе ПТФЭ при использовании новых наполнителей и изменении параметров технологического процесса изготовления материалов является по-прежнему актуальным.

Одной из особенностей ПТФЭ как представителя класса полимерных материалов являются ярко выраженные вязкоупругие свойства, которые в значительной степени обуславливают физико-механические свойства полимеров. Исследование вязкоупругих свойств позволяет получить сведения о важнейших деформационных свойствах материала, а также дополнить и уточнить сведения о его химическом строении, структуре и физическом состоянии. Изучение динамических вязкоупругих свойств позволяет также получить информацию о релаксационных процессах в материале, которые непосредственно влияют на весь комплекс механических и триботехнических свойств. В условиях фрикционного взаимодействия и повышенных температур в зоне фрикционного контакта ПТФЭ с контртелом возможны фазовые переходы с образованием структур с определенной степенью ориентационного порядка [8]. Автором работы [9] обоснована гипотеза о формировании в этих условиях

мезофазы типа жидкокристаллических структур. Важность изучения динамических вязкоупругих свойств полимеров и КМ на их основе объясняется еще и тем, что при динамических нагрузках (в частности при трении) именно эти свойства определяют напряженно-деформированное состояние в материале. В то время как при квазистатическом нагружении материала его упругие характеристики являются, по существу, частным случаем его динамических свойств.

Следует отметить, что в настоящее время накоплен большой экспериментальный и теоретический материал по изучению физико-механических свойств ПКМ с дисперсными наполнителями (в том числе на основе ПТФЭ) [1, 2, 10, 11, 12]. Необходимость же проведения дополнительных экспериментальных исследований в данной области диктуется отсутствием завершеного подхода к объяснению формирования вязкоупругих свойств ПКМ.

Основными параметрами, характеризующими вязкоупругость полимеров, являются динамические модули упругости и сдвига, фактор потерь – тангенс угла механических потерь. При введении в полимер наполнителей различной природы, формы и размеров частиц изменяется характер надмолекулярной организации, гибкость макромолекул, интенсивность межмолекулярного взаимодействия, что влияет на молекулярную подвижность цепей матрицы и, соответственно, на вязкоупругие свойства полимерного материала.

Одними из наиболее распространенных наполнителей антифрикционного назначения для политетрафторэтилена являются углеродные наполнители [3, 7, 13, 14]. В последнее время в качестве наполнителей для ПТФЭ в данных материалах получили применение ультрадисперсный скрытокристаллический графит (СКГ) марки ГЛС-3 (ГОСТ 5420-74) и углеродное волокно (УВ) марки "Урал Т-10" (ТУ 6-06-4107-84). Ранее было проведено

комплексное исследование влияния УВ на структуру и физико-механические (в том числе вязкоупругие) свойства КМ на основе ПТФЭ [2, 6, 15 - 17]. Также было изучено влияние СКГ на параметры структуры ПТФЭ [17, 18] и на отдельные эксплуатационные характеристики КМ [7]. Влияние СКГ на вязкоупругие свойства КМ на основе ПТФЭ не рассматривалось. Изучение указанных свойств для системы ПТФЭ – СКГ позволит уточнить отдельные составляющие механизма влияния СКГ на структуру и механические свойства материала и выделить общие закономерности в изменении вязкоупругих свойств ПТФЭ при использовании углеродных наполнителей.

Цель работы

Целью настоящей работы явилось детальное изучение особенностей влияния ультрадисперсного скрытокристаллического графита на вязкоупругие свойства КМ на основе ПТФЭ, а также сравнение и обобщение полученных результатов для системы ПТФЭ – СКГ с аналогичными результатами для системы ПТФЭ – УВ, полученными ранее [2, 6, 15-17].

Методика проведения исследований

Вязкоупругие свойства материала в диапазоне температур 125 – 425 К изучали с использованием метода свободных затухающих колебаний, реализованного на обратном вертикальном крутильном маятнике по методике и на установке, подробно описанных в [2, 6, 16]. Тангенс угла механических потерь $\text{tg}\delta$ и динамический модуль сдвига G' определяли по следующим формулам [19]:

$$\text{tg}\delta = (f_k^2 \Delta_k - f_0^2 \Delta_0) / (\pi(f_k^2 F_{dk} - f_0^2)),$$

$$G' = IF_A (\omega_k^2 F_{dk} - \omega_0^2),$$

$$F_A = 3L / (bh^3(1 - 0,63h/b)),$$

$$F_{dk} = 1 - (\Delta_k^2 / 4\pi^2),$$

где I – момент инерции колебательной системы без образца; f_k – частота колебаний колебательной системы с образцом; $\omega_k = 2\pi f_k$, f_0 – частота свободных колебаний системы без образца; $\omega_0 = 2\pi f_0$, Δ_k – логарифмический декремент затухания колебательной системы с образцом; Δ_0 – логарифмический декремент затухания колебательной системы без образца; F_A – коэффициент, зависящий от геометрических размеров образца; L – длина, h – толщина, b – ширина образца. При получении спектров внутреннего трения и определении динамического модуля сдвига нагрев осуществляли в среднем со скоростью 0,4 К/мин. Причем при каждом значении температуры, при котором проводились измерения, образец выдерживался 10-15 мин.

Исследования проводились на образцах КМ, изготовленных по следующим технологиям: холодное прессование под давлением 70 – 80 МПа порошкообразного ПТФЭ, смешанного с наполнителем в мельнице при частоте вращения ножей 7800 мин⁻¹. При получении материалов системы ПТФЭ – УВ использовалось свободное спекание. В качестве способа улучшения взаимодействия наполнителя и матрицы при получении образцов модельной системы ПТФЭ – СКГ был выбран способ спекания заготовки из КМ в зажимах [13]. Такие условия в отличие от свободного спекания спо-

Таблица 1
Параметры α -перехода, полученные по температурным зависимостям фактора потерь и динамического модуля сдвига

φ , %	ν_α , Гц	T_α , К	$T_{\beta, \beta'}$, К	S , К	$\Delta T_{1,2}$
система ПТФЭ - УВ					
1	1,44	181	203	3,17	31
4	1,58	178	212	2,88	29
10	1,69	176	217	2,83	30
15	1,39	179	213	2,65	31
20	1,59	178	215	2,23	32
30	1,20	174	201	2,29	34
система ПТФЭ - СКГ					
3	1,283	174,5	190	2,24	27
5	1,108	174,5	191	2,44	29
10	1,143	177,9	197	2,21	30
15	1,177	176,4	209	2,20	31
20	1,216	174,8	206	2,23	34

собствуют более активному участию поверхности частиц наполнителя в процессах структурообразования и положительным образом влияют на прочностные характеристики материала. После холодного прессования образец системы ПТФЭ – СКГ помещался в зажимы без создания дополнительного давления, затем проводилось его спекание.

Результаты исследований и их обсуждение

Характер температурных зависимостей тангенса угла механических потерь $\text{tg}\delta(T)$ (рис. 1а) и динамического низкочастотного модуля сдвига $G'(T)$ (рис. 1б) в общем сохраняется при различном виде углеродных наполнителей. Для всех исследованных материалов наблюдается 3 отчетливых максимума на зависимости $\text{tg}\delta(T)$. Они соответствуют релаксационному α -переходу при температуре $T_\alpha \approx 176$ К, фазовому переходу первого рода при температуре $T_\beta \approx 295$ К и релаксационному переходу при температуре $T_{\beta'} \approx 395$ К. Для фазового и высокотемпературного релаксационного переходов температуры максимумов на кривой $\text{tg}\delta(T)$ при наполнении ПТФЭ заметно не изменяются.

В табл. 1 приведены значения отдельных параметров, характеризующих α -переход: частоты ν_α , температуры T_α , температуры завершения размораживания сегментального движения в аморфной прослойке полимера $T_{\beta, \beta'}$, а также значения уширения $\Delta T_{1,2}$ и площади S соответствующего пика на спектрах внутреннего трения при различном содержании наполнителя. Энергия активации α -перехода рассчитывалась по формуле [20] с использованием данных табл. 1:

$$U_\alpha = 2,3RT_\alpha \cdot \lg \left(\frac{C_\alpha}{2\pi\nu_\alpha B_\alpha} \right),$$

где $C_\alpha = 10$; B_α – предэкспоненциальный множитель в уравнении Больцмана-Аррениуса и для α -перехода равен $B_\alpha = 5 \cdot 10^{-12}$ с; T_α и ν_α – температура и частота перехода. В нашем случае энергия активации ПТФЭ, рассчитанная по приведенной формуле, составляет $U_\alpha \approx 38,8 \pm 0,4$ кДж/моль. Для наполненного ПТФЭ получено то же (в пределах погрешности) значение.

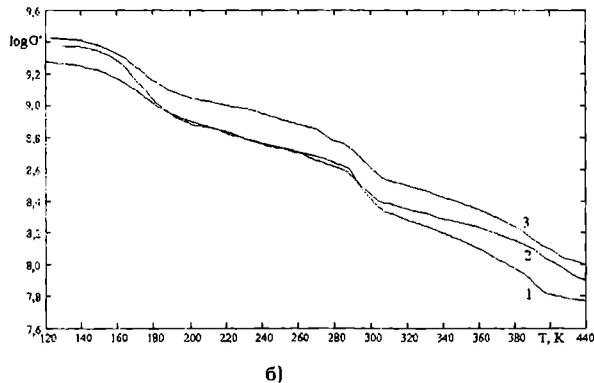
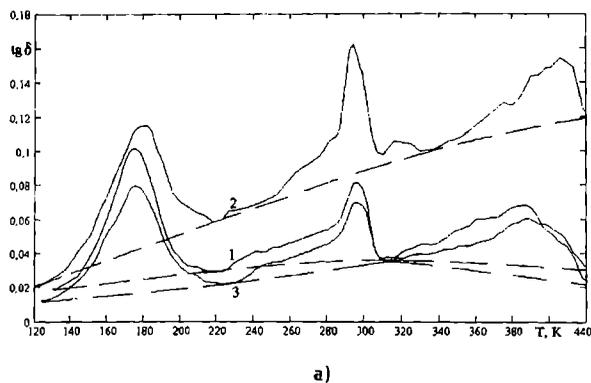


Рис. 1. Температурные зависимости тангенса угла механических потерь (а) и динамического модуля сдвига (б): 1 - ПТФЭ; 2 - композиция ПТФЭ + 20 % УВ; 3 - композиция ПТФЭ + 20 % СКГ (штриховой линией изображен уровень фона)

Уширение релаксационного пика (α -переход) имеет относительно большое значение и практически постоянно для всех концентраций УВ, за исключением композиции с 30 % УВ (табл. 1). При введении в ПТФЭ графита уширение этого пика монотонно возрастает. Это характеризует увеличение структурной неоднородности релаксаторов, связанное с появлением новых составляющих надмолекулярной структуры в матрице при введении структурно активных наполнителей. Площадь, занимаемая этим релаксационным пиком, имеет тенденцию к уменьшению при увеличении содержания наполнителя, причем в случае использования УВ изменения более интенсивны, чем при использовании СКГ (табл. 1). Площадь пика определяется полушириной (уширением) и степенью релаксации [7], поэтому однозначная интерпретация изменений этого параметра на сегодняшний день затруднена. О снижении молекулярной подвижности в аморфной фазе полимера при увеличении содержания наполнителей в композиции свидетельствует снижение относительной интенсивности максимумов α -перехода на спектрах внутреннего трения, причем после вычитания фона эта зависимость становится нелинейной (рис. 2) и отличающейся от зависимости $\text{tg} \delta_m / \text{tg} \delta_{m0} = 1 - \phi$, что, по мнению автора работы [21], свидетельствует о неоднозначном влиянии наполнителя на молекулярную подвижность в полимере. Действительно, при 10 %-ном содержании наполнителя характер зависимости $\text{tg} \delta_m / \text{tg} \delta_{m0}(\phi)$ изменяется, что говорит об изменении характера влияния наполнителя на структуру матрицы при указанном содержании наполнителя. Кроме того, отмечается общее уменьшение фона на кривых $\text{tg} \delta(T)$

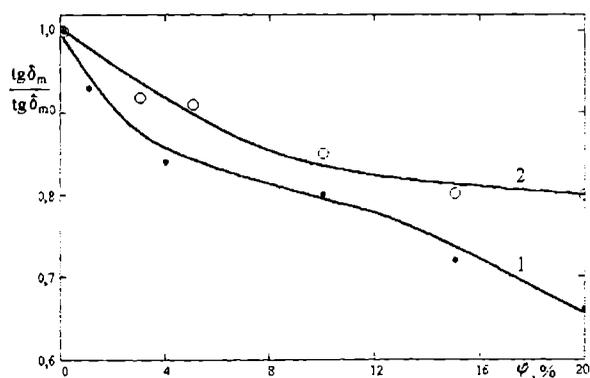


Рис. 2. Относительная интенсивность максимумов α -перехода на спектрах внутреннего трения без фона: 1 - система ПТФЭ - УВ; 2 - система ПТФЭ - СКГ

для системы ПТФЭ - СКГ (штриховые линии на рис. 1 а) в широкой области температур и концентраций. Все это говорит об общем снижении интенсивности молекулярной подвижности под действием СКГ.

Указанные закономерности сопровождаются увеличением динамического модуля сдвига в диапазоне концентраций УВ до 10 % и СКГ до 20 % (рис. 3). Концентрационная зависимость динамического модуля сдвига для системы ПТФЭ - УВ имеет ярко выраженный максимум. Положение этого максимума хорошо совпадает по положению с экстремумом на зависимости $\text{tg} \delta_{\max}(\phi)$ и концентрационной зависимости степени кристалличности [2, 16]. Концентрационная зависимость динамического модуля сдвига для системы ПТФЭ - СКГ в исследованном диапазоне концентраций характеризуется монотонным ростом (рис. 3). Это говорит о большем концентрационном диапазоне усиления материала графитом, чем углеродным волокном.

Проанализируем температурные зависимости динамического модуля сдвига более подробно. Из рис. 4 видно, что на кривой $G'(T)$ наблюдаются три «ступеньки» (спада), которые соответствуют релаксационным и фазовому переходам в ПТФЭ. Каждому переходу на кривой $G'(T)$ соответствует свой пик в спектре внутреннего трения. Участок зависимости $G'(T)$ в области α -перехода имеет «тонкую» структуру, то есть состоит из дополнительных, менее выраженных спадов: BC, CC', и C'D (рис. 4). В литературе по вязкоупругим свойствам ПТФЭ нет четкого и однозначного толкования многоступенчатости спада BD. По нашему мнению, температурный переход CC', имеющий наибольший температурный коэффициент модуля сдвига $\Delta G' / \Delta T$, соответствует сегментальной подвижности цепей основной аморфной фазы полимера, т.е. основному α -релаксационному процессу. В пользу этого предположения говорит и наличие пика $\text{tg} \delta$, температура максимума которого находится между температурами точек C и C'. Спад C'D, вероятнее всего, следует отнести к сегментальной подвижности цепей в мезофазном слое матрицы ПТФЭ. Ступенька BC на кривых $G'(T)$ расположена на оси температур левее ступенек, обусловленных α -процессами, и, по данным работы [2], относится к структурному стеклованию.

В некоторых случаях, например, при введении структурно-активного наполнителя, возможно появление еще одного участка C'D (рис. 4), примыкающего к точке D [2]. Значения температурного коэффициента $\Delta G' / \Delta T$, средние между значениями для α -процесса и высокоэластического состояния по

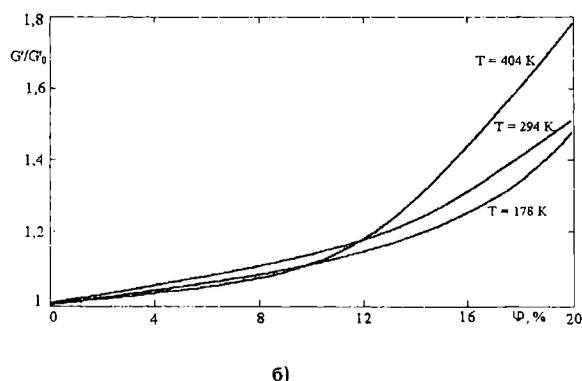
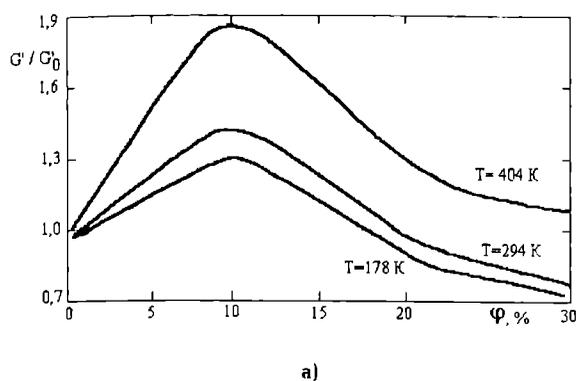


Рис. 3. Концентрационные зависимости приведенных значений динамического модуля сдвига при различных температурах (коэффициент приведения – модуль сдвига ПТФЭ при данной температуре): а - для системы ПТФЭ - УВ; б - для системы ПТФЭ - СКГ

завершению α -процесса, позволяют связать появление точки S'' с образованием межфазного слоя (МФС) на границе наполнитель-полимер, как показано в работе [2], дополнительный переход связывается с размораживанием сегментального движения в межфазном слое. Этот дополнительный переход возникает при наполнении ПТФЭ углеродным волокном в диапазоне концентраций 4 - 20 %, а также при наполнении ПТФЭ графитом в диапазоне концентраций 15 - 20 %. Следует отметить, что такой релаксационный процесс не наблюдается в образце с 30 % УВ. Возникновение дополнительного перехода смещает температуру окончания размораживания сегментального движения (температуру T_D завершения α -перехода на зависимостях $G'(T)$ в аморфной фазе полимера в область более высоких температур. Подобная закономерность в работе [20] расценивается как проявление неоднородности в аморфной прослойке полимера, что согласуется с представлениями об отличии характеристик межфазного слоя от характеристик аморфной фазы полимера вне этого слоя. При наполнении ПТФЭ графитом эта температура возрастает до 206 К для композиции ПТФЭ + 20 % СКГ. При наполнении ПТФЭ углеродным волокном эта температура возрастает до 215 К для композиции ПТФЭ + 20 % УВ с последующим спадом.

Выводы

Проведенные исследования позволяют выделить следующие общие процессы и закономерности, определяющие характер влияния углеродных наполнителей (УВ и СКГ) на структуру и вязкоупругие свойства композиционных материалов на основе ПТФЭ:

1. Увеличение структурной неоднородности матрицы, связанное с введением в ПТФЭ структурно-активных наполнителей, о чем свидетельствует уширение релаксационного пика α -перехода на зависимости $\text{tg}\delta(T)$. При наполнении углеродным волокном или скрытокристаллическим графитом данная закономерность связана со сменой морфологии структуры ПТФЭ и образованием сферолитов неправильной формы, а также с образованием межфазного слоя на границе наполнитель-полимер.

2. Снижение молекулярной подвижности в полимере. На снижение молекулярной подвижности в аморфной фазе указывает снижение относительной интенсивности максимумов α -перехода на спектрах внутреннего трения. На общее снижение молекулярной подвижности в композициях

ПТФЭ-СКГ указывает общее снижение фона на кривых $\text{tg}\delta(T)$ в широкой области температур.

3. Увеличение значения динамического модуля сдвига в диапазоне концентраций УВ до 10 % и СКГ до 20 %. Эффект повышения G' в этой области концентраций наполнителей связан, по-видимому, с ограничением молекулярной подвижности цепей макромолекул. В образцах с повышенным содержанием УВ (более 10 %) наряду с эффектом повышения динамического модуля сдвига за счет структурного (образование сферолитной структуры) и кинетического (ограничение молекулярной подвижности) факторов в действие включаются конкурирующие процессы, к которым можно отнести насыщение материала наполнителем, разрыхление матрицы, агрегатирование наполнителя. Концентрационный диапазон значительного влияния наполнителя в системе ПТФЭ – СКГ выше, чем при использовании УВ. Это, вероятно, связано с различными свойствами поверхности, геометрией и дисперсностью частиц наполнителей, а также с отличиями в их механических и теплофизических свойствах, особенностями технологии получения КМ.

4. Формирование межфазного слоя на границе наполнитель-полимер со свойствами, отличающимися от свойств полимера в матрице вне этого слоя. Об этом свидетельствует дополнительный релаксационный переход, проявляющийся на зависимостях $G'(T)$ и связанный с размораживанием сегментального движения в межфазном слое.

На основании вышеизложенного можно говорить о кинетической активности исследованных наполнителей по отношению к ПТФЭ, которая проявляется в изменении молекулярной подвижности в матрице. В целом рассмотренные результаты свидетельствуют о наличии общих закономерностей

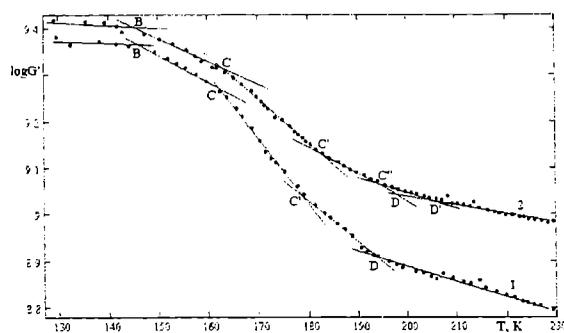


Рис. 4. Температурные зависимости динамического модуля сдвига для ПТФЭ (1) и композиции ПТФЭ + 20 % СКГ (2) в области α -перехода

в изменении структуры и молекулярной подвижности при использовании структурно-активных наполнителей с различной дисперсностью и геометрией частиц. Вместе с тем тенденции в изменении вышеперечисленных характеристик не всегда одинаковы. Причинами этого, очевидно, являются различия в характере влияния со стороны наполнителей на морфологию физической структуры и молекулярную подвижность макроцепей полимерной матрицы. Необходимость же проведения дополнительных экспериментальных исследований в данной области диктуется отсутствием завершеного подхода к объяснению формирования вязкоупругих свойств ПКМ.

Библиографический список

1. Адрианова О.А. Модифицированные полимерные и эластомерные триботехнические материалы для техники Севера: Дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.01. — М., 2000. — 337 с.
2. Суриков Вал.И. Повышение эксплуатационных свойств композитов на основе политетрафторэтилена путем структурной многоуровневой модификации: Дис. ... д-ра тех. наук: 05.02.01. — Омск, 2001. — 363 с.
3. Коваленко Н.А., Черский И.Н. Исследование физико-механических свойств композиций на основе политетрафторэтилена с углеродными наполнителями // Механика композитных материалов. 1991. №1. С. 14 - 19.
4. Структура и свойства малонаполненного политетрафторэтилена / О.А. Адрианова, А.В. Виноградов, Ю.В. Демидова и др. // Механика композитных материалов. 1986. № 3. С. 399-401.
5. Охлопкова А.А., Сидоренко Т.Н., Виноградов А.В. Трибологические и механические характеристики модифицированного политетрафторэтилена // Трение и износ. 1996. Т. 17, № 4. — С. 550 - 553.
6. Структура и вязкоупругие свойства армированного углеродным волокном политетрафторэтилена / О.В. Кропотин, В.И. Суриков, Л.Ф. Калистратова // Материаловедение. 1997. № 4. — С. 19 - 21.
7. Машков Ю.К., Овчар З.Н., Суриков В.И., Калистратова Л.Ф. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация. М.: Машиностроение, 2005. — 240 с.
8. Машков Ю.К. Разработка и оптимизация новых материалов и технологий для металлополимерных узлов трения микрокриогенной техники с использованием структурного анализа и термодинамических критериев: Дис. ... докт. техн. наук. - Омск, 1990. - 387 с.
9. Машков Ю.К. Трибофизика и свойства наполненного фторопласта: науч. издание. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 1997. — 192 с.
10. Охлопкова А.А., Сидоренко Т.Н., Виноградов А.В. Трибологические и механические характеристики модифицированного политетрафторэтилена // Трение и износ. 1996. Т. 17, № 4. — С. 550 - 553.

11. Моделирование физико-механических процессов в неоднородных конструкциях / Б. А. Люкшин, А.В. Герасимов, Р.А. Кректулева, П.А. Люкшин. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. - 272 с.

12. Бочкарёва С.А. Оценка надежности конструкций из полимерных композиционных материалов с учетом разброса управляющих параметров. Автореферат диссертации на соискание уч. степ. к.ф.-м.н. по спец. 010204. Томский гос. ун-т. 2006 г. — 22 с.

13. Горяинова А.В., Божков Г.К., Тихонова М.С. Фторопласты в машиностроении. М.: Машиностроение, 1971. 233 с.

14. Уплотнения и уплотнительная техника / Л. А. Кондаков, А.И. Голубев, В.Б. Овандер и др.; под общ. ред. А.И. Голубева и Л. А. Кондакова. - М.: Машиностроение, 1986. - 464 с.

15. Особенности влияния армирующего углеродного волокна «Урал Т-10» на структуру и некоторые физико-механические свойства политетрафторэтилена / О.В. Кропотин, Вал.И. Суриков, Вад.И. Суриков, Ю.К. Машков // Трение и износ. 1998. Т. 19, № 4. — С. 493 — 497.

16. Кропотин О.В. Особенности влияния армирующего углеродного волокна на структуру и некоторые физико-механические свойства композиционных материалов на основе политетрафторэтилена: Дис. ... канд. техн. наук. Омск: 1997. — 187 с.

17. Композиционные материалы на основе политетрафторэтилена. Структурная модификация / Ю.К. Машков, З.Н. Овчар, В.И. Суриков и др. — М.: Машиностроение, 2005. — 240 с.

18. Рентгенографическое исследование влияния пластической деформации и отжига на структуру сильнонаполненного ультрадисперсным графитом политетрафторэтилена / Ю.К. Машков, Л.Ф. Калистратова, Н.П. Калистратова, М.Ю. Байбарацкая // Материаловедение. 2004. № 1. — С. 42-47.

19. Перепечко И.И. Акустические методы исследования полимеров. М.: Химия, 1973. — 296 с.

20. Бартнев Г.М., Бартнева А.Г. Релаксационные свойства полимеров. М.: Химия, 1992. — 384 с.

21. Старцев О.В. Исследование влияния углеродного наполнителя на молекулярную подвижность и структуру полиамида-12 // Высокомолекул. соед. Сер. А. 1983. Т. 25, № 11. С. 2267-2273.

СУРИКОВ Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики ОмГТУ.

КРОПОТИН Олег Витальевич, кандидат технических наук, доцент кафедры физики ОмГТУ.

ОВЧАР Зиновий Николаевич, кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Сибнефтепровод», Тюмень.

ЕГОРОВА Виктория Александровна, старший преподаватель кафедры физики ОмГТУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 21.04.06 г.

© Суриков В.И., Кропотин О.В., Овчар З.Н., Егорова В.А.

Информация

Нанотехнологии на обед

Российский Институт нанотехнологий Международного фонда конверсии опубликовал доклад о новом биохимическом способе производства наночастиц. Ученые заявляют, что любой материал, модифицированный наночастицами серебра, будет обладать обеззараживающим действием. Этот метод можно широко применять в пищевых технологиях, что очень актуально, особенно сейчас, когда наноеда продолжает отвоёвывать дополнительные сегменты рынка.

<http://www.dialog-21.ru/news/digest.asp?id=81911>

ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ С ЭЛЕКТРОХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Разработан новый метод электрохимико-механической обработки для заданного формирования поверхностного слоя деталей в условиях их изготовления и восстановления. Изложены положения методологии создания технологических и эксплуатационных систем для повышения работоспособности деталей и агрегатов машин, в том числе на этапе восстановления.

Эксплуатационные свойства деталей машин во многом зависят от состояния их контактных поверхностей и материала поверхностного слоя.

Известно множество вариантов управления состоянием поверхности и поверхностного слоя для повышения износостойкости, усталостной прочности и других эксплуатационных характеристик деталей [1]. Такие методы можно разделить на два вида:

- основанные на изменении состояния материала поверхностного слоя деталей без нанесения слоя нового материала;
- связанные с нанесением слоя материала с заданными эксплуатационными свойствами.

Заслуживает особого внимания последний вид методов формирования заданного состояния материала поверхностного слоя, имеющий возможности применения как в технологиях изготовления и восстановления деталей, так и в процессе их эксплуатации для компенсации износа деталей. Такие возможности методов обеспечивают их реализацию с меньшей себестоимостью за счёт применения общих опробованных расходных материалов, компонентов технических систем.

На основе установленных закономерностей физико-химических явлений, природы изнашивания трибосопряжений и механизма технологического воздействия на поверхностный слой деталей был

разработан такой метод электрохимико-механической обработки (ЭХМО) [2].

Представление о двух разновидностях ЭХМО приведено на рис. 1, в соответствии с которым для осуществления процесса необходимы следующие условия:

- подача в зону резания обработки рабочей среды — ионообразующей жидкости или погружение в нее обрабатываемой детали;
- создание в зоне обработки заданного усилия N ;
- обеспечение заданного электрического потенциала в цепи;
- обеспечение заданной скорости движения V детали и подачи S анода (контртела).

Эти условия должны быть приняты за основу при создании оборудования оснастки и других средств реализации процесса. Такие условия приведены в ранее выполненной работе [2].

Одной из основных выходных характеристик процесса ЭХМО является скорость осаждения на деталь материала наносимого слоя $V_{ос}$. В двух указанных условиях — в технологиях изготовления (восстановления) деталей в узлах машин значения $V_{ос}$ должны отличаться многократно. С учётом этого выполнены исследования управляемости процесса ЭХМО применительно к этим двум указанным условиям. Отдельные закономерности изменения значения $V_{ос}$ приведены на рис. 2.

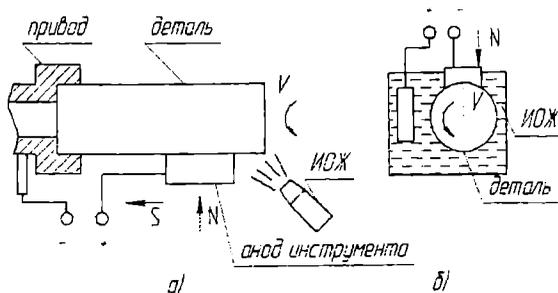


Рис. 1. Схемы процессов ЭХМО:

а — с контактным анодным компонентом (ЭХМО-ЭК);
б — с бесконтактным анодным компонентом (ЭХМО-БК);
ИОЖ — ионообразующая жидкость

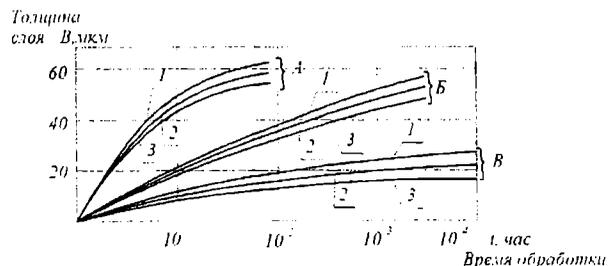


Рис. 2. Зависимость скорости осаждения слоя от плотности тока в процессе ЭХМО штока плунжерного насоса из стали 15ГФ в режиме восстановления.
Материалы анода: 1-Зп, 2-Св, 3-Fe.
Плотность тока, P_0 : А = 0,1 А/мм²; Б = 0,01 А/мм²; В = 0,001 А/мм²;
Ионообразующая жидкость: ПГВ.



* – параметры, среды и методы, открытые для разработки. Принятые обозначения: V – относительная скорость перемещения детали и анода-инструмента; S – подача; N – нормальная сила; σ и τ – нормальные и касательные напряжения; U – напряжение; J – ток; P_a – плотность тока; ПАВ – поверхностно-активные вещества; УЗК – ультразвуковые колебания.

Рис.3. Укрупненная схема назначения условий применения технических систем ЭХМО

Таблица 1
Относительная себестоимость подготовки оборудования для технических систем ЭХМО

Технологическое оборудование		Эксплуатируемые машины	
Приспосабливаемое оборудование	K _с	Характер конструктивных изменений в машине	K _с
Оборудование электрохимической обработки	1,0		
Универсальные металлорежущие станки	1,5...2,5	Без конструктивных изменений деталей и узлов машины	1,0
Специальные установки ЭХМО	4...8	Конструктивные изменения деталей и узлов машин	2...5

Примечание: K_с – коэффициент относительной себестоимости

Как следует из приведенных закономерностей, значения V_{oc} в производственных условиях технологии изнашивания-восстановления соизмеримы с условиями технологии нанесения гальванических покрытий. В то же время путём регулирования плотности P_A обеспечиваются значения V_{oc} , соответствующие скорости изнашивания поверхностного слоя деталей в эксплуатации. Последняя обеспечивает компенсацию износа пар трения в заданном режиме.

Промышленное применение процесса ЭХМО в двух рассматриваемых областях требует создания и применения соответствующих технических систем и их компонентов. К таким компонентам относятся детали-объекты воздействия, технологическая оснастка и оборудование, рабочие среды, технологический процесс нанесения заданного слоя и другие компоненты систем в соответствии с ГОСТ 27.004-85.

По результатам разработок и испытаний созданы технические системы, которые можно разделить на два вида:

– технологические системы ЭХМО, предназначенные для модификации поверхностного слоя деталей и нанесения нового слоя взамен изношенного на этапах изготовления новых и восстановления изношенных деталей;

– эксплуатационные системы ЭХМО для нанесения поверхностного слоя при управлении

процессом изнашивания деталей без разборки агрегатов и узлов в эксплуатации.

На основе исследования технологических возможностей процесса разработана укрупненная схема алгоритма назначения условий применения технических систем ЭХМО, которая приведена на рис. 3.

Указанная схема предполагает:

1. Исходя из требований к наносимому на детали поверхностному слою и режима нанесения этого слоя обосновывают необходимость в одном из вариантов создаваемой технической системы.

2. Определяют требования к компонентам технической системы.

3. Проводят обоснования вариантов применяемого оборудования.

4. Основные решения проводят с учётом размера партий изделий, характера производства и ожидаемых технико-экономических показателей применения создаваемых технических систем.

Одним из определяющих компонентов создаваемых технических систем ЭХМО является применяемое оборудование. При создании и применении технологического оборудования предусмотрены три варианта решений, для эксплуатируемых машин – два варианта. Результаты анализа себестоимости применения этих вариантов приведены в табл. 1.

Опыт применения процесса ЭХМО и технических систем для его осуществления показал достаточную

эффективность при обеспечении работоспособности агрегатов ДВС, узлов запорно-регулирующей арматуры, насосно-компрессорного оборудования и других изделий. [3,4,5]

Таким образом, на основе выполненных исследований и разработок приведены основные решения и представления о создании и применении технических систем нового процесса электрохимико-механической обработки для изделий разных отраслей машиностроения как при их эксплуатации, так и при восстановлении.

Библиографический список

1. Вивденко Ю.Н. Технические системы производства наукоемкой техники. - Омск: изд. ОмГТУ, 2004. - 544 с.
2. Макаренко Н.Г. Электрохимическое упрочнение и восстановление деталей трибосистем. - Омск: «Омский научный вестник», 2004. - 254 с.
3. Пат. 2250410 Россия С2, МПК⁷ F 16 H 15/00. Способ повышения долговечности трибосистемы / Н.Г. Макаренко, Ю.Н. Вивденко, О.А. Мамаев, А.А. Красноштанов, В.Р. Эдигаров, А.Н. Макаренко, С.А. Резин. - № 2003122245/06;

Заявлено 16.07.2003; Опубл. 20.04.2005. Бюл. № 11, Приоритет 16.07.2003. - 8 с.: ил.

4. Пат. 2237554 Россия С1, МПК⁷ В 23 H 3/00. Устройство повышения долговечности трибосистем / Н.Г. Макаренко, Ю.К. Машков, М.Ю. Байбарацкая, В.Р. Эдигаров, О.А. Мамаев, А.Н. Макаренко. - № 2003106894/02; Заявлено 12.03.2003; Опубл. 10.10.2004. Бюл. № 28, Приоритет 12.03.2003. - 8 с.: ил.

5. Пат. 2224627 Россия С1, МПК⁷ В 23 H 9/00, В 24 В 39/00, С 23 С 28/00. Способ обработки поверхности детали пары трения и устройство для его осуществления / Н.Г. Макаренко, В.В. Александров, С.М. Кузнецов, С.Е. Максименко, А.Н. Макаренко. - № 2002121904/02; Заявлено 08.08.2002; Опубл. 27.02.2004. Бюл. № 6, Приоритет 08.08.2002. - 7 с.: ил.

МАКАРЕНКО Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника ГУП Центр внедрения новой техники и технологий «Транспорт» МПС РФ.

Дата поступления статьи в редакцию: 20.04.06 г.
© Макаренко Н.Г.

УДК 621.762:620.18

**В. В. АКИМОВ
А. Ф. МИШУРОВ
М. С. КОРЫТОВ
М. В. ПЛАСТИНИНА
Ю. К. КОРЗУНИН**

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ TiC-TiNi

В работе проведен анализ экспериментальных данных по исследованию микротвердости и фазового состава твердосплавного композиционного материала с небольшими добавками бора. Установлено, что в процессе термообработки (ТО) твердого сплава (50TiC-48TiNi-2B) об.% происходит изменение микротвердости и фазового состава.

Твердосплавные композиционные материалы должны обладать свойствами, уровень которых должен приближаться или превосходить свойства традиционных вольфрамсодержащих сплавов. Поэтому разработка новых и улучшение качества существующих твердых сплавов являются актуальной задачей. Однако пути создания материалов, обеспечивающие повышение пластичности твердых сплавов за счет измельчения зерна карбидов, использования более пластичных карбидов и металлических матриц, не позволили создать достаточно прочные и вязкие композиционные материалы. Существенного повышения пластичности при сохранении имеющегося уровня прочности можно достигнуть переводом матрицы в структурно-неустойчивое состояние за счет изменения тем-

пературы деформации или за счет изменения состава композиции [1].

Известно, что самым распространенным методом изучения прочностных свойств материалов является определение микротвердости H_n , что позволяет исследовать локальные области малых размеров зерна, субзерна, прослойки различных фаз путем варьирования нагрузки на индентор [2].

Твердые безвольфрамовые сплавы готовили из смеси спрессованных порошков карбида титана (ТУ-48-19-73) и никелида титана (ТУ-14-127-104-48). Размер исходных частиц карбида титана составляет 1...10 мкм, никелида титана - 10...50 мкм.

Аморфный бор марки ОЧ, вводимый в твердый сплав для раскисления примесей и улучшения взаимодействия интерметаллида TiNi с тугоплавким

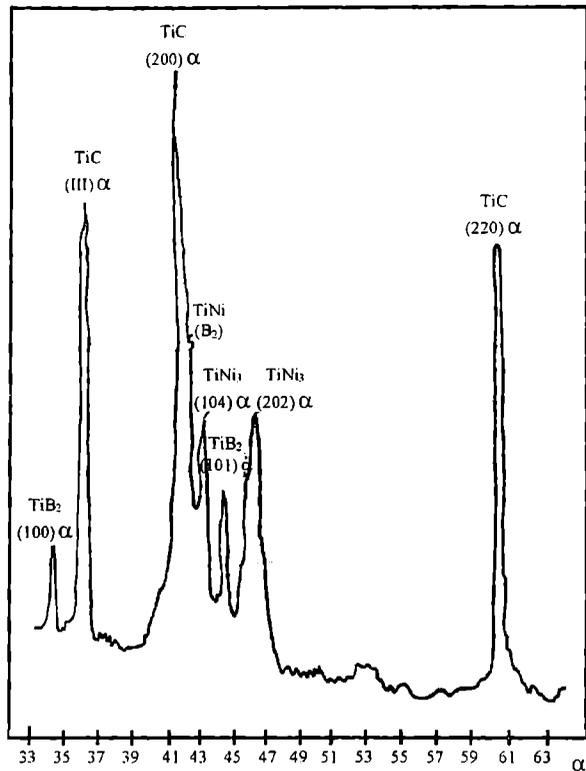


Рис. 1. Фазовый состав сплавов (50TiC–48TiNi–2B) об. %

соединением TiC, имел размер частиц 0,05...1 мкм. Порошки TiC, TiNi, B тщательно перемешивали с добавлением ацетона. Затем после их предварительной сушки в вакуумном шкафу смешивание компонентов осуществляли в механической мешалке в течение суток. Затем в хорошо перемешанную смесь порошков (50 TiC – 48 TiNi – 2 B) об. % добавляли 6 %-ный раствор пластификатора (каучука) в чистом бензине. И, вновь перемешав смесь, сушили 24 ч при температуре 20 °С, потом просеивали с использованием сита с размером ячеек 800 мкм. Образцы получали методом холодного двухстороннего прессования давлением 100...200 МПа в специальной пресс-форме, после чего спекали в вакуумной лабораторной печи при давлении 6,65 кПа с быстрым нагревом образцов до 1350 °С, малой выдержкой (3...5 мин) и последующим быстрым охлаждением спеченных образцов.

Компоненты будущего композиционного материала в условиях прессования и жидкофазного спекания можно рассматривать как открытую термодинамическую систему, в которой между элементами (компонентами) системы вследствие градиента механических, тепловых, химических напряжений формируются химические и физичес-

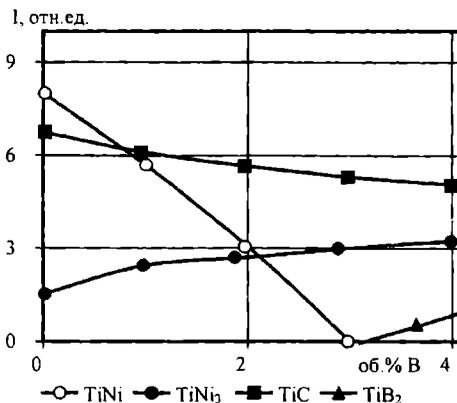


Рис. 2. Концентрационная зависимость отдельных пиковых интенсивностей неперекрывающихся линий всех фаз, образующихся в системе TiC–TiNi–B

кие связи, совершаются фазовые переходы и другие процессы, приводящие к созданию композиционного материала с определенной структурой и свойствами. Уровень сформированных связей, размеры и форма отдельных фаз и характер межфазного взаимодействия определяют показатели физико-механических свойств композиционного материала, в том числе его механическую прочность.

В настоящей работе изучено изменение микротвердости и структуры твердосплавных композиционных материалов TiC – TiNi при их термической обработке. Термической обработке подвергались образцы ТСКМ состава (50TiC – 48TiNi – 2B) об. % в печи СНО-2,55.1,7/12 при нагреве до 1000 °С и выдержке при этой температуре в течение 30 мин с последующим охлаждением на воздухе.

С помощью прибора ПМТ-3 измеряли микротвердость шлифов сплава состава (50TiC – 48TiNi – 2B) об. % до и после их термообработки. Измерение микротвердости шлифов проводили при постоянной нагрузке в 0,5 Н и времени приложения нагрузки в течение 10 с. Величина H_{μ} высчиталась по формуле $H_{\mu} = 1,854 P/d^2$,

где H_{μ} – микротвердость в ГПа; P – нагрузка на алмазную пирамиду, Н; d – диагональ отпечатка пирамиды, мкм.

Данные по измерению микротвердости ТСКМ представлены в таблице. Представленные экспериментальные значения микротвердости показали, что в твердых сплавах системы TiC – TiNi с добавками до 2 об. % бора при их термической обработке в печи до 1000 °С, выдержке при этой температуре до 30 мин с последующим медленным охлаждением на воздухе происходит заметное увеличение микротвердости и небольшое увеличение твердости материала по Роквеллу.

Значение микротвердости образцов ТСКМ до и после термической обработки (ТО)

Таблица

Значения микротвердости до ТО			Значения микротвердости после ТО		
Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость H_{μ} , ГПа	Твердость по Роквеллу HRA	Диаметр отпечатка d , мкм	Микротвердость H_{μ} , ГПа	Твердость по Роквеллу HRA
32	9,05	84	29	11,05	86
31	9,85	84,5	30	10,30	86
30	10,30	84,5	26	13,70	87
29	11,05	85	29	11,05	86
31	9,65	85	21	21,00	87

Дифрактограммы полученных сплавов представляют собой суперпозицию многих систем линий, причем наиболее четко выявляются фазы TiC, TiNi, TiNi₃, TiB₂ (рис. 1). Пиковые интенсивности неперекрывающихся линий показаны на рис. 2. Первоначально исследуемый ТСКМ состоит из смеси трех фаз: TiC, TiNi и TiNi₃. Даже при небольших добавках бора наблюдается уменьшение интенсивности линий фазы TiNi, которые затем исчезают. Интенсивность линий TiNi₃ вначале небольшая, достигает максимального значения при введении 2 об. % В, затем убывает. Проведенные рентгеноструктурные исследования показывают, что в системе образуется фаза — диборид титана TiB₂. По данным [3], формирование TiB₂ становится возможным, начиная с 1100 °С вследствие диффузии атомов бора в титан.

Наблюдаемое небольшое уменьшение интенсивности линий TiC (рис. 2) можно объяснить экранированием карбидных частиц диборидом титана, который первоначально образуется на поверхностях частиц TiC, что приводит к возрастанию микротвердости после ТО при 1000 °С. В работе [4] указывается на возможность расположения фазы TiB₂ по поверхностям карбидных частиц и исследовано влияние малых добавок TiB₂ на процесс спекания тугоплавких соединений TiC — TiB₂.

Таким образом, бор, образуя в исследуемой системе диборид титана, изменяет фазовые соотношения как в процессе спекания, так и при термической обработке ТСКМ при 1000 °С. Введение его в малых количествах благодаря химическому взаимодействию по границам карбида существенно улуч-

шает физико-механические характеристики, в том числе твердость и микротвердость.

Библиографический список

1. Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. и др. Структурные уровни пластической деформации и разрушения. — Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1990. — С. 187-201.
2. Григорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. — М.: Наука, 1976. — 230 с.
3. Кислый П.С., Кузенкова М.С. Спекание тугоплавких соединений. — Киев: Наукова думка, 1988. — 168 с.
4. Самсонов Г.В., Вчвицкий И.М. Тугоплавкие соединения: Справочник. — М.: Металлургия, 1976. — 360 с.

АКИМОВ Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкционных материалов и специальных технологий.

МИШУРОВ Александр Федорович, старший преподаватель кафедры конструкционных материалов и специальных технологий.

КОРЫТОВ Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкционных материалов и специальных технологий.

ПЛАСТИНИНА Марина Васильевна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики.

КОРЗУНИН Юрий Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкционных материалов и специальных технологий.

Дата поступления статьи в редакцию: 10.11.06 г.

© Акимов В.В., Мишуров А.Ф., Корытов М.С., Пластинина М.В., Корзунин Ю.К.

УДК 539.121.8.04

Д. В. ПОСТНИКОВ

Омский государственный
технический университет

МОДЕЛЬ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В СТАЛЯХ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПУЧКАМИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

В статье рассматриваются процессы радиационно-стимулированного массопереноса элементов при облучении импульсными пучками заряженных частиц. В работе предложена модель, которая учитывает влияние следующих механизмов на массоперенос: термодиффузию, массоперенос при наличии градиентов концентрации точечных дефектов и барродиффузию. В работе определен вклад каждого механизма в общий поток атомов.

В работе рассматриваются процессы массопереноса элементов в поверхностных слоях сплавов при импульсном облучении. Предложена модель массопереноса в сплавах при электронном облучении. В модели рассматривается перераспределение

элементов в полях внутренних напряжений, градиентов температуры и концентрации точечных дефектов. Проведены расчеты концентрационных профилей и оценен вклад различных механизмов в перераспределение элементов.

Кинетическая модель диффузии по вакансионному механизму при облучении пучками заряженных частиц

При импульсном облучении происходят неравномерный нагрев образца, образование неравновесных точечных дефектов и возникновение волны напряжений, распространяющейся в материале. При различных типах облучения, энергии частиц и плотности тока пучка возможно образование трех типов поля напряжений: термоупругих напряжений, пластической деформации и ударной волны. В данной работе рассматриваются только термоупругие напряжения при облучении пучком электронов. При выводе кинетического уравнения диффузии должны быть учтены следующие факторы: термодиффузия, диффузия под действием градиента точечных дефектов и диффузия в поле напряжений термоупругой волны [2,3].

Число вакансий всегда меньше, чем число атомов. Следовательно, поток атомов определяется числом вакансий. Рассмотрим поток компонента А в направлении оси x . За поток примем изменение числа атомов компонента А в плоскости единичной площади в единицу времени. Это изменение связано с перескоками атомов из плоскости в плоскость. Число перескоков атомов компонента А из плоскости i в плоскость j определяется:

$$n_{ij} = N_{ij} \cdot \frac{N_{A_i}}{N_{A_i} + N_{B_i} + N_{V_i}} \Gamma_{ij} = N_{ij} \cdot n_i \Gamma_{ij} \quad (2)$$

Можно записать выражение для потока J_A :

$$J_A = n_{12} + n_{23} - n_{21} - n_{32}. \quad (3)$$

Локальная концентрация вакансий в плоскости i

равна $n_{V_i} = \frac{N_{V_i}}{b}$.

Концентрации в соседних плоскостях связаны между собой с точностью до членов первого порядка относительно малых величин разложением в ряд:

$$\begin{cases} n_{V_3} = n_{V_2} + b_3 \frac{\partial n_{V_2}}{\partial x} \\ n_{V_1} = n_{V_2} - b_1 \frac{\partial n_{V_2}}{\partial x} \end{cases} \quad (4)$$

Подставим (4) в (3), обозначив $n_V = n_{V_2}$, в результате получим следующую формулу:

$$J_A = n_V (b_1 + b_3) \cdot [n_1 \Gamma_{12} + n_3 \Gamma_{32}] + n_2 \frac{\partial n_V}{\partial x} (b_3^2 \Gamma_{23} + b_1^2 \Gamma_{21}). \quad (5)$$

В случае распространения волны напряжений значение параметра решетки по глубине образца будут изменяться. Межплоскостные расстояния кристаллической решетки b_1 и b_2 разложим в ряд относительно параметра решетки в недеформированном состоянии b . При разложении воспользуемся первыми двумя членами ряда.

$$\begin{cases} b_1 = b - b \frac{\partial b}{\partial x} \\ b_3 = b + b \frac{\partial b}{\partial x} \end{cases} \quad (6)$$

Подставляем (6) в (5), обозначив $\delta\Gamma = \Gamma_{12} - \Gamma_{32}$

$$J_A = 2nb^2 \left[\Gamma_0 \left(1 + \left(\frac{\partial b}{\partial x} \right)^2 \right) + \delta\Gamma \frac{\partial b}{\partial x} \right] \frac{\partial n_V}{\partial x} + b^3 \left(3 + \left(\frac{\partial b}{\partial x} \right)^2 \right) \frac{\partial \Gamma_0}{\partial x} \frac{\partial b}{\partial x} + \Gamma_{32} b^3 \left(1 - \frac{\partial b}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial n_V}{\partial x} + b n_V (n_1 \Gamma_{12} - n_3 \Gamma_{32}) + b^2 \left(3 + \left(\frac{\partial b}{\partial x} \right)^2 \right) \quad (7)$$

В результате проведенных математических преобразований и замены микропараметров через коэффициенты диффузии и энергии активации получено уравнение для потока компонента А

$$J_A = D_A \left[1 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right] \frac{\partial c_A}{\partial x} + D_A c_A \frac{E_A}{kT^2} \left[2 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right] \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{c_A}{c_V} D_A \left[1 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right] \frac{\partial c_V}{\partial x} + D_A \frac{E_A}{kT^2} b \left[\frac{c_A}{c_V} \frac{\partial c_V}{\partial x} \left(4 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right) - \frac{\partial c_A}{\partial x} \right] \frac{\partial T}{\partial x} \quad (8)$$

Рассмотрим процесс взаимной диффузии двух компонентов. Кристаллические плоскости двигаются со скоростью:

$$V_L = J_A + J_B. \quad (9)$$

Поток компонента В относительно лабораторной системы координат:

$$J'_B = J_B - c_B V_L; \quad (10)$$

Подставляем (9) в (10)

$$J'_B = J_B - c_B J_A - c_B J_B. \quad (11)$$

Запишем уравнение для потока для компонента В, обозначим $\tilde{D} = D_B c_A + D_A c_B$; и воспользуемся вторым законом Фика:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_B}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x} \left[\tilde{D} \left(1 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right) + c_A c_B \frac{P}{EkT^2} \left(\frac{E_B D_B}{c_B} + \frac{E_A D_A}{c_A} \right) \right] \frac{\partial c_A}{\partial x} + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{c_A c_B}{kT^2} (E_B D_B - E_A D_A) \left(2 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[c_A c_B (D_A - D_B) \left(1 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right) \frac{\partial c_V}{\partial x} \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{P b c_A c_B}{EkT^2} \left(4 + \left(\frac{P}{E} \right)^2 \right) (E_B D_B - E_A D_A) \frac{\partial c_V}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \right], \end{aligned} \quad (12)$$

c_A, c_B – концентрация атомов сорта А и В; \tilde{D} – коэффициент взаимной диффузии, P – внутренние напряжения, возникающие в материале, E – модуль Юнга, k – постоянная Больцмана, T – температура, D_A, D_B – коэффициенты диффузии элементов, E_A, E_B – энергии активации диффузии, c_V – концентрация вакансий, b – межплоскостное расстояние в решетке.

Уравнение (12) определяет собой изменение концентрации компонента В в бинарной системе с учетом концентрационного механизма диффузии, термодиффузии, диффузии под действием градиента концентрации вакансий и бародиффузии. Первое слагаемое отражает концентрационный механизм. Второе слагаемое в уравнении (12) описывает термодиффузионный поток. Направлен такой поток в сторону, противоположную градиенту температуры, т.е. более подвижный компонент накапливается у холодного конца образца. Третий член в правой части описывает процесс перераспределения элементов, вызванный неоднородным по толщине распределением неравновесных вакансий. В данном случае более подвижный компонент должен перемещаться к поверхности образца. Четвертое слагаемое отражает механизм бародиффузии. Под действием данного механизма более подвижные атомы перемещаются в сторону более напряженного состояния кристаллической решетки [1].

Кинетическая модель диффузии по межузельному механизму при облучении пучками заряженных частиц

Массоперенос малоразмерных примесей осуществляется преимущественно по межузельному механизму. Для описания процессов массопереноса

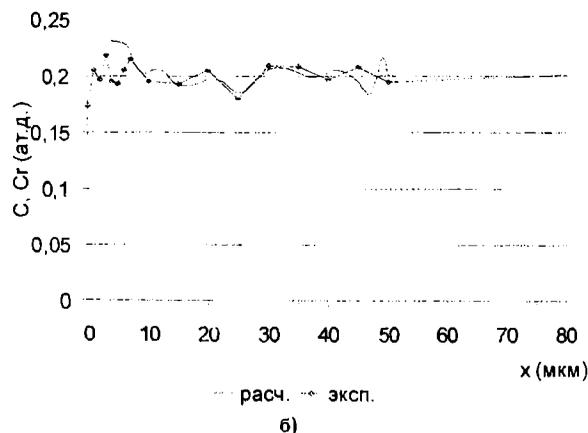
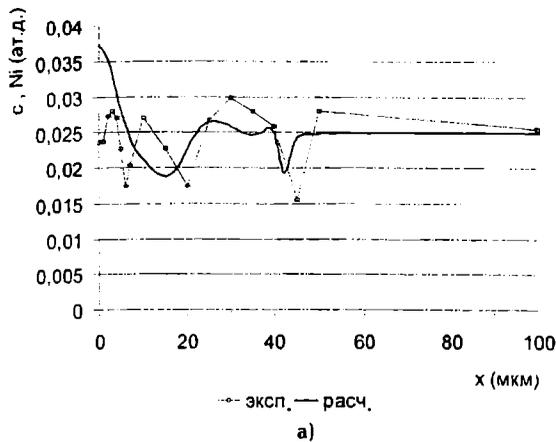


Рис. 1. Сталь 12Х18Н10Т. Распределение никеля (а) и хрома (б) после облучения пучком электронов с энергией 500 кэВ, плотность тока 1 кА/см², длительность импульса 2,5 мкс.

в системах с малоразмерными примесями (углерод, кислород, азот, водород) при облучении импульсными пучками электронов и ионов получим кинетическое уравнение диффузии межузельных атомов в поле градиента температуры и градиента внутренних напряжений материала. При диффузии по межузельному механизму для перемещения атома не требуется вакансии, в остальном вывод аналогичен выводу кинетического уравнения по вакансионному механизму.

Рассмотрим четыре атомные плоскости кристаллической решетки. Между плоскостями расположены межузельные атомы, плоскости их расположения обозначим № 1, 2, 3. Эти плоскости перпендикулярны оси, вдоль которой направлен поток межузельных атомов. Вдоль этой оси имеют место градиенты концентраций компонентов сплава, градиент температуры и градиент напряжения в кристаллической решетке. Величина напряжений, возникающих в материале при облучении, не равномерна по глубине образца, поэтому межплоскостные расстояния будут отличаться.

Рассмотрим поток компонента межузельных атомов А в направлении оси x . За поток примем изменение числа атомов компонента А в плоскости 2 единичной площади в единицу времени. Это изменение связано с перескоками атомов из плоскости в плоскость. Число перескоков атомов компонента А из плоскости i в плоскость j определяется:

$$J_A = n_{12} + n_{23} - n_{21} - n_{32}. \quad (13)$$

Межплоскостные расстояния кристаллической решетки b_1 и b_2 разложим в ряд относительно параметра решетки в недеформированном состоянии b . При разложении воспользуемся первыми двумя членами ряда. Аналогично поступаем с концентрациями компонента А в различных плоскостях, связывая их между собой. Тогда уравнение для потока примет следующий вид.

$$J_A = 2c_A b^2 v_A \frac{E_A}{kT^2} e^{-\frac{E_A}{kT}} \frac{\partial T}{\partial x} + 2c_A b^2 v_A \frac{E_A}{kT^2} e^{-\frac{E_A}{kT}} \frac{\partial T}{\partial x} - 2v_A \frac{E_A}{kT^2} e^{-\frac{E_A}{kT}} b^2 \frac{\partial c_A}{\partial x} + 2v_A \frac{E_A}{kT^2} e^{-\frac{E_A}{kT}} b^2 \frac{\partial c_A}{\partial x} \frac{\partial b}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \quad (14)$$

Выразим коэффициент диффузии через микропараметры. Изменение параметра решетки заменим через макрохарактеристики

$$\frac{\partial b}{\partial x} = \varepsilon = \frac{P}{E}. \quad (15)$$

где ε - относительная деформация, P - давление или внутренние напряжения, E - модуль Юнга.

Используя уравнение (15), запишем уравнение (14).

$$J_A = D_A \frac{\partial c_A}{\partial x} + D_A \frac{E_A}{kT^2} \left[2c_A + b \frac{P}{E} \frac{\partial c_A}{\partial x} \right] \frac{\partial T}{\partial x} \quad (16)$$

Рассмотрим процесс взаимной диффузии двух компонентов. Кристаллические плоскости двигаются со скоростью:

$$V_L = J_A + J_B. \quad (17)$$

Поток примеси сложно применять для анализа перераспределения примеси, поэтому перейдем к производной концентрации по времени. Тогда уравнение (16) примет следующий вид:

$$\frac{\partial c_A}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} D_n \frac{\partial c_A}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} c_A \left[D_B \frac{\partial c_n}{\partial x} + D_A \frac{\partial c_A}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \frac{2c_n c_A}{kT^2} \left[\frac{D_n E_n}{c_n} - \frac{c_n D_n E_n}{c_A} - D_A E_A \right] \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{b}{kT^2} \frac{P}{E} [D_n E_n - c_n (D_n E_n + D_A E_A)] \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (18)$$

где c_A, c_n - концентрация атомов сорта А и В; \bar{D} - коэффициент взаимной диффузии, P - внутренние напряжения, возникающие в материале, E - модуль Юнга, k - постоянная Больцмана, T - температура, D_A, D_n - коэффициенты диффузии элементов, E_A, E_n - энергии активации диффузии, c_V - концентрация вакансий, b - межплоскостное расстояние в решетке.

Два первых слагаемых описывают концентрационный механизм. Второе слагаемое представляет собой поток, вызванный термодиффузией. Направлен такой поток в сторону, противоположную градиенту температуры, т.е. более подвижный компонент накапливается у холодного конца образца. Третье слагаемое в правой части описывает процесс перераспределения элементов, вызванный напряжениями в материале. В данном случае межузельные атомы будут перемещаться из более напряженной области в менее напряженную.

Результаты расчетов концентрационных профилей

Проведены расчеты температуры в образце при электронном облучении. По уравнению (12) проведены расчеты концентрационных профилей никеля и хрома в железной матрице (рис. 1). Результаты расчетов согласуются с экспериментальными данными, полученными для стали 12Х18Н10Т, облученной пучком электронов с энергией 500 кэВ,

плотностью тока 1 кА/см^2 , длительностью импульса 2,5 мкс. (ускоритель ГСЭП-3, г. Курчатov).

На основе расчетов проведен анализ влияния каждого механизма диффузии (термодиффузия, диффузия под действием градиента концентрации вакансий, бародиффузия) на перераспределение элементов. При облучении пучками электронов с энергией 300-500 кэВ, плотностью тока $0,5-1 \text{ кА/см}^2$ и микросекундной длительностью импульса преобладающим механизмом является массоперенос в поле напряжений. Однако, как показывают расчеты, для возникновения наблюдаемого массопереноса необходимо создание в материале значительной концентрации точечных дефектов (до 10^{-2} ат. д.). Подобную концентрацию точечных дефектов обеспечивает облучение. Наблюдаемое перераспределение элементов возможно при воздействии в совокупности поля напряжений и неравновесного распределения точечных дефектов.

Результаты и их обсуждение

Оценка влияния различных конкурирующих механизмов массопереноса показывает, что величины потоков, вызванных различными механизмами, близки между собой. Однако поток, вызванный градиентом температуры, является максимальным. Градиент температуры, возникающий при облучении материалов, играет основную роль в формировании распределения элементов после облучения.

Анализ уравнения и результатов расчетов показывает, что для возникновения массопереноса необходимо наличие следующих факторов:

а) значительной концентрации точечных дефектов для обеспечения вакансионного и межузельного механизма диффузии;

б) высокой температуры образца для активации процесса диффузии и, как следствие, увеличения коэффициентов диффузии;

в) несимметричной волны напряжений, распространяющейся в материале. В случае облучения импульсными потоками энергии волна напряжений имеет несимметричную форму, поэтому возникает нескомпенсированный поток атомов, обусловленный пространственно-временным распределением градиента давления.

Работа выполнялась при поддержке фонда РФФИ, грант 06-08-00137а

Библиографический список

1. Постников Д.В. Перераспределение компонентов в сплавах на основе железа при импульсном облучении / Постников Д.В., Плотников С.В., В.А. Кузьминых В.А. 12th International conference on radiation physics and chemistry of inorganic materials, Tomsk, 2003.
2. Блейхер Г.А. Тепломассоперенос в твердом теле под действием мощных пучков заряженных частиц / Г.А. Блейхер, В.П. Кривоногов, О.В. Пащенко. – Новосибирск: Наука, 1999. – 176 с.
3. Постников Д.В. Расчет теплового поля при облучении высокоэнергетическим пучком электронов микросекундной длительности. / Постников Д.В., Плотников С.В., Кузьминых В.А., Гулякин А.В. Эволюция дефектных структур в конденсированных средах / VII Межд. школа-семинар: докл. - Барнаул, 2003. – С.148.

ПОСТНИКОВ Денис Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент.

Дата поступления статьи в редакцию: 07.02.06 г.
© Постников Д.В.

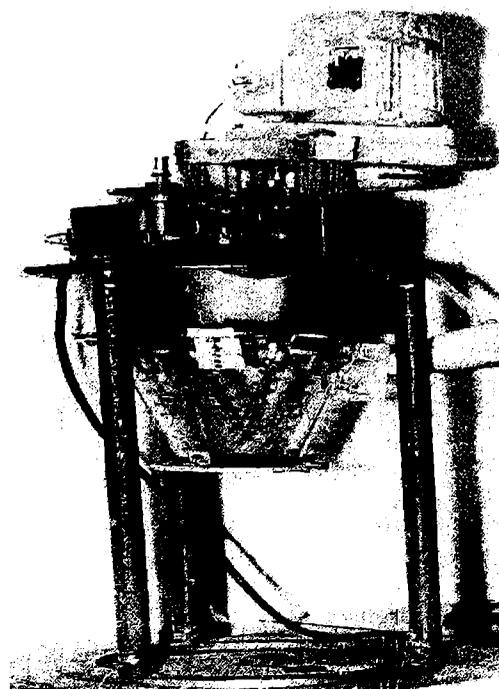
Новые научные разработки

Бипланетарные смесители

Предназначены для производства смесей высоковязких жидкостей, пастообразных и сухих материалов с высокой степенью однородности готового продукта при низких удельных энергозатратах. Возможно гранулирование смесей. При необходимости может быть обеспечена полная герметизация рабочего объема при перемешивании высокотоксичных и взрывопожароопасных материалов.

В настоящее время разработана конструкторская документация, внедрены в промышленность опытные образцы, созданы модели смесителей, предназначенные для производства однородных смесей из агрессивных и взрывоопасных материалов с соблюдением высоких требований к пожарной и экологической безопасности. Предложенные конструкции смесителей защищены авторскими свидетельствами на изобретение.

ОМГТУ, кафедра «Сопротивление материалов»,
тел. (3812)652026, e-mail: korneyev@omgtu.ru



РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ БЕРИЛЛИЯ В УСЛОВИЯХ ОБЛУЧЕНИЯ СИЛЬНОТОЧНЫМ ПУЧКОМ ЭЛЕКТРОНОВ

В статье рассматривается радиационное повреждение поверхности бериллия сильноточным пучком электронов на ускорителе ГСЭП-3. Определена степень повреждения бериллиевых образцов. Проведены расчеты температурного поля внутри образца и распределения термических напряжений. Выявлены причины трещинообразования на поверхности бериллия. Проведены расчеты концентрации точечных дефектов и определены возможные причины повышения микротвердости поверхностного слоя.

Введение

На сегодняшний день широкое развитие получило направление радиационного материаловедения, связанное с изучением поведения материалов в условиях радиационного воздействия. Наибольшее значение результаты таких исследований приобретают при проектировании и строительстве ядерных энергетических установок и установок термоядерного синтеза типа ТОКАМАК. На установках ТОКАМАК наиболее подвержен радиационному и тепловому воздействию такой элемент конструкции как первая стенка и дивертор. Анализ свойств кандидатных материалов для первой стенки и дивертора (бериллий, графит, вольфрам) показывает, что наиболее предпочтительным материалом для покрытий первой стенки является бериллий. В настоящее время разработан макет первой стенки, представляющий собой фрагмент первой стенки - blankets реактора ИТЭР. Предложено изготовить макет в виде трехслойной конструкции из бериллия марки ТГП-56, медного сплава (бериллиевая бронза марки С17510) и нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Однако точных данных об особенностях поведения бериллия и других материалов макета первой стенки в условиях радиационного и термического воздействия в настоящее время нет [1].

Исследование поведения бериллия и других материалов макета первой стенки в условиях радиационного и термического воздействия проводят с применением сильноточных пучков заряженных частиц. Одной из установок, позволяющих проводить такие исследования, является сильноточный ускоритель электронов ГСЭП-3.

Материалы и методика исследований

Исследования проводились на образцах, различающихся формой и размером, а также наличием или отсутствием кристаллографической текстуры. В частности, призматические образцы

являлись текстурированными, так как были вырезаны из цилиндрической заготовки, полученной экструзией (выдавливанием). Поэтому данные образцы обладали осевой текстурой (при которой базисные плоскости (0001) в зернах гексагонального плотноупакованного бериллия ориентированы преимущественно вдоль оси заготовки). У этих образцов четыре поверхности с размерами 15x20 мм были параллельны оси текстуры, а две поверхности с размерами 20x20 мм – перпендикулярны. Текстурированными были также диски диаметром 18 мм и толщиной 2 мм, плоские поверхности которых были перпендикулярны оси текстуры. В качестве бестекстурных образцов в экспериментах использовались стержни диаметром 6 мм и длиной 28 мм и цилиндры диаметром 14 мм и высотой 12 мм (рис. 1).

В двухслойных бериллий-бронзовых образцах облучению подвергалась только часть из бериллия. Перед облучением поверхность бериллия подвергалась механической обработке и полировке.

Воздействие сильноточным электронным пучком на поверхность всех трех типов бериллиевых поверхностей (без текстуры; с осевой текстурой, параллельной поверхности; с осевой текстурой, перпендикулярной поверхности) осуществлялось в одинаковых условиях, а именно: расстояние от поверхности образца до взрывозамкнутого катода



Рис. 1. Двухслойный нетекстурированный бериллий-бронзовый образец (слева) и однослойный текстурированный бериллиевый образец (справа)

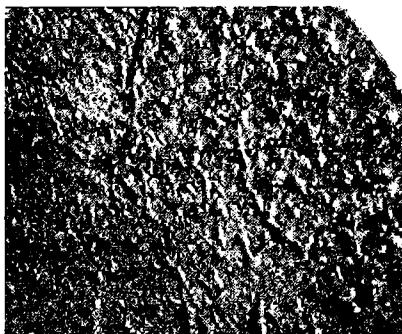


Рис. 2. Облученная поверхность бестекстурного цилиндрического Be-образца после облучения

да – 35 мм; ускоряющее напряжение – 520 кВ; энергия, накапливаемая генератором импульсов, – около 14 кДж; длительность импульса – 3 мкс, количество импульсов – 6. Для дальнейших расчётов распределения тепла, напряжений и концентрации дефектов использовались осциллограммы тока и напряжения, полученные ранее на этом ускорителе и соответствующие условиям проведения экспериментов.

Влияние облучения на поверхностные свойства бериллия

Результаты облучения выявили заметные различия в степени и характере повреждаемости поверхности бериллия без текстуры и с текстурой вдоль и поперек: у цилиндрических бестекстурных образцов на поверхности наблюдались, в основном, следы сильного оплавления (рис. 2), у призматических образцов на поверхности, параллельной оси текстуры, – образование сетки глубоких, примерно до

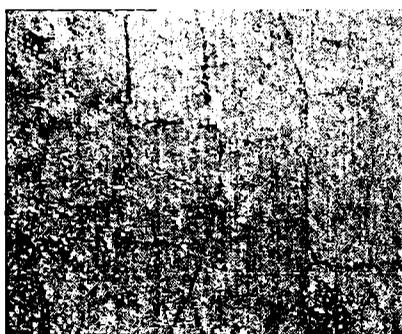
2 мм, трещин (рис. 3 а), а у таких же образцов на поверхности, перпендикулярной оси текстуры, – образование отдельных менее глубоких трещин (рис. 3 б).

При исследовании облученных бериллиевых образцов было проведено сопоставление таких характеристик образцов до и после облучения, как масса, геометрические размеры, микротвёрдость. Оценка степени испарения и распыления поверхности бериллия при ее многократном импульсном облучении сильноточным электронным пучком показала, что имеют место и заметное (надёжно измеряемое) укорочение образцов, и коррелирующая с ним заметная потеря их масс. Так, например, размеры призматического образца изменились от 15,16x19,82x20,63 мм до 15,16x19,82x20,59 мм (укорочение на –40 мкм), а его масса уменьшилась с 11,48004 до 11,45775 г (потеря –22 мг массы).

Термические напряжения, возникающие в материале

Для определения причин образования трещин на поверхности бериллиевых образцов проведены расчеты динамического распределения температуры по уравнению теплопроводности с внутренними источниками тепла [7]. На основе температурных расчетов получено распределение термических напряжений, вызванных неравномерным распределением температуры. Для расчета внутренних напряжений использована методика, которая представлена в работе [2]:

$$\sigma = \nu_{\text{т}}^2 \rho \frac{\partial X}{\partial x} - \Gamma \rho c_{\nu} (T - T_0), \quad (1)$$

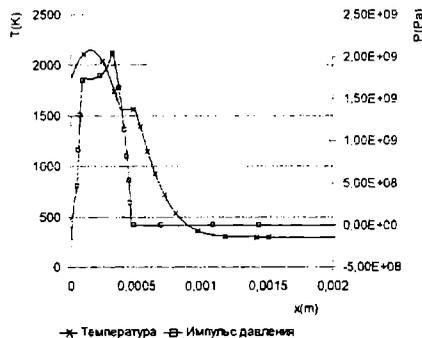


а)

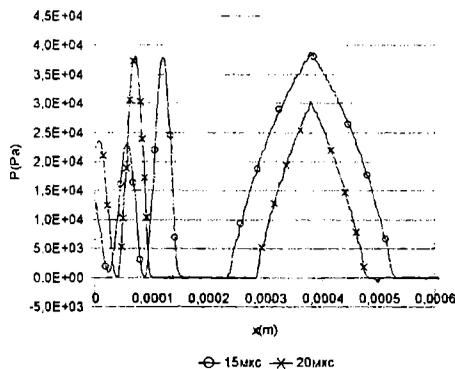


б)

Рис. 3. Параллельная (а) и перпендикулярная (б) оси текстуры поверхность призматического Be-образца после облучения



а)



б)

Рис. 4. Распределение температуры и импульса давления после облучения пучком электронов с энергией E=520кэВ, j=1 кА/см², время импульса τ=3мкс, в конце импульса облучения (а) и в различные моменты времени после облучения (б)

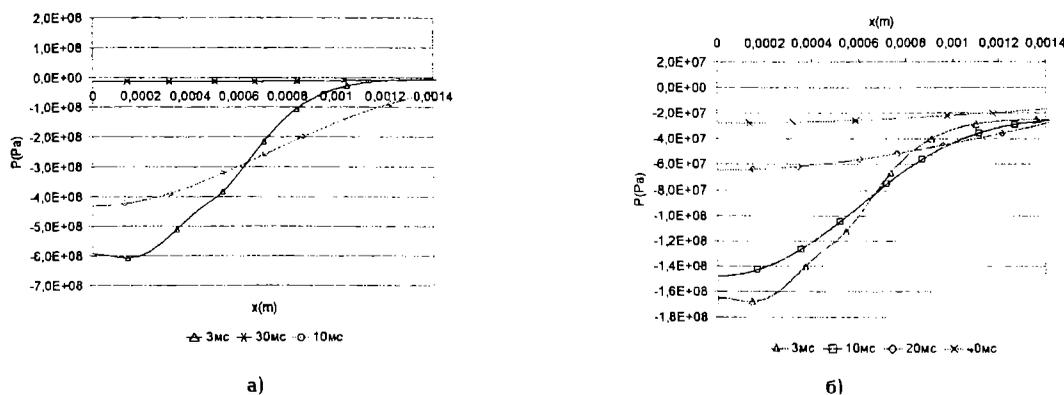


Рис. 5. Распределение статистических напряжений в направлении, перпендикулярном действию пучка, после облучения электронами с энергией $E=520$ кэВ, $J=1$ кА/см², время импульса $\tau=3$ мкс, в различные моменты времени после облучения, а – текстурированный бериллий, б – бестекстурный бериллий

где σ – внутренние напряжения; c_V – удельная теплоемкость при постоянном объеме; v_{ac} – продольная скорость звука; X – смещение; ρ – плотность; Γ – параметр Грюнайсера.

Для окончательного расчета внутренних напряжений применяется следующее уравнение

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(v_{ac}^2 \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) - \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} = \Gamma c_V \rho \frac{\partial^2 T}{\partial t^2} \quad (2)$$

Как показывают расчеты, распределение отрицательных давлений, которые приводят к разрыву образца, не превышает предела прочности, поэтому образец не разрушается по оси действия облучения. Волна напряжений в образце затухает в течение 20 мкс (рис. 4).

В случае неравномерного распределения температуры по глубине образца (ось x) возможно возникновение напряжений в плоскости, перпендикулярной направлению действия пучка (ось y) [2].

$$\sigma_y = -k(x)\Gamma(x) + \frac{k(x)}{l} \int_0^l T(x) dx + \frac{3k(x) \left(x - \frac{l}{2}\right)}{2 \left(\frac{l}{2}\right)^3} \int_0^l T \left(x - \frac{l}{2}\right) dx, \quad (3)$$

где $k(x) = \frac{\alpha(x)E}{1-\mu}$ – коэффициент, зависящий от

коэффициента линейного расширения, l – длина образца по оси x , $\alpha(x)$ – коэффициент линейного расширения, E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона.

Линейный коэффициент теплового расширения зависит от температуры. Для бериллия с изотропными свойствами, полученного методом порошковой металлургии, коэффициент линейного расширения составляет $\alpha(T) = (0.017T + 8.5) \cdot 10^{-6} K^{-1}$ [3]. В случае, если образец получен методом выдавливания, коэффициенты линейного расширения для различных направлений по отношению к направлению выдавливания будут отличаться. Перпендикулярно и параллельно выдавливанию зависимости соответственно будут иметь следующий вид: $\alpha_1(T) = (0.01677T + 5.0089) \cdot 10^{-6} K^{-1}$; $\alpha_2(T) = (0.01297T + 9.1643) \cdot 10^{-6} K^{-1}$. Сравнение результатов расчета показывает, что напряжения, возникающие в текстурированном образце, больше, чем предел прочности данного материала, который для текстурированного бериллия составляет $\sigma = 3.34 \cdot 10^8 Pa$, $\sigma_1 = 2.82 \cdot 10^8 Pa$. Эти напряжения вызваны неравно-

мерным распределением температуры по глубине образца и различными коэффициентами линейного расширения по отношению к направлениям выдавливания (рис. 5 а).

Проведены расчеты термических напряжений по оси «у» для бериллия, который в исходном состоянии обладал бестекстурной поверхностью. Расчеты распределения напряжений возникающих в бериллии, который в исходном состоянии не обладал текстурой свидетельствуют о том, что эти напряжения не превышают предела прочности ($\sigma = 4.865 \cdot 10^8 Pa$ [3]). Поэтому и не происходит разрушения данного вида бериллия (рис. 5 б).

В случае использования данного материала в качестве элемента первой стенки предпочтителен бестекстурный бериллий с наиболее изотропными свойствами.

Влияние радиационных точечных дефектов на микротвердость поверхностного слоя бериллия

Экспериментальное исследование микротвердости облученной поверхности показало, что в тонком (несколько микрометров) поверхностном слое это увеличение составляет от $\sim 3,3$ до $\sim 4,0$ ГПа. Толщина этого слоя, по-видимому, не менее 1 мм, поскольку максимальный пробег электронов с энергией 520 кэВ в бериллии составляет примерно 1,5 мм [4,5].

В результате облучения образуются закалочные точечные дефекты, вызванные интенсивным нагревом и охлаждением образца. Концентрация точечных дефектов значительно превышает равновесную, образование пар Френкеля влияет на изменение микротвердости образцов. Расчет распределения вакансий осуществляется по кинетическим уравнениям точечных дефектов.

Точечные дефекты, образованные в результате облучения материала, термодинамически неравновесны. В итоге они частично аннигилируют между собой или перемещаются к стокам. В результате возникают потоки точечных дефектов, которые также существенно ускоряют процессы массопереноса и приводят к перераспределению элементов.

$$\begin{cases} \frac{\partial C_V}{\partial t} = C_V^* - ZC_V C_i + \frac{\partial}{\partial t} \left(-D_V \frac{\partial C_V}{\partial x} \right) - R_{VI} C_V \\ \frac{\partial C_i}{\partial t} = C_i^* - ZC_V C_i + \frac{\partial}{\partial t} \left(-D_i \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) - R_{id} C_i \end{cases} \quad (4)$$

где C_V , C_i – концентрация вакансий и межузельных атомов; C_V^* , C_i^* – концентрация вакансий и

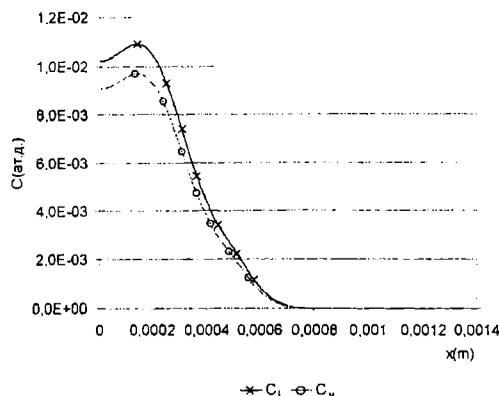


Рис. 6. Распределение вакансий и межузельных атомов по глубине образца после облучения электронами с энергией $E=520$ кэВ, $j=1$ кА/см², время импульса $\tau=3$ нс, в различные моменты времени после облучения

межузельных атомов, введенных облучением, в единицу времени; Z — коэффициент пропорциональности при рекомбинации; D_v , D_i — коэффициент диффузии вакансий и межузельных атомов; $R_{v,an}$, $R_{i,an}$ — скорость аннигиляции вакансий на дислокационных стоках.

В качестве стоков вакансий выступают поверхность, границы зерен, поры, дислокации и другие дефекты кристаллов. Поверхность выступает в роли бесконечного стока вакансий, все остальные типы стоков являются ограниченными [6]. При расчете распределения точечных дефектов учитывались внутренние напряжения, возникающие в материале, которые уменьшают концентрацию вакансий.

Как показывают расчеты концентраций вакансий и межузельных атомов, распределение точечных дефектов согласуется с поверхностным изменением микротвердости образцов.

Выводы

1. По результатам испытаний обнаружены заметные различия в степени и характере повреждаемости облученных поверхностей: независимо от формы и размера образца на поверхности без текстуры наблюдались, в основном, следы сильного оплавления, на поверхности, параллельной оси текстуры, — образование сетки глубоких, примерно до 2 мм, трещин, а на поверхности, перпендикулярной оси текстуры, — образование отдельных менее глубоких трещин.

2. Обнаруженные различия были объяснены тем, что при облучении текстурированного бериллия возникают напряжения, вызванные различными

коэффициентами линейного расширения в разных направлениях по отношению к оси текстуры. Исходя из этого можно предположить, что наиболее предпочтительным материалом первой стенки установок ТОКАМАК является бериллий, обладающий наиболее изотропными свойствами.

3. После облучения в поверхностном слое бериллия происходит увеличение микротвердости. Это явление связано с увеличением концентрации неравновесных точечных дефектов в поверхностном слое.

Работа выполнялась при поддержке фонда РФФИ, грант 06-08-00137а

Библиографический список

1. Азизов Э.А. Казахстанский материаловедческий токмак КТМ и вопросы управляемого термоядерного синтеза / Э.А. Азизов, Е.П. Велихов, И.Л. Тажибаева, В.С. Школьник, А.Б. Минеев, О.Г. Филатов, О.С. Пивоваров, Ш.Т. Тухватулин, В.П. Шестаков. — Алматы: НЯЦ, 2006. — 236 с.
2. Блейхер Г.А. Теплоперенос в твердом теле под действием мощных пучков заряженных частиц / Г.А. Блейхер, В.П. Кривокобов, О.В. Пашенко. — Новосибирск: Наука, 1999. — 176 с.
3. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники / В.С. Чиркин, справочник, М.: Атомиздат, 1968.
4. Кольчужкин А.М. Введение в теорию прохождения частиц через вещество / А.М. Кольчужкин, В.В. Учайкин. — М.: Атомиздат, 1978. — 256 с.
5. Калиновский А.И. Прохождение частиц высоких энергий через вещество / А.И. Калиновский, Н.В. Мохов, Ю.П. Никитин. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 248 с.
6. Гулькин А.В. Перераспределение элементов при импульсном облучении пучками заряженных частиц / А.В. Гулькин, Д.В. Постников, С.В. Плотников. Труды IV междунар. конф. «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». — Томск, 2004. — с. 354.
7. Постников Д.В. Расчет теплового поля при облучении сильнофокусированным пучком электронов микросекундной длительности / Плотников С.В., Кузьминых В.А., Гулькин А.В.: Эволюция дефектных структур в конденсированных средах, школа-семинар: докл. - Барнаул, 2003. — с. 148.

ПОСТНИКОВ Денис Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент ОмГТУ.

ГУЛЬКИН Александр Владимирович, кандидат физико-математических наук, начальник группы ИАЭ.

Дата поступления статьи в редакцию: 07.02.06 г.
© Постников Д.В., Гулькин А.В.

Книжная полка

Рыбьев И.А. Материаловедение в строительстве: учеб. пособие / И.А. Рыбьев, Е.П. Казеннова, А.Г. Кузнецова и др. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 528 с.

В учебнике изложены теоретические и практические разделы материаловедения строительных материалов на современном уровне. В теоретическом разделе рассмотрены общие закономерности, проявляющиеся при производстве строительных материалов, при изменении их свойств в зависимости от структуры; изложена общая теория отвердевания искусственных строительных конгломератов; приведен общий метод проектирования состава.

Для студентов вузов. Может быть также полезно практическим работникам. Рекомендовано УМО.

МИКРОРЕЛЬЕФ. МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В статье приводится математическое описание воздействия на ЗТМ рельефа поверхности, по которому она перемещается. Описана стохастическая модель описания профиля грунта, позволяющая широко использовать современную вычислительную технику для исследования работ ЗТМ. Даны статистические свойства микропрофиля типовых грунтовых поверхностей.

Математическое моделирование сложной динамической системы рабочего процесса землеройно-транспортной машины (ЗТМ) должно включать в себя математическое описание процесса взаимодействия элементов ходового оборудования с рельефом поверхности.

Существует две основные математические модели описания взаимодействия машины с поверхностью грунта [1].

Детерминированная математическая модель — описание профиля грунта представляют в виде детерминированных функциональных зависимостей. Такие модели представляют меньше возможностей для решения динамических задач по сравнению со стохастическими [1].

В настоящее время все большее применение находит стохастическая модель. Она сочетает в себе методы статистической динамики с использованием стохастических моделей рельефа. Данная модель позволяет с применением ЭВМ решать разнообразные задачи движения машин по опорной поверхности с учетом реального профиля [1].

Рельеф местности можно разделить на три составляющие: макропрофиль, микропрофиль и шероховатости. Шероховатости представляют собой неровности, длина волны которых менее 0,01 м. Практического влияния на возникновение колебаний машины они не оказывают, так как полностью сглаживаются пневмошинами [1].

Макропрофиль — это неровности с длиной волны более 100 м. Вызывают очень медленное изменение вертикальной координаты машины. Практически не вызывают колебаний ЗТМ, поэтому интереса для изучения также не представляют.

Микропрофиль состоит из неровностей с длиной волны от 0,01 м до 100 м и вызывает заметные колебания машины.

Неровности микро рельефа являются одной из основных причин, вызывающих неуправляемые перемещения рамы машины, а следовательно, и рабочего органа (РО), и являются основным источником динамических воздействий в транспортном режиме [2].

Математическое описание микро рельефа представлено в работах таких авторов, как Н.М. Антышев, Э.Н. Кузин, В.Л. Афанасьев, Б.Д. Кононыхин, А.А. Силаев, Я.М. Певзнер, Е.Ю. Малиновский и др.

В настоящее время достаточно хорошо изучены вероятностные характеристики микропрофиля до-

рог различного типа, исследованы микропрофили сельскохозяйственных полей, пересеченной местности и бездорожья, выполнен анализ микропрофили подъездных путей в строительстве и др.

Микропрофиль грунтовой поверхности можно представить случайной функцией, обладающей следующими свойствами: функция стационарна; ординаты микропрофиля подчиняются нормальному закону распределения; длины неровностей ограничены по верхнему и нижнему пределам; микропрофиль меняется случайным образом только в вертикальной продольной плоскости [2].

Связи между понятиями «длина неровности», «частота» возмущающего воздействия, «угловая частота» возмущающего воздействия, создаваемого неровностями микро рельефа, могут быть установлены, если принять, что каждая неровность длиной L_y образует полуволну, близкую по форме к синусоиде. Данное обстоятельство позволяет воспользоваться известными формулами [2].

$$T_y = 2L_y / V; \quad (1)$$

$$f_y = 1/T_y = V / 2L_y; \quad (2)$$

$$\omega'_y = 2\pi \cdot f_y = \pi V / L_y, \quad (3)$$

где V — скорость машины, м/с; T_y — период возмущающего воздействия, с; f_y — линейная частота возмущающего воздействия, с⁻¹; ω'_y — угловая частота возмущающего воздействия, рад/с.

Некоторыми исследователями доказана возможность представления микро рельефа стационарной и случайной эргодической функцией [2,3]. Двумерная корреляционная функция поверхности дает исчерпывающую характеристику неровностям микро рельефа [4].

$$R(l_1, l_2) = \lim_{\substack{x \rightarrow \infty \\ y \rightarrow \infty}} \frac{1}{4xz} \int_{-x-z}^x \int_y^z y(X, Z) \cdot y(X+l_1, Z+l_2) dX dZ. \quad (4)$$

При решении практических задач уравнением (4) пользоваться не очень удобно. В работах И.Г. Пархиловского показано, что двумерную функцию микро рельефа можно заменить на две некоррелированные функции. Практический интерес представляют вертикальные координаты под левой и правой колеей ЗТМ.

$$y_{\perp} = f_1(X, Z); \quad (5)$$

Статистические параметры микрорельефа типовых поверхностей грунта

Название микрорельефа	Численные значения параметров $\rho_i(l)$					
	A_1	A_2	α_1, c^{-1}	α_2, c^{-1}	β_1, c^{-1}	β_2, c^{-1}
Дорога проселочная	1	0	0,014-0,111	0	0,025-0,140	0
Дорога проселочная на границе поля	0,8	0,2	0,65	0,15	0	2,0
Дорога проселочная возле пашни	0,82 0,8	0,18 0,2	0,55 0,2	1,0 0,3	0,2 0	0,18 0,95
Дорога грунтовая	0,54	0,46	0,039	0,27	0,12	0,35
Дорога грунтовая накатанная	0,7	0,3	0,1	0,1	0,262	0,525
Дорога грунтовая среднего и плохого качества	0,6-1,0	0,01-0,4	0,1-0,5	0,1-1,0	0	0,8-3,0
Дорога грунтовая разбитая	1	0	0,19	0	0,45	0
Дорога грунтовая грейдерная	1	0	0,3	0	0	0
Дорога укатанная	5,5	0	0,77	0	1,35	0
Дорога лесовозная	1	0	0,084-0,116	0	0,084-0,115	0
Поле сельскохозяйственное Продольный профиль Поперечный профиль	1	0	1,4-2,8	0	1,0-1,5	0
	1	0	2,3-3,9	0	1,2-3,6	0
Поле вспаханное	1	0	0,014-0,111	0	0,025-0,140	0
Поле вспаханное Продольный профиль	1	0	0,518	0	1,366	0

$$Y_{\text{п}} = f_1''(X, Z + L_{3p}); \quad (6)$$

$$Z = f_2(X), \quad (7)$$

где L_{3p} - ширина базы ЗТМ.

При прямолинейном движении

$$Z = K_K \cdot X, \quad (8)$$

где $K_K = \text{const}$ - коэффициент курса движения.

$$Y_{\text{ср}} = 0,5 \cdot (Y_{\text{п}} + Y_{\text{л}}); \quad (9)$$

$$\gamma_{\text{ф}} = (Y_{\text{п}} - Y_{\text{л}}) / L_{3p}, \quad (10)$$

где $Y_{\text{п}}$, $Y_{\text{л}}$, $Y_{\text{ср}}$ - вертикальные координаты микрорельефа соответственно по правой колее, левой колее и середине колее; $\gamma_{\text{ф}}$ - угол наклона поперечного сечения поверхности; L_{3p} - ширина базы машины.

В таком представлении микрорельефа его статистические характеристики могут быть описаны двумя корреляционными функциями [5]

$$R_y(l) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{2 \cdot x} \int_{-x}^x y(X) \cdot y(X+l) dX; \quad (11)$$

$$R_\gamma(l) = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{1}{2 \cdot x} \int_{-x}^x \gamma(X) \cdot \gamma(X+l) dX. \quad (12)$$

Нормированная корреляционная функция имеет вид [3,6]:

$$\rho(l) = R(l)/R(0); \quad (13)$$

$$R(0) = D = \sigma^2, \quad (14)$$

где D - дисперсия; σ - среднеквадратическое отклонение.

Для математического описания стохастических свойств неровностей микрорельефа используют также спектральные характеристики [2].

Спектральный состав случайной функции характеризуется спектральной плотностью $S(\omega)$, которая представляет преобразование Фурье корреляционной функции [7,8]

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} R(l) \cdot e^{-j\omega l} dl. \quad (15)$$

Спектральный состав неровностей микрорельефа достаточно хорошо изучен и описан функциями спектральных плотностей и нормированных спектральных плотностей [8,9].

Проведенный анализ существующих математических моделей микрорельефа показал, что в общем виде микрорельеф можно описать выражением [10]

$$\rho(l) = \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i |l|} \cdot \cos \beta_i l, \quad (16)$$

где $\sum_{i=1}^n A_i = 1$; α_i - параметры, характеризующие

затухание корреляции; β_i - параметры, характеризующие периодичность корреляции.

В качестве примера в табл. 1 представлены численные значения нормированных корреляционных функций вертикальных координат $\rho_y(l)$ наиболее распространенных видов поверхности, по которым приходится перемещаться ЗТМ.

При математическом описании неровностей микрорельефа используют уравнения вида [10]

$$\rho(l) = A_0 e^{-\alpha_0 |l|} \cdot (1 + \alpha_0 |l|) + \sum_{i=1}^n A_i e^{-\alpha_i |l|} \cdot (\cos \beta_i l + \frac{\alpha_i}{\beta_i} \sin \beta_i l). \quad (17)$$

Представленные в табл. 1 численные значения параметров нормированных корреляционных функций показывают, что неровности микро- рельефа могут быть аппроксимированы выра- жениями с различным числом параметров, которые изменяются в широких пределах. Абсолютные значения высоты неровности даже для одного типа микрорельефа могут сильно отличаться. В работах А.А. Силаева полевые дороги предлагается разбить на три класса. К первому классу относятся дороги с малыми высотами неровностей $\sigma_y \leq 0,1$ м, ко второму – дороги со средними квадратическими значения- ми высот неровностей $\sigma_y = 0,1 \dots 0,2$ м, к третьему – дороги с $\sigma_y > 0,2$ м. Наиболее часто встречаются дороги с $\sigma_y \approx 0,15$ м.

Элементы ходового оборудования ЗТМ кон- тактируют с грунтом на площадке длиной $2X_0$. В работах [11,12] показано, что при рассмотрении процесса взаимодействия элементов ходового оборудования с грунтом нивелирующая способность шин определяется уравнением

$$Y(X) = \frac{1}{2 \cdot X_0} \int_{x-x_0}^{x+x_0} y(X) dX, \quad (18)$$

где $y(X)$ – вертикальная координата микрорелье- фа; $Y(X)$ – результирующая вертикальная коор- дината микрорельефа после сглаживающего дейст- вия шины.

С учетом сказанного при исследовании процес- са взаимодействия элементов ходового оборудова- ния с грунтом правомерно принять допущение о точечном контакте шин с грунтом, при этом вер- тикальные координаты микропрофиля должны определяться по формуле (18).

Уравнения, описывающие микрорельеф, являют- ся функциями пути $y(X)$, однако при решении задач динамики функции микрорельефа и его стати- стические характеристики целесообразно пред- ставлять в виде функций времени

$$y(t) = y(X/V). \quad (19)$$

Для этого необходимо ввести следующие пере- менные

$$t = l/V; \quad (20)$$

$$\alpha'_i = \alpha_i \cdot (V/V_0); \quad (21)$$

$$\beta'_i = \beta_i \cdot (V/V_0), \quad (22)$$

где V – скорость машины; $V_0 = 1$ м/с – единичная скорость.

Если принять допущение о неизменной скорости машины в период рассматриваемого процесса, то параметры корреляционных функций микрорелье- фа будут фиксированными, если $V = V_0 = 1$ м/с, то численные значения параметров функции времени будут совпадать с численными значениями пара- метров функции пути.

При теоретических исследованиях для форм- ирования нормально распределенных некор- релированных стохастических воздействий микро- рельефа в зависимости от исходных данных исполь- зуют два метода:

1) по заданным случайным функциям неровнос- тей по правой и левой колеям $y_p(t)$, $y_l(t)$ опре- деляются $y_{cp}(t)$ и $\gamma_p(t)$

$$y_{cp} = 0,5(y_p(t) + y_l(t)); \quad (23)$$

$$\gamma_p = (y_p(t) - y_l(t))/L_{3p}, \quad (24)$$

где L_{3p} – ширина колеи ЗТМ;

2) по заданным случайным функциям среднего сечения $y_{cp}(t)$ и поперечного уклона $\gamma_p(t)$ опре- деляются $y_p(t)$, $y_l(t)$

$$y_p(t) = y_{cp}(t) + 0,5L_{3p} \cdot \gamma_p(t), \quad (25)$$

$$y_l(t) = y_{cp}(t) - 0,5L_{3p} \cdot \gamma_p(t). \quad (26)$$

Изменения высотной координаты среднего сечения (между левой и правой колеей) продольного профиля $y_{cp}(t)$ и поперечного уклона $\gamma_p(t)$ обычно аппроксимируются корреляционными функциями

$$R_y(t) = \sigma_y^2 \cdot e^{-\alpha'_y \cdot |t|} \cdot \cos \beta'_y t; \quad (27)$$

$$R_\gamma(t) = \sigma_\gamma^2 \cdot e^{-\alpha'_\gamma \cdot |t|}. \quad (28)$$

При моделировании на ЭВМ для реализации стохастических воздействий были реализованы алгоритмы, базирующиеся на рекуррентных разно- стных уравнениях вида [13]

$$\begin{aligned} y_i &= a_0 x_i + a_1 x_{i-1} + \dots + a_j x_{i-j} - \\ &- b_1 y_{i-1} - b_2 y_{i-2} - \dots - b_m y_{i-m} = \\ &= \sum_{k=0}^l a_k \cdot x_{i-k} - \sum_{k=1}^m b_k \cdot y_{i-k}, \end{aligned} \quad (29)$$

где x_i – реализация независимых нормально рас- пределенных чисел с математическим ожиданием $m_x = 0$ и средним квадратическим отклонением $\sigma_x = 1$.

Для корреляционной функции (27) рекуррентное уравнение имеет вид [13]

$$y_i = a_0 x_i + a_1 x_{i-1} + b_1 y_{i-1} + b_2 y_{i-2}, \quad (30)$$

где

$$a_0 = \sigma_y \cdot \sqrt{(c_{1y} \pm \sqrt{c_{1y}^2 - 4c_{0y}^2})/2};$$

$$a_1 = \sigma_y \cdot c_{0y} / \sqrt{(c_{1y} \pm \sqrt{c_{1y}^2 - 4c_{0y}^2})/2};$$

$$b_1 = 2 \cdot e^{-\alpha_y i} \cdot \cos \beta_y i;$$

$$b_2 = -e^{-\alpha_y i};$$

$$c_{0y} = e^{-\alpha_y i} (e^{-2\alpha_y i} - 1) \cos \beta_y \cdot i;$$

$$c_{1y} = 1 - e^{-4\alpha_y i}.$$

Корреляционная функция (28) имеет рекуррент- ные уравнения вида [13]

$$\gamma_i = a_{0\gamma} x_i + b_{1\gamma} \gamma_{i-1}, \quad (31)$$

где $a_0 = \sigma_\gamma \sqrt{1 - e^{-\alpha_\gamma i}}$; $b_1 = e^{-\alpha_\gamma i}$.

Уравнения (30), (31) являются уравнениями, описывающими линейные дискретные фильтры, формирующие дискретные случайные процессы с требуемыми корреляционными характеристиками из дискретного белого шума.

Эффект сглаживания микрорельефа шинами за счет пятна контакта моделируется в соответствии с уравнением (18).

Библиографический список

1. Щербаков В.С. Снижение динамических воздействий на одноковшовый экскаватор: Монография / В.С. Щербаков, П.А. Корчагин. - Омск: Изд-во СибАДИ, 2000. -147с.
2. Пархилковский И.Г. Исследование вероятностных харак- теристик поверхности распространенных типов дорог // Автомобильная промышленность. -1968. - № 8. -С.20-26.

3. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. — М.: Наука, 1958. -324 с.
4. Пархиловский И.Г. Исследование вероятностных характеристик поверхности распространенных типов дорог и их сравнительный анализ // Труды семинара по подвескам автомобилей. НАМИ, 1968. Вып. 15. -С.22-48.
5. Перевертун П.Г. Исследование профиля пути движения автомобильных сельскохозяйственных агрегатов // Доклады ВАСХНИЛ. 1964. Вып. 7. -40 с.
6. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. — М.: Наука, 1958. -324 с
7. Силаев А.А. Спектральная теория подрессоривания транспортных машин. -М.:Машиностроение, 1972. -192 с.
8. Островцев А.Н., Трофимов О.Ф., Красиков В.С. Принцип классификации микропрофилей дорог с учетом повреждающего воздействия их на конструкцию автомобиля // Автомобильная промышленность. — 1979. -№1. — С.9-11.
9. Беляев В.В. Математическая модель поверхности грунта, обрабатываемой автогрейдером // Строительные и дорожные машины. -2006. -№8. -С.18-21.

10. Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. и др. Дорожные машины. Ч.1. Машины для земляных работ. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1972. - 504 с.
11. Васильев В.С., Жигарев В.П., Хачатуров А.А. Расчет параметров колебаний бесподвесочной машины при случайных возмущениях от дороги // Устойчивость управляемого движения автомобиля / МАДИ. - 1971. - С.88-97.
12. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. - М.: Сов.радио, 1971. - 326 с.

КОРЧАГИН Павел Александрович, начальник учебно-методического управления.

ЧАКУРИН Иван Алексеевич, помощник проректора по стратегическому развитию образовательной деятельности.

Дата поступления статьи в редакцию: 30.10.06 г.
© Корчагин П.А., Чакурин И.А.

УДК 621.762:621.891

В. П. РАСЩУПКИН
М. С. КОРЫТОВ

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА РЗМ

Применение диаграммы для выбора модификаторов графита в чугунах позволило определить наиболее эффективный ряд элементов из редкоземельных металлов. В настоящей работе приведены результаты экспериментов в производственных условиях по использованию лигатуры с Gd, которая обеспечивает сфероидизацию графита. Показано влияние формы графитных включений на механические свойства.

Основными направлениями повышения механических свойств чугунов является разработка методов воздействия на их жидкое состояние и оптимизация составов.

При эвтектической кристаллизации двух различных фаз модифицирующее воздействие на каждую из них осуществляется различными модификаторами, так как маловероятно, чтобы один и тот же элемент одинаково эффективно воздействовал на обе фазы. При эвтектической кристаллизации чугуна по стабильной системе мы имеем дело с двумя основными фазами — аустенитом и графитом. В данной работе рассмотрено модифицирование только графита, направленное на получение его в сфероидальной форме.

Для придания первичному кристаллу округлой формы модификатор должен интенсивно образовывать в жидкой фазе барьер около его поверхности за счет избирательной кристаллизации. Условиями этого являются: возможно малый коэффициент распределения добавки в модифицируемой фазе ω (отношение растворимостей в твердом и жидком состояниях при температуре кристаллизации этой фазы); нахождение растворимости добавки в жидкой основе сплава a в определенном интервале

(слишком малая растворимость не позволит ввести добавку в сплав; слишком большая вызовет диффузионное рассеяние барьера).

Для реализации указанного подхода необходимо располагать хотя бы приближенными значениями растворимостей элементов периодической системы в твердой и жидкой модифицируемой фазе. Если для Si такие экспериментальные и расчетные данные имелись, то для С они практически отсутствуют. Для их определения в соответствии с принципами синтеза сплавов [1, 2] было проведено прогнозирование этих величин, основанное на аналогии закономерностей растворимости элементов периодической системы.

На рис. 1 показана окончательная диаграмма для выбора модификаторов графита в чугунах. По горизонтали отложены величины коэффициентов распределения элементов в С, по вертикали — растворимости элементов в жидкой основе сплава — аустените γ -Fe. Ввиду очень больших диапазонов изменения этих величин обе построены в логарифмическом масштабе.

Каждый элемент в плоскости ω , — α , -Fe изображается в виде точки, около которой стоит соответствующий символ. Все известные сферо-

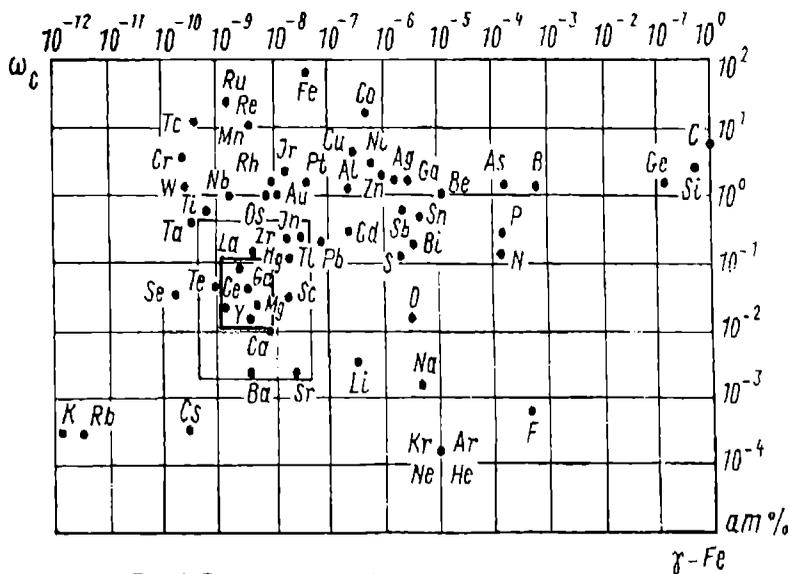


Рис. 1. Связь предельной растворимости элементов в γ -железе с их коэффициентом распределения в углеводе

идизирующие модификаторы графита в чугунах собрались в виде компактной группы, выделенной четырехугольниками. Внутренний четырехугольник объединяет наиболее сильные модификаторы Mg, Y, Ce, La, Gd. В литературе практически отсутствуют данные о сфероидизирующем влиянии на графит Gd. Поэтому проведены специальные эксперименты, подтвердившие указанное влияние Gd на форму графита в чугунах. Во внешнем прямоугольнике располагаются элементы: Te, Zr, In, Ti, Sc, Ca, Ba, Sr. Они могут служить слабыми сфероидизаторами. Таким образом, условия сфероидизирующего действия элементов на графит в чугунах можно записать в виде $\omega_c = 10^{-9}/10^{-9}$ и $\delta_{\gamma-Fe} = 10^{-1}/10^{-2}$. Полученные результаты совершенно четко показывают, что эффект сфероидизации определяется созданием соответствующими модификаторами барьера в жидкой фазе на границе кристаллов графита в процессе их роста. Подтвержден и расширен список сфероидизаторов графита в чугунах.

Исследовали модифицирование металла Ce, Dy, Er, Eu, Tb, Ho, Gd, La, Nd, Pr, Sm, Y и Yb, восстановленными из их оксидов. Установлено, что степень сфероидизации графита металла максимальна (80 %) при модифицировании Eu и минимальна (6 %) при модифицировании Yb. Компактные формы графита достигают 44 % при модифицировании Tm, а минимум (8 %) этих форм наблюдается при модифицировании Eu. Наибольшее суммарное количество шаровидного графита (88 %) при модифицировании Eu и минимальное (36 %) — при модифицировании Sm. Таким образом, наибольшее сфероидизирующее действие на графит металла оказывают Eu и Pr, значительно в меньшей степени это действие проявляется при модифицировании Dy, Nd, Cd, Tb и La (~50 % шаровидного графита), а при модифицировании Er, Ho, Tm, Y, Sm и Yb степень сфероидизации графита соответственно равна: 38; 34; 33; 22; 18 и 6 %.

При модифицировании Eu графит, в основном, шаровидный, мелкий и равномерно распределен по сечению. В случае модифицирования Ce размеры включений графита значительно возрастают, распределены они менее равномерно, количество шаровидного графита уменьшается. При модифицировании Yb размер графитовых включений

примерно одинаков с размером графита при модифицировании металла Ce, но шаровидного графита очень мало.

Полученные результаты подтверждают теоретическое предположение возможности восстановления РЗМ из их оксидов, так как установлено их сфероидизирующее действие на графит металла. Химический состав металла показывает, что десульфуризирующая способность всех РЗМ одинакова (остаточное содержание 0,01 % S), кроме Eu (0,008 %) и Pr (0,009 %). На усвоение Al в металле РЗМ практически не влияют (в наплавках 0,2 — 0,27 % Al). В зависимости от применяемого оксида РЗМ содержание в металле C, Si и Mn изменяется в небольших пределах. Так, содержание углерода максимально при вводе в порошковую проволоку оксида Pr (3,34 % C) и минимально — при вводе оксида Y (3,1 % C); содержание Si достигает 2,8 % при вводе оксида Sm и снижается до 2,37 % при вводе оксида Nd; содержание Mn максимально при вводе оксида Tb (0,49 % Mn) и минимально — при вводе Er (0,38 % Mn). Особенно значительно изменяется содержание в металле P и связанного углерода в зависимости от применяемого оксида РЗМ. Так, содержание в металле связанного углерода при вводе оксида Eu составляет всего 0,06 %, а при вводе оксида Y — 1,79 %. Количество P в металле минимально (0,026 %) при вводе оксида Gd и максимально (0,04–6 %) при вводе оксида Pr. Ce изменяется от 3,91 % при вводе оксида Dy до 4,11 % при вводе оксида Pr. Таким образом, металл во всех случаях представляет собой доэвтектический чугун.

Микротвердость цементита составляет HV570 при модифицировании Eu и HV 835 — при модифицировании Y. Микротвердость перлита минимальна HV 282 при модифицировании Eu и максимальна HV 401 — при модифицировании Y. Микротвердость феррита изменяется от HV 197 при модифицировании Y до HV 246 — при модифицировании Ce. Твердость металла минимальна HV 202 — при модифицировании Eu и максимальна HV 429 — при модифицировании Y. Твердость зоны сплавления изменяется от HV 210 при модифицировании Tm до HV 450 — при модифицировании Sm.

Наиболее высокое значение σ_k металла обеспечивается при модифицировании Gd, Tm, Ce (48,0 кгс/мм²), самое низкое значение (42,2 кгс/мм²) — при модифицировании Y. Предел $\sigma_{0,2}$ металла максимальный

(40,5 кгс/мм²) при модифицировании Sm, а минимальный (32,5 кгс/мм²) – при модифицировании Ho. Ударная вязкость a_k достигает 2,1 кгс-м/см² при модифицировании Yb и имеет минимальное значение 0,35 кгс-м/см² при модифицировании Sm. Относительное сужение ψ максимально (8,05 %) при модифицировании Tm, а минимальное (1 %) – при модифицировании Tb. Относительное удлинение δ максимально (6,5 %) при модифицировании Eu и минимально (0,2 %) – при модифицировании Yb.

Очень значительно изменяются показатели пластичности. Так, максимальное значение a_k достигает 9 кгс-м/см² при модифицировании Tb. Максимальное значение ψ возрастает до 15 % при модифицировании Pt и La, минимальное 4,6% – при модифицировании Gd. δ_{max} достигает также 15 %, но при модифицировании Eu, а δ_{min} 4,2 % – при модифицировании Yb. Таким образом, после термообработки пластические показатели значительно улучшаются при относительно небольшом уменьшении показателей прочности, поэтому термообработка при модифицировании металла РЗМ, восстановленными из их окислов, целесообразна всегда.

Таким образом, результаты модифицирования металла РЗМ, восстановленными из их окислов, хорошо согласуются с известными данными модифицирования чугуна в условиях литейного производства. По возрастающей глубуляризирующей способности РЗМ можно расположить в ряд: Yb, Sm, Y, Tm, Ho, Er, La, Tb, Gd, Nd, Dy, Ce, Pr, Eu. Карбидостабилизирующее действие проявляют Yb, Gd, La и Y, а ферритизирующее – Er, Pr, Tb, Nd, Ho, Dy, Sm, Ce, Eu, что хорошо согласуется с их соответствующим влиянием на количество связанного углерода. В зависимости от применяемых РЗМ изменяются микротвердость структурных составляющих (цементита, перлита и феррита) металлической матрицы, а также твердость.

Классические методы расчета деталей по упругому и пластическому состояниям не позволяют обеспечить достаточную надежность работы изделий, так как не учитывают влияния всегда имеющих в реальных материалах дефектов. Критерий линейной механики разрушения K_{ic} – критический коэффициент интенсивности напряжений при разрушении в условиях плоской деформации, обычно называемый вязкостью разрушения, позволяет учитывать влияние действующих напряжений, размеров и формы имеющих дефектов на сопротивление материала хрупкому разрушению.

Показано, что при использовании метода трехточечного изгиба такие образцы позволяют определять величину СЧ с пластинчатым графитом и перлитных чугунов с ШГ. Образцы из ферритных и ферритоперлитных чугунов с ШГ, обладающие достаточной пластичностью, разрушаются в условиях общей текучести, и оценка сопротивления разрушению таких чугунов требует применения аппарата нелинейной механики разрушения.

Исследование влияния 2-3 % С и 2-3,5 % Si на механические свойства и вязкость разрушения чугунов, модифицированных 1-2,9 % ЖКМК (51 % Si; 8,31 % Ca; 8,99 % Mg; 1,76 % РЗМ, остальное Fe), позволило получить чугуны с достаточно высокой конструкционной прочностью, оцениваемой по сочетанию значений K_{ic} и $\sigma_{0,2}$. Возможно получение комплексно модифицированных чугунов с вязкостью разрушения >300 кгс-м^{3/2}, при этом обеспечивается $\sigma_{0,2}$ до ≈ 40 кгс/мм². Чем больше феррита в чугуне (коэффициент формы включений графита $\Phi =$

$= 0,87/0,92$, количество графита по площади $C_{gp} = 64/11$ %), тем менее резко падает величина K_{ic} с повышением $y_{0,2}$ независимо от того, каким образом получена данная структура (в литом или отожженном состоянии). Можно заключить, что хотя ферритная отожженная структура и обеспечивает высокие значения K_{ic} , однако из-за сравнительно низкого значения $\sigma_{0,2}$ эти чугуны нельзя рекомендовать для замены углеродистой стали в отливках ответственного назначения. В то же время феррито-перлитные чугуны с $K_{ic} = 300/340$ кгс-мм^{3/2} и $\sigma_{0,2} = 35/40$ кгс/мм² (343-392 МПа) рекомендуются для замены стали 40Л в нормализованном и отпущенном состоянии $\sigma_{0,2} = 33/35$ кгс/мм² (323-345 МПа), $K_{ic} = 360/370$ кгс-мм^{3/2}.

В полулогарифмических координатах показано, что величина пластической зоны в устье трещины (K_{ic}) и критический размер дефекта ($K_{ic}/\sigma_{0,2}$) при указанных значениях коэффициента формы включений графита и количества графита зависят главным образом от структуры матрицы, определяемой твердостью HB.

Знание механизма и характера разрушения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) при динамическом нагружении важно для отливок, которые подвергаются симметричной и асимметричной циклической нагрузке (коленчатый вал, зубчатые колеса и др.). Фактически эти детали разрушаются из-за усталости еще до превышения предела статической прочности. Фрактографический анализ изломов ВЧШГ дает информацию о способности материала сопротивляться распространению усталостной трещины и является одним из оснований для возможной корректировки технологий литья и термообработки.

Фрактографический анализ изломов показал, что на поверхности излома ВЧШГ аналогично стали имеются две характерные зоны – усталостная и долома. Особенностью тонкого строения излома в усталостной зоне являются усталостные полосы, каждая из которых должна соответствовать одному циклу нагружения и расположена перпендикулярно распространению генеральной трещины. Наличие неметаллических включений на поверхности графита позволяет констатировать, что включения графита растут в непосредственном контакте с жидкой фазой. В изломах образцов, подвергавшихся усталостным испытаниям, так же, как и после статического разрушения, наблюдается трещина на границе графит – матрица, а в районе шаровидного графита имеются только небольшие деформационные сдвиги.

Шаровидный графит является препятствием для усталостной трещины, так как окружен ферритной областью, позволяющей течь материалу в процессе усталостных испытаний.

Фрактографический анализ изломов позволяет сделать вывод, что для повышения усталостной прочности ВЧШГ необходимо иметь полностью перлитную структуру, шаровидный графит правильной формы и минимальное количество газовых раковин и неметаллических включений.

Для управления процессом формирования включений графита различной формы расплав чугуна подвергали внепечной обработке графитообразующими модификаторами. Наиболее эффективен чистый алюминий (А-97), вводимый под слой стеклослака от 0,3 до 0,8 % массы модифицируемого металла. Предварительно расплав десульфуровали РЗМ-лигатурами.

В соответствии с вышеприведенной диаграммой выбора модификатора была подобрана лигатура Gd, которой и был обработан расплав.

Комплексная обработка модификаторами расплава помимо подавления процесса образования структурно-свободного цементита позволила получить 70-90 % графита в структуре, который распределяется по границам раздела графитовых включений и матрицы чугуна в виде мелкодисперсной составляющей в междендритном пространстве. Это связано с большой надрезанностью матрицы мелкодисперсными включениями, которые ослабляют ее. Кроме того, мелкодисперсный графит с междендритным расположением имеет слоистое (чешуйчатое) строение в отличие от пластинчатого графита.

Библиографический список

1. Жуков А.А. Новое в теории графитизации // МиТОМ. 1987. № 1. — С. 7-14.
2. Жуков А.А. Электронное строение металлов и сплавов и термодинамика структурообразования // МиТОМ. 1978. № 8. — С. 31-36.

РАЩУПКИН Валерий Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкционных материалов и специальных технологий.

КОРЫТОВ Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкционных материалов и специальных технологий.

Дата поступления статьи в редакцию: 28.11.06 г.
© Расщупкин В.П., Корытов М.С.

УДК 621.74.001.57

**Д. В. ЛАВРИК
В. И. ГУРДИН**

Омский государственный
технический университет

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛИТЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

В данной статье рассмотрены основные аспекты решения тепловой задачи при моделировании литейных процессов. Выбран численный метод для моделирования. Представлены уравнение и локальные матрицы для каждого конечного элемента.

Большинство прикладных задач моделирования литейных процессов (ЛП) не имеет строгого аналитического решения. При принятии ряда допущений обычно возможно построение достаточно адекватных аналитических моделей для конкретных условий, например, для тел простейшей конфигурации [1]. Как составные части численных алгоритмов аналитические модели необходимы и при решении задач для общих случаев.

Однако в настоящее время наиболее универсальным и эффективным способом решения задач моделирования сложных физических процессов, в частности задач теории литейных процессов (ТЛП), являются численные методы [2,3].

Одним из основных вопросов моделирования литейных процессов является решение задачи охлаждения и затвердевания отливки произвольной конфигурации. Численные методы позволяют решить эту задачу на основе исходного (т.е. без упрощений, характерных для аналитических решений) уравнения нестационарной теплопроводности с соответствующими граничными условиями [6]:

$$K_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + qv = C_v \frac{\partial T}{\partial t}.$$
$$T = T(S, t),$$
$$Kn(\partial T / \partial n) = -qn,$$
$$Kn(\partial T / \partial n) = -\alpha(T - T_{air}),$$

(1)

где x, y, z — координаты в области пространства, ограниченного поверхностью S ; n — нормаль к поверхности S ; t — время; T — функция температурного распределения в пространстве координат x, y, z, t ; K_x, K_y, K_z, K_n — теплопроводность в направлении осей x, y, z и нормали n соответственно; qv — объемная мощность внутренних источников теплоты; C_v — объемная теплоемкость; qn — граничный тепловой поток (по нормали к S); α — коэффициент граничной конвективной теплопередачи в среду с температурой T_{air} .

При решении задачи затвердевания наиболее важное значение имеет то, насколько адекватно организован учет выделения скрытой теплоты и теплопередачи через стенку сопряжения отливки и формы.

Для большего числа сплавов величину скрытой теплоты и зависимость температуры от доли твердой фазы можно считать характеристикой сплава. Т.е. скрытая теплота и характер ее выделения предполагаются постоянными. В этом случае наиболее важен адекватный учет неравномерности тепловыделения в интервале температур затвердевания. Применение для этого различных функциональных зависимостей, связывающих количество твердой фазы с диаграммами состояния сплавов, чаще всего малоэффективно и крайне неадекватно отражает действительный характер тепловыделения для реальных неравновесных условий. В связи с этим

рациональным методом учета зависимости процентного количества выделившейся твердой фазы (и относительной теплоты) от температуры является применение кусочно-непрерывных зависимостей на 5..10 неравномерных подынтервалах. Это позволяет задавать самые разнообразные характеры тепловыделения, в том числе с резкими перегибами, площадками и т.п. Конкретное выражение вида такой кусочно-непрерывной зависимости удобно делать в виде спектра выделения твердой фазы. Совместно с уравнением аппроксимации на подынтервале этот спектр составляет модель учета тепловыделения:

$$\begin{aligned} i &= 1..n; \\ Ps(i) &= Ps(1), Ps(2), \dots, Ps(n); \\ Ps(1) &= 0; Ps(1) \leq Ps(i+1); Ps(n) = 1; \\ T(i) &= T(1), T(2), \dots, T(n); \\ T(1) &= T_{liq}; T(i) \geq T(i+1); T(n) = T_{sol}; \\ T(Ps) &= F(i, i+1) \\ \text{при } Ps(i) &< Ps < Ps(i+1); \\ Q(Ps) &= L * Ps, \end{aligned} \quad (2)$$

где i – номер точки в спектре выделения твердой фазы; $Ps(i)$, $T(i)$ – доля твердой фазы и температура соответственно в точке i (спектр выделения твердой фазы); T_{liq} , T_{sol} – температуры ликвидуса и солидуса соответственно; $Q(Ps)$ – количество выделившейся теплоты при доле твердого Ps ; L – скрытая теплота затвердевания; $F(i, i+1)$ – функция, аппроксимирующая зависимость T от Ps на подынтервале от i до $i+1$.

Вид функции $F(i, i+1)$ зависит от аппроксимирующего уравнения, применяемого в подынтервале. При достаточном количестве точек вполне достаточно линейного уравнения.

Второй после тепловыделения важнейший аспект – учет условий теплопередачи между отливкой и формой. Очевидно, что для правильного учета контактного теплообмена необходим расчет тепловых полей как в отливке, так и в форме.

В случае использования металлических форм или наружных металлических холодильников правильнее работает модель теплопередачи, предполагающая наличие зазора (теплового сопротивления). Эта модель позволяет описать широкий спектр видов литья.

Объединяющей два описанных выше случая является модель, предполагающая одновременное существование равномерно распределения пятен плотного контакта и теплопередачи через зазор, что соответствует общему случаю контактного теплообмена [4].

Механизм контактной теплопередачи в общем случае включает в себя теплопередачу теплопроводностью, конвекцией и лучеиспусканием. В реальном случае для границ "отливка-форма", "отливка-среда" и "форма-среда" могут параллельно протекать все три вида теплопередачи. При этом на одном и том же макроучастке границы эти тепловые потоки могут протекать на разных относительных площадях при наличии пятен плотного контакта. Кроме того, параметры теплопередачи (коэффициент черноты, коэффициент теплопередачи, толщина зазора, относительные площади и др.) могут зависеть от изменяющихся температур отливки, формы и среды. К этому надо добавить, что на поверхностях контакта отливки и формы чаще

всего присутствуют окисные пленки и специальные литейные краски. В модели теплопередачи можно предполагать одинаковую температуру по контактной и неконтактной площади.

Суммируя все вышеперечисленные соображения, при некоторых допущениях пользуясь уравнениями для многослойных стенок [5], можно вывести уравнение для коэффициента теплопередачи β , характеризующего теплопередачу между сопрягаемыми поверхностями. Это и будет модель учета граничной теплопередачи:

$$\beta = \frac{1}{\frac{1}{Sk * a_k + Sg \frac{Kg}{Dg} + Sr * \epsilon * Co \frac{Tc^4 - Tm^4}{Tc - Tm} + \frac{Dp}{Kp}}}, \quad (4)$$

$$Sk, ak, Sg, Dg, Dp, Sr, \epsilon = F(Ps, T, P, \dots),$$

где Sk , Sg , Sr – относительные площади контакта, зазора и лучистой теплопередачи соответственно (в обычном случае $Sr = Sg$); a_k – коэффициент теплопередачи в зоне контакта; Kg , Kp – теплопроводности зазора и межконтактной прослойки (краски или окисной пленки) соответственно; Dg , Dp – толщина зазора и межконтактной прослойки соответственно; $\epsilon = F(\epsilon_c, \epsilon_m)$ – эквивалентная суммарная степень черноты сопряженных поверхностей отливки и формы, зависящая от степени черноты отливки ϵ_c и степени черноты формы ϵ_m ; Co – постоянная Больцмана; Tc – температура сопрягаемой поверхности отливки; Tm – температура сопрягаемой поверхности формы или температура среды для случая теплопередачи в среду; $F(Ps, T, P, \dots)$ – функция зависимости параметров граничной теплопередачи от доли твердой фазы Ps , температуры T , давления P или других технологических параметров.

Одним из наиболее современных и часто применяемых численных методов для решения задач моделирования физических процессов является метод конечных элементов. Метод конечных элементов (МКЭ) является численным методом решения дифференциальных уравнений, встречающихся в физике и технике. По некоторым данным [6], возникновение этого метода связано с решением задач космических исследований в 1950 г. Широкое распространение МКЭ и превращение его в общий метод численного решения инженерных задач во многом связано с работами в области МКЭ, опубликованными в [7].

Один из способов решения уравнения нестационарной теплопроводности (1) с граничными условиями – минимизация соответствующего функционала на множестве функций, удовлетворяющих граничным условиям задачи. В рамках вариационного подхода решение задачи теплопроводности эквивалентно нахождению минимума этого функционала, не имеющего очевидной физической интерпретации. Проводя минимизацию и используя свойства интерполяционного полинома (аппроксимирующая функция в пределах конечного элемента), можно для каждого конечного элемента записать следующее уравнение [6]:

$$[K]\{T\} + [C] \frac{d\{T\}}{dt} + \{F\} = 0, \quad (5)$$

где $[K]$ – матрица жесткости (теплопроводности); $[C]$ – матрица демпфирования (теплоемкости); $\{F\}$ – вектор-столбец нагрузки (тепловой нагрузки);

{T} – вектор-столбец искомой функции (функции температуры).

(Первоначально МКЭ применялся для прочностных расчетов, поэтому принятые в МКЭ названия типов матриц имеют «деформационный смысл».)

Матрицы в уравнении (5) содержат поверхностные и объемные интегралы. Результаты интегрирования будут зависеть от вида элемента и соответствующего ему интерполяционного полинома. В трехмерной постановке наиболее простым будет решение задачи для случая тетраэдральных симплекс-элементов с четырьмя узлами. В этом случае аппроксимирующей функцией является линейный полином.

Тогда, считая теплопроводность K_n изотропной, можно получить следующие выражения локальных матриц, относящиеся к одному конечному элементу [6]:

$$\begin{aligned}
 [K] &= \frac{K_n}{26 \cdot V} \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} & A_{41} \\ A_{12} & A_{22} & A_{32} & A_{42} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} & A_{43} \\ A_{14} & A_{24} & A_{34} & A_{44} \end{bmatrix} + \\
 &+ \frac{\alpha \cdot S_j}{12} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} = [K_k] + [K_\alpha], \\
 [C] &= \frac{C_v \cdot V}{20} \begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}, \\
 \{F\} &= \frac{q_n \cdot S_k}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} - \frac{q_v \cdot V}{4} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \frac{\alpha \cdot T_{air} \cdot S_j}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \\
 &= \{F_{qn}\} + \{F_{qv}\} + \{F_\alpha\},
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где A_{ij} – коэффициенты, вычисляемые при известных координатах узлов i, j через соответствующие

определители [8]; S_j, S_k – площади теплоотводящих граней напротив узлов с индексами j и k соответственно, которым соответствуют нулевые члены в строках и столбцах матриц и вектор-столбцов; $[K_k], [K_\alpha]$ – кондукционная и конвекционная составляющие матрицы теплопроводности соответственно; $\{F_{qn}\}, \{F_{qv}\}, \{F_\alpha\}$ – поверхностная, объемная и конвекционная составляющие тепловой нагрузки соответственно.

Теплоемкость, теплопроводность и другие исходные теплофизические характеристики для каждого конечного элемента вычисляются в зависимости от начальной температуры его узлов и могут меняться на каждом расчетном шаге по времени.

Суммируя узловые значения матриц (6) поэлементно, получим уравнение глобальных матриц, аналогичное (5), но относящееся уже не к отдельному элементу, а ко всему ансамблю узлов, связанных в конечные элементы.

Библиографический список

1. Гиршович Н.Г., Нехендзи Ю.А. Аналитические решения простейших задач о затвердевании отливок разной конфигурации. Литейное производство. - 1956, № 3, С.14-19; № 4, С.13-17; № 6, С.13-17; № 12, С.13-18.
2. Тихомиров М.Д., Абрамов А.А., Кузнецов В.П. Современный уровень теории литейных процессов. Литейное производство. - 1993, № 9, С.3-5.
3. Sahm P.R., Hansen P.N. Numerical Simulation and Modeling of Casting and Solidification Processes for Foundry and Cast-House. International Committee of Foundry Technical Associations, 1984. p.253.
4. Карножицкий В.Н. Контактный теплообмен в процессах литья. - К.: 1978. 300 с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М., Энергия, 1977. 344 с.
6. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 392 с.
7. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов: Пер. с англ. М.: Мир, 1981. 304 с.

ЛАВРИК Дмитрий Владимирович, инженер кафедры «Машины и технология литейного производства».
ГУРДИН Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и технология литейного производства».

Дата поступления статьи в редакцию: 01.03.06 г.
 © Лаврик Д.В., Гурдин В.И.

Книжная полка

Коваленко Л. В. Нанодисперсные металлические материалы с биологически активными свойствами / Л.В. Коваленко, Г.Э. Фолманис; Ин-т металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова. - М.: Наука, 2006. - 11 л.

В монографии изложены результаты многолетних исследований, посвященных выбору оптимального способа получения функциональных нанопорошковых металлических материалов, обладающих биологической активностью. Выбран способ низкотемпературного водородного восстановления металлосодержающего сырья. Разработан технологический процесс и его аппаратное оформление. Проанализирован процесс восстановления нанокристаллического металлосодержающего сырья. Разработан способ прямого получения биологически активных сред импульсным лазерным облучением массивного металлического образца. Приведены результаты влияния нанопорошков металлов на биологические объекты. Рассмотрено использование нанокристаллических металлических материалов в растениеводстве, животноводстве, птицеводстве, рыбоводстве, кормопроизводстве.

Для ученых, инженерно-технических работников в области материаловедения и биологов, работающих в сельскохозяйственных отраслях агропромышленности.

АНАЛИЗ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ СУХИХ ЦЕМЕНТНЫХ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СОСТАВОВ С ДОБАВКОЙ ЗОЛЫ-УНОСА ТЭЦ-4 г. ОМСКА

В статье представлены результаты экспериментов по определению наиболее плотной упаковки частиц сухой штукатурной смеси на основе кварцевых песков различного зернового состава бассейна реки Иртыша, портландцемента Топкинского цементного завода и золы-уноса ТЭЦ-4 города Омска.

Особенности укладки частиц являются значимым фактором не только применительно к заполнителю, но и к вяжущей части смеси. Добавка золы-уноса должна (при некоторой оптимальной дозировке) уменьшить пустотность сухой штукатурной смеси и тем самым увеличить ее насыпную плотность. То же можно сказать и про смесь, затворенную водой, с добавкой суперпластификатора, поскольку пластификатор препятствует флокуляции и агрегации частиц. Однако без пластифицирующих добавок структура затворенной водой смеси может значительно отличаться.

Форма частиц золы — сфера, что позволяет утверждать, что при некоторой наиболее вероятной упаковке частиц золы будет достигнута пустотность, близкая к минимальной, а это говорит об эффективности заполнения частицами золы промежутков между зернами цемента и мелкими частицами песка [1]. Очень важным является также эффект «шарикоподшипников», благодаря которому смесь достигает необходимой подвижности при меньшем количестве воды затворения. Однако, с другой стороны, добавка золы-уноса может увеличить водопотребность. Большей частью это зависит не от формы частиц золы, а от их размера, химического и минералогического состава и наличия ячеистых частиц кокса (основная причина). Поэтому окончательные выводы о пользе добавки золы-уноса в штукатурный раствор можно сделать только после проведения серии экспериментов с использованием конкретных материалов с определенными характеристиками [2].

Проводился эксперимент по определению влияния состава трехкомпонентной системы на «упаковку» всех частиц сухой смеси (песка, цемента, золы). Применялся песок трех модулей крупности: 1,56, 1,86, 2,05; цемент Топкинского цементного завода и электрофильтовая зола ТЭЦ-4 города Омска. Под вяжущей частью в настоящей статье авторы подразумевают общую массу цемента и золы-уноса.

За характеристику упаковки зерен смеси принята ее насыпная плотность, которая определялась для

заданного отношения вяжущая часть/песок при изменении состава вяжущей части последовательным добавлением золы к цементу. Были выбраны следующие отношения вяжущая часть/песок для песков трех модулей крупности: 1/2; 1/3; 1/5; 1/7; 1/9.

Результаты экспериментов представлены на рис. 1-6.

При введении в смесь цемента и песка небольших количеств золы наблюдается некоторое уплотнение трехкомпонентной системы. Те пустоты между зернами песка, которые еще не заняты частицами цемента, начинают занимать частицы золы. Кроме того, некоторые представленные в достаточно большом количестве частицы золы начинают занимать и пустоты между зернами цемента. Таким образом, в данном случае можно говорить о «двухуровневой» раздвижке зерен смеси. С увеличением количества песка пик значения насыпной плотности смеси смещается к составам с большим содержанием золы. Вероятно, это связано с тем, что в смесях с большим содержанием песка гораздо больше достаточно крупных пустот, в которые частицы золы проходят значительно легче, чем частицы цемента, не вызывая раздвижки зерен песка.

Для состава вяжущее/песок 1/2 максимальное значение насыпной плотности достигается при отношении зола/цемент — 1/6...1/9. В дальнейшем при увеличении количества золы наблюдается плавное снижение насыпной плотности смеси. Здесь разница между объемными массами цемента и золы более весома, чем фактор раздвижки зерен песка частицами вяжущего. Это характерно для отношений зола/цемент 1/6...1/3. При еще большем увеличении количества золы (отношения зола/цемент 1/2, 1/1, 3/1 и т.д.) наблюдается достаточно резкое снижение насыпной плотности. Здесь основное значение имеет разница между объемными массами цемента и золы.

При увеличении количества песка в смеси (отношение вяжущее/песок 1/3, 1/5 и т.д.) характер кривых не изменяется, кроме, разумеется, некоторого их «выравнивания», ведь доля вяжущей

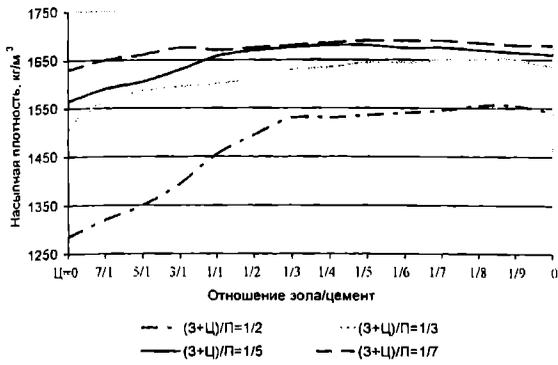


Рис. 1. Насыпная плотность пескозолоцементной смеси при различной дозировке компонентов (модуль крупности песка – 2,05)

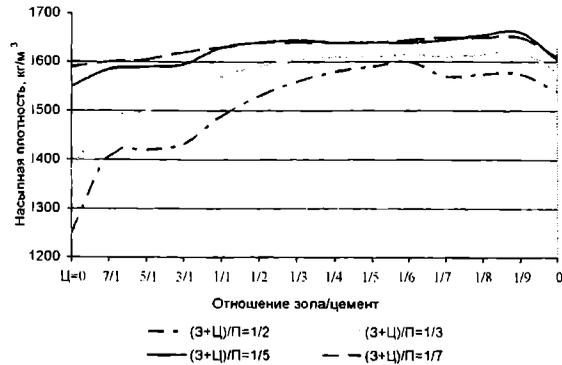


Рис. 2. Насыпная плотность пескозолоцементной смеси при различной дозировке компонентов (модуль крупности песка – 1,86)

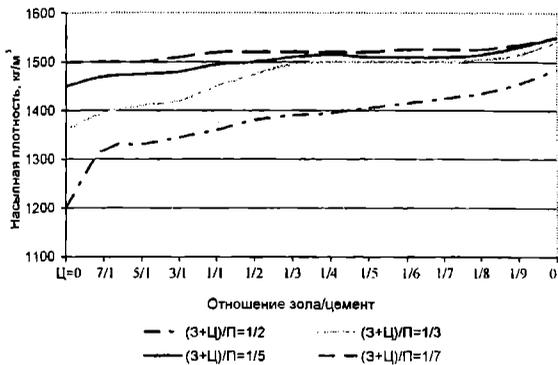


Рис. 3. Насыпная плотность пескозолоцементной смеси при различной дозировке компонентов вяжущей части (модуль крупности песка – 1,56)

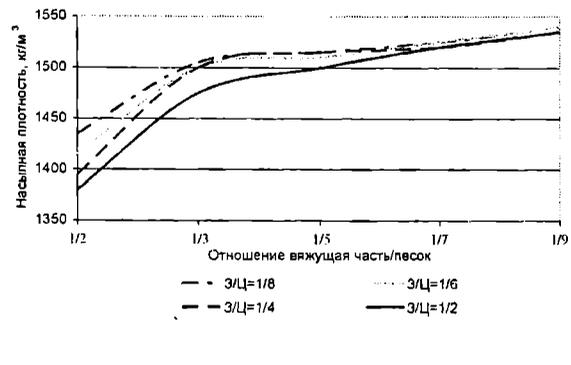


Рис. 4. Насыпная плотность пескозолоцементной смеси при различных отношениях вяжущая часть/песок (модуль крупности песка – 1,56)

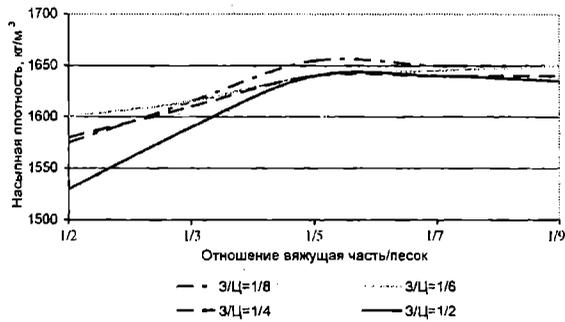


Рис. 5. Насыпная плотность пескозолоцементной смеси при различных отношениях вяжущая часть/песок (модуль крупности песка – 1,86)



Рис. 6. Насыпная плотность пескозолоцементной смеси при различных отношениях вяжущая часть/песок (модуль крупности песка – 2,05)

части уменьшается и ее состав оказывает все меньшее влияние на насыпную плотность смеси.

При уменьшении размеров частиц песка замена части цемента частицами золы не дает увеличения насыпной плотности. Авторы полагают, что здесь решающее значение имеет уменьшение размеров «проемов» между частицами песка. Меньшее количество частиц золы может уместиться между частицами песка, и раньше начинается их раздвижка. Конечно, в целом большее количество частиц золоцементного вяжущего может разместиться между частицами песка без раздвижки его зерен, но недостаточное для того, чтобы компенсировать разницу в объемных массах золы-уноса и цемента.

На основании анализа материалов, изложенных выше, авторы пришли к следующим выводам:

1. Добавляя золу-унос ТЭЦ-4 г. Омска в песок бассейна реки Иртыша (г. Омск), можно добиться уплотнения сухой смеси.

2. Аналогично можно добиться уплотнения сухой смеси правильной дозировкой цемента (используемого в данной работе).

3. Чем меньше размер частиц наполнителя, тем большую плотность сухой смеси можно получить (даже несмотря на значительно меньшую насыпную плотность более мелкого наполнителя). Однако здесь, вероятно, нет прямой зависимости. Определение этой зависимости требует отдельных исследований.

4. Наиболее плотная структура сухих смесей наблюдается у следующих составов:

песок с модулем крупности 2,05:
 $(З+Ц)/П = 1/7$; $З/Ц = 1/7 - 1/5$; $(З+Ц)/П = 1/9$;
 $З/Ц = 1/4 - 1/1$;

песок с модулем крупности 1,86:
 $(З+Ц)/П = 1/5$; $З/Ц = 1/9 - 1/8$; $(З+Ц)/П = 1/7$;
 $З/Ц = 1/9 - 1/7$; $(З+Ц)/П = 1/9$; $З/Ц = 1/8 - 1/6$;

песок с модулем крупности 1,56:
 $(З+Ц)/П = 1/5$; $З/Ц = 0 - 1/9$; $(З+Ц)/П = 1/7$;

$З/Ц = 0 - 1/9$; $(З + Ц)/П = 1/9$; $З/Ц = 0 - 1/5$.

Однако применение составов с отношением вяжущее/песок меньше, чем $1/5$, не может быть рекомендовано по причине низкого содержания вяжущего и, как следствие, высокой расслаиваемости и низкой водоудерживающей способности таких смесей.

Ниже приводятся составы наиболее плотных смесей с отношением вяжущая часть/песок $1/2$, $1/3$:
песок с модулем крупности 2,05:

$(З + Ц)/П = 1/2$; $З/Ц = 1/9 - 1/6$; $(З + Ц)/П = 1/3$;
 $З/Ц = 1/9 - 1/7$;

песок с модулем крупности 1,86:
 $(З + Ц)/П = 1/2$; $З/Ц = 1/8 - 1/5$; $(З + Ц)/П = 1/3$;
 $З/Ц = 1/9 - 1/5$;

песок с модулем крупности 1,56:
 $(З + Ц)/П = 1/2$; $З/Ц = 0 - 1/9$; $(З + Ц)/П = 1/3$;
 $З/Ц = 0 - 1/8$.

5. Чем мельче песок, тем меньше эффект уплотнения смеси при введении золы-уноса.

6. На очень мелких песках (с модулем крупности менее 1,7) введение золы-уноса приводит к уменьшению насыпной плотности смеси. Это может являться еще одной причиной (помимо повышенной водопотребности), препятствующей применению

мелких песков в производстве цементных бетонов, исходя из предположения, что наиболее плотная структура сухой смеси будет оказывать существенное влияние на плотность затвердевшего цемента-бетона.

Библиографический список

1. Добавки в бетон: Справочное пособие / В.С. Рамачандран, Р.Ф. Фельдман, М. Коллепарди и др.; Под ред. В.С. Рамачандрана; Пер с англ. Т.И. Розенберг и С.А. Болдырева; под ред. А.С. Болдырева и В.Б. Ратинова. — М.: Стройиздат, 1988. — 575 с.: ил.

2. Рациональное применение золы ТЭЦ: Результаты научно-практических исследований / Сост. Э.П. Гужулев, Ю.Т. Усманский. Омск: Омский гос. ун-т, 1998. — 238 с.

УШАКОВ Владимир Викторович, кандидат технических наук, профессор кафедры дорожного и строительного материаловедения СибАДИ.
МИРОШНИЧЕНКО Владимир Владимирович, инженер ООО «ОмскстройЦНИЛ».

Дата поступления статьи в редакцию: 30.10.06 г.
© Ушаков В.В., Мирошниченко В.В.

УДК 669.15.196.52

А. Н. ЛЕОНТЬЕВ
В. П. РАСЩУПКИН
Г. А. ГОЛОЩАПОВ

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

ОБ АВТОРАДИОГРАФИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МЕЖДУ ФАЗАМИ СТАЛИ И ЧУГУНА

В статье предпринята попытка установления возможности применения метода автордиографии при исследовании распределения элементов между составляющими стали и чугуна.

Созданию и совершенствованию теории получения высокопрочного чугуна с шаровидной формой графита посвящены многочисленные исследования. Использование различных методик в этих работах приводит к получению противоположных результатов. Например, по данным автордиографии шлифов металла с радиоактивным изотопом, найдено, что в графите содержится подавляющее количество элементов-модификаторов расплавленного чугуна [1-3 и др.]; по результатам микрорентгеноспектрального анализа, графит либо не содержит, либо содержит незначительное количество примесей [4,5]. В соответствии с результатами экспериментов созданы резко отличающиеся друг от друга теории формирования шаровидного графита в чугуне. Так, авторы работ [1-3] полагают, что элементы-глобуляризаторы интенсивно адсорби-

руются на графите, входят в его решетку и изменяют пластинчатую огранку кристалла на шаровидную (адсорбционно-диффузионная теория). В работах [4-5] формирование шаровидного графита в чугуне объясняется десорбцией элементами-глобуляризаторами вредных примесей (O, S, N и др.) с поверхности зародышей графита и повышением поверхностного натяжения на их границе с расплавом.

Цель настоящей работы — установление возможности применения метода автордиографии при исследовании распределения элементов между структурными составляющими стали и чугуна и обоснованность построения адсорбционно-диффузионной теории формирования шаровидного графита в чугуне. Эта задача кроме теоретического имеет практическое значение для совершенствования процессов модифицирования чугуна.

В работах [1-3] применяли следующую методику исследования. В расплавленный чугун вместе с добавкой элемента-глобуляризатора или деглобуляризатора графита вводили радиоактивный изотоп Cd. Из затвердевших проб чугуна изготавливали шлифы толщиной 20-80 мкм, которые накладывали на фотопластинки с мелкозернистой эмульсией типа МК или МР. После экспозиции пластинки проявляли и получали автордиограмму шлифа, которую исследовали на световом микроскопе при увеличениях от X70 до X450. Считали [1-3], что между концентрацией изотопа в отдельном участке металла и потемнением радиogramмы от этого участка имеется пропорциональная зависимость. Для количественной оценки распределения изотопа в плоскости шлиф с помощью микрофотометра измеряли интенсивность потемнения фотопластинки.

Анализ литературных данных [1-3 и др.] показал, что на практике наблюдаются следующие случаи распределения радиоактивного элемента между металлической матрицей и включением графита:

- 1 – матрица радиоактивна, включение выкрошилось при изготовлении шлифа;
- 2 – матрица радиоактивна, включение нерадиоактивно;
- 3 – матрица нерадиоактивна, включение радиоактивно.

В первом случае пустоты выкрошившегося графита заполнены воздухом. Из литературы известно, что если металл радиоактивен, то у пустот, раковин [6], отверстий [7], высверленных специально для опыта, и других углублений шлифа наблюдается более сильное потемнение фотослоя вследствие дополнительного воздействия на него излучения изотопа с внутренней поверхности дефекта. Для исключения этого явления при радиогрaфии предложено пропитывать дефектные места шлифов материалами с низкой температурой плавления и высокой способностью поглощать радиоактивные излучения (например, свинцом) [6].

Рассмотрим случай 2 распределения радиоактивного элемента в структуре чугуна. Известно, что в графите (как и в любом материале) поток γ -квантов генерирует поток электронов, а поток β -излучения в результате многократного отражения уменьшает энергию электронов. Оба эти явления приводят к эффекту усиления потемнения фотоматериалов, чувствительность которых к электронам, особенно к электронам малых энергий, больше, чем к γ -квантам. На этих явлениях основано применение усиливающих экранов (фольги из алюминия, олова, свинца) в практике просвечивания материалов рентгеновскими или γ -лучами. Оптимальная толщина экрана соответствует длине свободного пробега электрона в материале, которая зависит от энергии электронов E (МэВ).

Толщина графитового слоя $4,5-19 \cdot 10^{-3}$ (проба чугуна 20-80 мкм) соответствует длине свободного пробега электронов с энергией 0,40-0,10 МэВ. Для генерирования в веществе электронов с такой энергией поток γ -квантов должен обладать такой же или большей энергией. Излучения применяемых в автордиографии изотопов [1-3] удовлетворяют этому условию. Таким образом, включения графита при радиогрaфии могут выполнять роль усиливающего экрана. По литературным данным, эти включения по сравнению с металлической матрицей увеличивают в 2-4 раза интенсивность потемнения фотослоя.

Результаты, аналогичные распределению радиоактивных элементов в материале в случае 3, получены при автордиографии проб стали с неметаллическими включениями. Проникающая способность γ -излучения в металле велика; для β -излучения она меньше, но всё же значительна. Поэтому при использовании β -излучающих изотопов от включения графита диаметром 80 мкм на фотоматериале может наблюдаться пятно почернения диаметром от 160 до 2080 мкм. В этой работе с помощью изотопа ^{45}Ca установлено, что содержание неметаллических включений в стали, определённое по почернению автодиаграммы, по сравнению с данными химического анализа в 60 раз больше. Очевидно, что результаты радиогрaфии зависят от времени экспозиции фотоматериала – чем больше время, тем больше размытие пятна почернения наблюдается над включением графита.

В работах [1-3] неоднократно подчёркивалось, что имеется полное соответствие в расположении графита на фотографиях микроструктур и радиogramм.

Потемнение фотослоя при автордиографии может зависеть не только от изменения концентрации изотопа в пробах чугуна, но и от степени удаления участка пробы, обогащённого радиоиндикатором, от границы раздела металл – фотослой. Таким образом, следует отметить, что в работах [1-3] и др. однозначно не доказано, что большинство введённых в расплав чугуна радиоактивных изотопов элементов сосредоточено в графите. Поэтому результаты автордиографических исследований не являются экспериментальным подтверждением адсорбционно-диффузионной теории формирования шаровидного графита в высокопрочном чугуне.

В данной работе получены, безусловно, ценные экспериментальные данные по поведению элементов в чугуне. Однако эти данные требуют более детального методического обоснования и в связи с этим, возможно, новой интерпретации с учётом автордиографических исследований стали.

Радиоактивный препарат помещался в патрон, который закрывался пробкой, нижний конец которой имеет форму конуса с малым углом 3-5°. После закрытия отверстия пробка запрессовывалась на прессе под нагрузкой 15 тонн, чем обеспечивалась надежная изоляция радиоактивного препарата от возможного окисления при нагреве. Патрон помещался в двойной алуидовый тигель, который вводился в герметически изолированный объём высокочастотной печи ВЧИ-0,4-10, где патрон переплавлялся в атмосфере аргона. Разливка жидкой стали осуществлялась в медную изложницу также в атмосфере аргона. Скорость охлаждения отливки в первые 5 часов составляла 200, в последующие – 100 градусов в час.

Химический состав выплавленной стали не изменился в процессе такого переплава. Содержание молибдена в этой стали возросло за счет введения 25 мг радиоактивного молибдена.

После охлаждения отливка извлекалась из печи, взвешивалась и разрезалась на образец.

Для изучения перераспределения углерода, никеля, вольфрама, молибдена были выбраны радиоактивные изотопы углерод – 14, никель – 63, вольфрам – 185 и молибден – 99.

Темплеты для автордиографического исследования распределения углерода, никеля и вольфрама вырезали по сечению отливок. Толщина темпле-

тов составляла 30 мм. Отливка с молибденом – 99 разрезалась на образцы перпендикулярно вертикальной оси. Поверхности темплетов с двух сторон сначала шлифовались на плоскошлифовальном станке, а затем с применением шлифовальных ступок доводились до необходимой чистоты. Полировка поверхности образцов осуществлялась полировочным кругом с применением пасты ГОИ. После чистовой обработки с исследуемой поверхности темплетов удалялось загрязнение промывкой в органических растворителях с последующим высушиванием. Наиболее тщательная подготовка поверхности для радиографии требовалась для темплетов с никелем – 63 и углеродом – 14, т.к. из-за небольшого пробега β -частиц присутствие механических дефектов на поверхности образца дает искаженную радиограмму.

Автордиограмму распределения исследуемого элемента получали экспонированием темплетов в контакте с фототехникой фототехнической пленкой ФТ – 41 и последующей фотообработкой. Оптимальная длительность экспозиции для темплетов с вольфрамом составила 8 дней, молибденом – 3 дня, углеродом и никелем – 39 дней.

Для того чтобы судить о влиянии условий литья на строение отливки, необходимо провести исследование по всему объему металла. Только исследуя структуру металла по полученному объему, можно установить ход процесса кристаллообразования и связать эти процессы с характером распределения важнейших составных элементов стали.

Однако при существующих методах невозможно наблюдать структуру или картину распределения легирующих элементов и примесей по всему объему, и мы вынуждены ограничиваться исследованием их на плоскости. Для этого отливки разрезаются на части по сечениям, которые наилучшим образом могут характеризовать строение всего объема отливки.

В металлографии широко используются методы травления макрошлифов темплетов, вырезанных из отливки. По фигурам травления составляется общая картина строения отливки. Однако здесь следует заметить, что макро травление отражает ликвацию всех элементов одновременно.

Этот недостаток полностью устраняется методом автордиографии. Селективность метода автордиографии позволяет проследить распределение одного элемента и выявить участки, обедненные или обогащенные им, а также дать качественные и количественные оценки.

Распределение вольфрама в отливках стали 110Г13А изучали в зависимости от изменения концентрации его от 0,06% до 0,44%. Условия литья и затвердевания отливок были одинаковыми. Содержание других элементов практически не изменилось. То есть при всех равных условиях удалось установить распределение вольфрама в шести отливках, отличающихся лишь его концентрацией.

Качественный анализ автордиограммы распределения позволил установить некоторые тенденции развития ликвации вольфрама.

Прежде всего, отличается сильно развитая дендритная ликвация вольфрама, которая отражает химическую неоднородность отливок.

Автордиограммы сопоставляли с микроструктурой поверхности после обычного травления. По появлению радиоактивности в травителе было сделано заключение, что вольфрам ликвирует в одном

направлении – в межосные участки дендритов. При содержании вольфрама 0,33 % дендритный характер распределения представлен в измельченном виде. А при содержании 0,44 % степень измельчения еще больше. Одновременно с этим выявились более крупные сегрегации верхней, широкой части отливки, чем в нижней, более тонкой.

Если рассматривать распределение вольфрама в зависимости от размеров сечения, то следует сказать, что для всех содержаний вольфрама свойственна одна закономерность – в тонкой части отливки размеры дендритов значительно меньше, чем в широкой.

В корковой зоне имеет место повышенное содержание вольфрама. Он обнаруживается в виде двух рядов темных точек в приповерхностных слоях. Наиболее притяженные дендриты в широкой части отливки. Зоны транскристаллизации соизмеримы с главными осями дендритов. Центральная зона наиболее широкой части отливки заполнена неориентированными дендритами сравнительно одинаковой длины.

Обращает на себя внимание тот факт, что размеры дендритов в широкой (верхней) и тонкой (нижней) части отливок практически одинаковы. На автордиограммах, как уже отмечалось, выявлены скопления вольфрама в верхней части (крупные темные пятна) и нижней части отливки (размеры пятен меньше и имеют размытые очертания).

Следует остановиться на общем явлении, которое обнаружено на всех автордиограммах. В нижнем положении широкой части отливки во всех случаях мы имеем светлые пятна, которые свидетельствуют о пониженном содержании вольфрама. Эти пятна находятся в том объеме металла, который из-за геометрических форм отливки затвердевает в последнюю очередь. Здесь же на темплетях выявлены несплошности и большое количество пор. По-видимому, образование объема обедненного вольфрама можно связать с различием в скоростях диффузии вольфрама в жидкой и твердой фазах и, как следствие этого, обеднение вольфрамом маточного раствора к моменту окончательного затвердевания металла. Во всяком случае, наличие такого объема металла, обедненного вольфрамом и имеющего несплошности вблизи резкого изменения толщины отливки, нельзя считать приемлемым.

Термическая обработка отливок, содержащих радиоактивный вольфрам, проводилась для приведения стали в аустенитное состояние. Времени выдержки было вполне достаточно для гомогенизации.

На автордиограммах после термической обработки отмечается общее выравнивание почернения автордиограмм. Отчетливо выявилась контрастность мелкого дендритного распределения, обогащались вольфрамом оси дендритов и зон, ранее обедненных вольфрамом. Такое перераспределение вольфрама в отливке можно считать благоприятным.

Большой интерес представляет вопрос о распределении углерода в стали 110Г13А и влиянии его концентрации на характер перераспределения. Для того чтобы изолированно рассмотреть один углерод без учета влияния других компонентов, содержание последних в отливках было постоянным. Рассматривая влияние увеличения содержания углерода на его перераспределение, можно сказать, что при содержании углерода 2,32% дендритный характер приобретает большую контрастность. Если при содержании углерода 1,3% мы видим, что общий фон



Рис. 1. Авторадиограмма распределения углерода в стали с содержанием углерода 1,30%. Литое состояние

почернения авторадиограмм равномернее за счет того, что оси дендритов несколько обогащены углеродом, то увеличение содержания на 1% приводит к резкому обеднению осей и сосредоточению углерода в межосных пространствах. Распределение углерода в темплете отливки с содержанием 1,3% в широкой верхней части и тонкой нижней отличается размерами дендритов. Большая скорость охлаждения приводит к измельчению дендритов. В то же время размеры дендритов при содержании углерода 2,8% в нижней и верхней частях отливки одинаковы (рис. 1). Авторадиограммы распределения углерода показали наличие обедненного углеродом объема на границе изменения сечения отливки. Этот объем, как и в случае с вольфрамом, имеет сильную пористость. По-видимому, в данном объеме отсутствуют карбидообразующие элементы — марганец, хром. Термическая обработка обуславливает более полное выравнивание углерода при содержании его 1,3% и его больший контраст концентрационной неоднородности при содержании углерода Z, JZVO. Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение содержания углерода в стали 110Г13Л увеличивает химическую неоднородность как самого углерода, так, по-видимому, и марганца. Во многом микрораспределение углерода повторяет распределение вольфрама. Суммируя полученные авторадиографические результаты, следует отметить следующее: сталь 110Г13Л в литом и термообработанном состоянии изменяет развитую дендритную ликвацию углерода; углерод располагается в межосных пространствах дендритов; термическая обработка приводит к выравниванию концентрационной неоднородности при содержании углерода 1,3% и усилению ее при содержании углерода 2,32%; на границе переходной зоны выявлены объемы с пониженным содержанием углерода.

В силу того, что никель ответственен за важные характеристики стали, исследование его распределения представляет определенный интерес. Никель относится к элементам, которые практически не ликвируют. В данной работе была сделана попытка установить связь распределения никеля с увеличением его содержания.

Радиоактивный изотоп никель-63 был введен в четыре отливки с содержанием последнего 0,5; 1,64±2,54; 3,99%. Все отливки объединяет одна существенная деталь — отсутствие дендритной ликвации никеля. Распределение никеля по высоте и по ширине отливки равномерно и однородно. Исклю-

чение составляют объемы, о которых говорилось выше, — это зоны, прилегающие к границе перехода от широкой части к тонкой. Эти объемы, как показывают авторадиограммы, обогащены никелем, хотя в них и есть небольшие участки, обедненные им. Анализ авторадиограмм показывает, что никель по всему объему отливок распределен равномерно. Увеличение содержания никеля в стали 110Г13Л не приводит к видимым изменениям в распределении.

Анализ авторадиограмм распределения молибдена в отливках в литом состоянии и после термической обработки существенных отличий в распределении молибдена не обнаружил. Имеются лишь незначительные сегрегации молибдена после термической обработки. Специфические физические свойства изотопа молибдена в совокулности с быстрым охлаждением металла в медной изложнице, возможно, исказили действительную картину распределения молибдена. При изучении празеодима в высокомарганцовистой стали в качестве индикатора использовали облученную в потоке тепловых нейтронов ядерного реактора порцию двуокиси церия. Облученную порцию индикатора массой 0,225 г вводили в расплавленную сталь в смеси с неактивной окисью празеодима и криолита. Активность индикатора во всех плавках была одинаковой.

Темплеты для авторадиографии и радиометрического анализа вырезались перпендикулярно вертикальной оси слитка. Первый темплет для авторадиографии вырезался у донной части слитка, второй — у прибыли. Темплет для радиометрического анализа вырезался на середине высоты слитка, и с него на токарном станке снималась боковая поверхность на глубину 1,5-2 мм. Распределение празеодима в высокомарганцовистой стали определялось по авторадиограммам распределения радиоактивного изотопа празеодима — 143 по шлифу темплетов. С каждого темплета с двух сторон последовательно снимались три авторадиограммы.

Анализ авторадиограмм распределения празеодима — 143 по шлифу темплетов показал, что распределение празеодима носит неравномерный характер, причем основное количество вводимого празеодима концентрируется на боковой поверхности слитка. В объеме металла празеодим присутствует в виде отдельных глобулярных включений, и, возможно, незначительное его количество находится в твердом растворе. Влияние криолита, вводимого вместе с празеодимом, не обнаруживается. Содержание празеодима уменьшается от дна слитка к прибыли. Число мелких включений в объеме слитка также уменьшается. Пرازеодим концентрируется, в основном, на боковой поверхности слитка.

Библиографический список

1. Бакакин Г. И. и др. Использование радиоизотопных методов в промышленности. М.: Атомиздат, 1975, с. 160.
2. Любченко А. П., Севенко Г. П., Урицкий Ю. С. Распределение церия в объеме зерен графита доэвтектического чугуна. — МитОМ, 1979, №8, с.21.
3. Любченко А. П., Можаров М. В. Распределение в микрообъемах чугуна элементов-глобуляризаторов графитовой фазы. — МитОМ, 1966, № 4, с. 30.
4. Иванов Д. П., Шебастинов М. П. Распределение компонентов и модификаторов в чугуне с шаровидным графитом. — ЛИ, 1974, № 4, с. 18.
5. Иванов Д. П., Вашуков И. А. Экспериментальное исследование распределения элементов в структуре чугуна. — ЛИ, 1974, № 7, с. 32.

6. Куликов И. С., Попов И. А. Применение радиоактивных изотопов в металлургии. М.: Metallurgizdat, 1956, с. 260.
7. Nelson H. R. — Metal Progress, 1942, v. 42, № 3, p. 391.
8. Студниц М. А., Малючков О. Т. Автордиографический метод исследования металлов и сплавов с помощью радиоактивных изотопов. — МИТОМ, 1955, № 6, с. 15.
9. Тюрин Е. И., Абросимов Е. В., Саар Т. М. Влияние раскисления силикокальцием на количество и характер неметаллических включений в кислородной шарикоподшипниковой стали. М.: ЧЕРМЕТ-ИНФОРМАЦИЯ, 1958, № 14 (346), с. 38.

ЛЕОНТЬЕВ Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, проректор СибАДИ.

РАЩУПКИН Валерий Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструкционные материалы и специальные технологии».

ГОЛОЩАПОВ Георгий Алексеевич, инженер кафедры «Конструкционные материалы и специальные технологии».

Дата поступления статьи в редакцию: 30.10.06 г.

© Леонтьев А.Н., Расщупкин В.П., Голощاپов Г.А.

Объявления

В 2005 году редакция сборника научных трудов «Математическое моделирование систем и процессов» начала издание тематических выпусков, посвященных актуальным направлениям современной механики. В 2007 году в сборнике будут опубликованы работы по проблемам механики и физики микро- и наноструктурных материалов (включая прикладные проблемы).

Наибольший интерес представляют результаты исследований, касающихся разработки и применения моделей нелинейных сред для описания таких материалов.

Подобный выпуск будет полезен широкому кругу читателей: как специалистам, работающим в этой области, так и студентам и аспирантам. Он может использоваться в учебном процессе на специальностях естественнонаучного профиля.

В сборник планируется включить следующие разделы:

1. Обзорные статьи, посвященные современному состоянию проблемы, описанию существующих моделей и подходов.

2. Статьи, посвященные конкретному разделу указанной тематики, например, моделям конкретной среды, её возможностям и ограничениям, полученным результатам в рамках используемой модели.

3. Статьи, посвященные решению конкретной проблемы, описанию конкретного процесса или эффекта, полученным непосредственно авторами.

Поскольку подобное издание несет образовательную нагрузку, статьи по первым двум разделам должны быть самодостаточными, то есть включать все необходимые определения, формулировки основных принципов и т.п. Это позволит знакомиться со статьей без привлечения большого числа дополнительных источников. Кроме того, желательно приводить достаточно полный библиографический список используемой литературы, по которому возможно восстановить основные положения излагаемой теории.

Приглашаем вас опубликовать ваши работы по любому из указанных разделов в рамках данной тематики.

МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 624.042.7

Ю. А. БУРЬЯН
В. Н. СОРОКИН
Г. С. РУССКИХ

Омский государственный
технический университет

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ СКВАЖИННЫЙ ИСТОЧНИК УПРУГИХ ВОЛН

В работе рассмотрена возможность создания низкочастотного погружного скважинного источника упругих волн. Показано, что применение автоколебательного гидравлического привода для управления клапаном, переключение которого создает пульсацию давления в призабойной зоне на уровне пласта, обеспечивает возможность проведения вибросейсмического воздействия на пласт с целью повышения его отдачи.

Для создания низкочастотного упругого волнового поля в толще нефтяного пласта с целью повышения его нефтеотдачи в технологии вибросейсмического воздействия (ВСВ) используются различного типа наземные и скважинные источники упругих волн. Необходимость возбуждения в продуктивных пластах упругих колебаний в низкочастотном диапазоне спектра доминантных частот (5-20 Гц) требует использования мощных наземных источников сейсмических волн с вибротяговым усилием не менее 10^6 Н. Наземные мощные низкочастотные вибрационные источники кроме значительных финансовых затрат на их изготовление и использование позволяют доводить до пласта примерно 1% излучаемой энергии и имеют малофокусированное излучение. Альтернативой наземным

источникам могут стать скважинные, обладающие достаточной мощностью в низкочастотном диапазоне и способностью длительно работать на доминантной частоте пласта с погрешностью не более 0,1 Гц.

Применяемые в настоящее время скважинные низкочастотные источники либо не обладают достаточной мощностью и возможностью настройки на доминантную частоту (различного типа гидродинамические вибраторы роторного типа), либо работают на сравнительно высоких частотах (60-250 Гц) [1].

Вследствие этого актуальной является проблема создания погружного виброисточника с достаточной для технологии ВСВ мощностью и возможностью работы в низкочастотной области спектра доминантных частот (5-20 Гц).

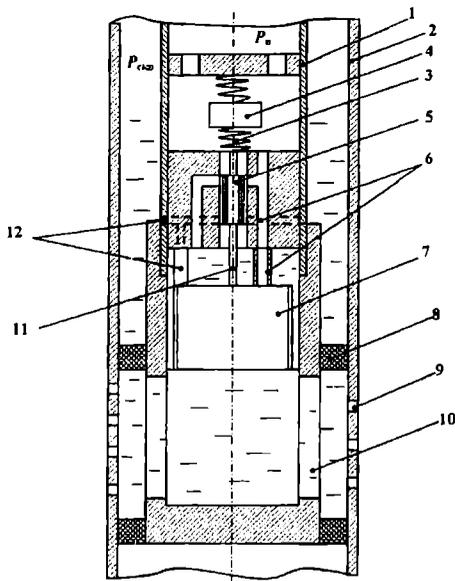


Рис. 1. Устройство для создания пульсирующего давления: 1 – НКТ; 2 – обсадная труба; 3 – пружины; 4 – масса; 5 – клапан золотникового типа; 6 – окна и трубопровод для подачи P_n в зону перфорации и гидропривод; 7 – автоколебательный гидропривод клапана; 8 – пакер; 9 – перфорация; 10 – окна для выхода жидкости; 11 – шток гидропривода; 12 – окна и трубопровод линии слива; P_n – давление питания; $P_{сж}$ – давление в скважине

Одним из перспективных направлений по созданию такого источника является использование автоколебательного гидравлического привода, силовая часть которого управляет клапаном, создающим пульсирующее давление в зоне перфорации обсадной трубы на глубине залегания пласта. Постоянное давление, превышающее скважинное на 15 – 20 МПа, создается, например, с устья скважины с помощью соответствующего насосного агрегата и по колонне насосно-компрессорных труб (НКТ) передается до клапана. Область пульсирующего с доминантной частотой давления в скважине ограничивается пакерами. Принципиальная схема устройства для создания пульсирующего давления с помощью управляемых клапанов показана на рис. 1.

Из рис. 1 следует, что при движении клапана-золотника 5 вниз открываются канал 6, и в объеме окон 10 давление от $P_{сжн}$ повышается до P_n , при движении клапана вверх давление P_n перекрывается, и полость окон 10 соединяется через окна 12 с межтрубным пространством со скважинным давлением. Зона перфорации обсадной колонны, через которую перепад давления $\Delta P_n = P_n - P_{сжн}$ воздействует на нефтегазовый пласт, создавая в нем упругое волновое поле, изолирована от межтрубного пространства пакерами 8. Таким образом, если автоколебательный гидропривод 7 будет создавать колебательное движение золотника 6 с частотой, равной доминантной частоте пласта, и с амплитудой, обеспечивающей перекрытие окон 6 и 12, то через перфорационные отверстия 9 на пласт будет действовать пульсирующее давление, создавая в нем упругие деформации.

В качестве автоколебательного силового привода может быть использован привод, в котором связь перемещения клапана и штока гидроцилиндра с золотником осуществляется через дифференцирующее гидравлическое устройство (катаракта).

Принципиальная схема такого устройства приведена на рис. 2.

Обозначим через «у» перемещение поршня 4, через «х» – перемещение золотника 3, тогда дифференциальные уравнения автоколебательного гидропривода без учета внешних утечек и перетечек по поршню запишем в виде [2]

$$\begin{cases} M\ddot{y} + b\dot{y} + cy + R \operatorname{sign} \dot{y} + F_1(\dot{y}, \dot{x}) + F_2(y) = S\Delta p \\ S\ddot{y} + K_{сж} \Delta \dot{p} = 2\mu K_f \cdot x \sqrt{\frac{2q}{\gamma} (P_n - P_{сж} - \Delta p \cdot \operatorname{sign} x)}, (1) \\ T\dot{x} + x = T\dot{y} \end{cases}$$

где Δp – давление в полостях гидроцилиндра; M – приведенная масса нагруженного поршня, включающая массу подвижных частей и приведенную массу жидкости; b – коэффициент вязкого трения; c – коэффициент жесткости пружины 1; R – постоянная составляющая приведенной силы сухого трения; S – площадь поршня; F_1 – сила, действующая на поршень со стороны катаракты; $F_2(y)$ – нагрузка на поршень со стороны клапана;

$K_{сж} = \frac{S\ell_0}{E}$ – коэффициент сжимаемости жидкости;

ℓ_0 – начальная длина рабочей полости гидроцилиндра;

E – модуль объемного сжатия жидкости;

μ – коэффициент расхода;

K_f – коэффициент пропорциональности при определении площади открытия рабочего окна золотника;

q – ускорение свободного падения;

γ – удельный вес жидкости;

$T = \frac{S_1^2}{K_{оп} \cdot C_1}$ – постоянная времени катаракты;

$K_{оп}$ – проводимость отверстий в поршне катаракты;

C_1 – коэффициент жесткости пружины 8;

S_1 – площадь поршня катаракты.

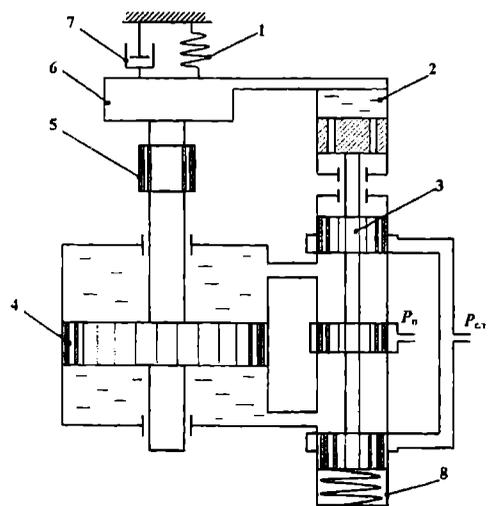


Рис. 2. Автоколебательный гидравлический силовой привод; P_n – давление питания; $P_{сж}$ – давление слива; 1 – пружина; 2 – катаракта; 3 – золотник; 4 – поршень силового гидроцилиндра; 5 – клапан; 6 – дополнительная масса; 7 – демпфер; 8 – пружина золотника

Усилие на поршень силового гидроцилиндра со стороны катаракты

$$\begin{cases} F_1 = \frac{S_1^2}{K_{\partial p}} (\dot{y} - \dot{x}) & \text{при } |x| < x_m \\ F_1 = \frac{S_1^2}{K_{\partial p}} \dot{y} & \text{при } |x| = x_m, \end{cases} \quad (2)$$

где x_m – максимальное перемещение золотника до того момента, когда он ложится на упоры.

Усилие F_2 зависит от положения клапана – при перекрытии клапаном отверстия подачи давления в подкамерную область $F_2 = P_n \cdot S_2$, где S_2 – площадь клапана, а при полном открытии канала на слив рабочей жидкости уравниваются и $F_2 = 0$.

Принимая линейную зависимость усилия F_2 от величины открытия отверстий, функция $F_2(y)$ определяется графиком на рис. 3.

Таким образом, при принятых допущениях система нелинейных дифференциальных уравнений (1), (2) и график на рис. 3 достаточно полно описывают поведение гидропривода управления клапаном скважинного низкочастотного излучателя упругих волн.

С целью оценки возможности существования автоколебательного режима будем полагать, что постоянная времени T катаракты мала и нагрузка на поршень состоит из сил инерции, вязкого сопротивления и упругости, тогда вместо системы уравнений (1) получим

$$\begin{cases} M\ddot{y} + b\dot{y} + cy = S\Delta p \\ S\dot{y} = \mu K_f \cdot x \sqrt{\frac{2q}{\gamma}} (P_n - P_{св} - \Delta p \cdot \text{sign } x) - K_{сж} \Delta p \\ x = \begin{cases} x_m & \text{при } \dot{y} > 0 \\ -x_m & \text{при } \dot{y} < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

Полагая также, что нагрузочные характеристики золотникового распределителя близки к линейным, для расхода Q через распределитель можно записать [2]

$$Q = K_Q x - K_p \cdot \Delta p, \quad (4)$$

где K_Q – коэффициент расхода; K_p – коэффициент жесткости нагрузочной характеристики.

Тогда вместо (3) запишем систему уравнений:

$$\begin{cases} M\ddot{y} + b\dot{y} + cy = S\Delta p \\ S\dot{y} = K_Q \cdot x - K_p \cdot \Delta p - K_{сж} \Delta p \\ x = \begin{cases} x_m & \text{при } \dot{y} > 0 \\ -x_m & \text{при } \dot{y} < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

Система уравнений (5) может быть преобразована к одному нелинейному дифференциальному уравнению, которое запишем в операторном виде:

$$(a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0) \Delta p = d \cdot x_m (y \cdot p), \quad (6)$$

где $a_3 = M \cdot K_{сж}$, $a_2 = (M \cdot K_p + b K_{сж})$, $a_1 = (K_{сж} \cdot C + K_p \cdot b + S^2)$, $a_0 = C \cdot K_p$, $d = S \cdot K_a$.

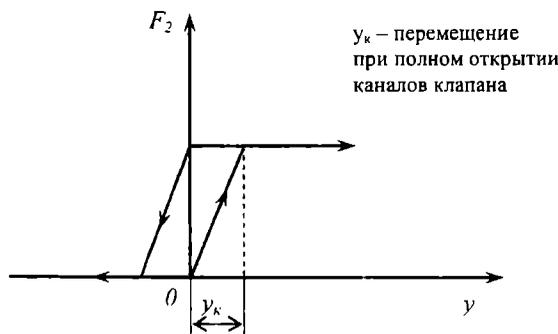


Рис. 3.

Следуя методу гармонической линеаризации [3] вместо идеального реле, описывающего правой частью уравнения (6), можно записать в предположении существования периодического решения в виде

$$y = A \cdot \sin \Omega t,$$

где A и Ω – амплитуда и частота, следующее выражение

$$x_m(y p) = \frac{d \cdot 4 x_m}{\pi A \cdot \Omega} p y. \quad (7)$$

Характеристическое уравнение выражения (6) с учетом (7) будет иметь вид:

$$a_3 p^3 + a_2 p^2 + \left(a_1 - \frac{d \cdot 4 x_m}{\pi A \cdot \Omega} \right) p + a_0 = 0. \quad (8)$$

Предполагая синусоидальную форму решения, необходимо наличие пары чисто мнимых корней $p = \pm i\Omega$, вследствие чего после подстановки $p = i\Omega$ в уравнение (8) получим систему уравнений

$$\begin{cases} -a_3 \Omega^3 + \Omega \cdot \left(a_1 - \frac{d \cdot 4 x_m}{\pi A \cdot \Omega} \right) = 0 \\ -a_2 \Omega^2 + a_0 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Из системы (9) следует

$$\begin{cases} \Omega = \sqrt{\frac{a_0}{a_2}} \\ A = \frac{4 \cdot d \cdot x_m \cdot a_2}{\pi (a_1 \cdot a_2 - a_3 \cdot a_0) \cdot \Omega} \end{cases} \quad (10)$$

Частота автоколебаний будет в первом приближении определяться собственной частотой колебательной системы, т. е. $\Omega \approx \sqrt{\frac{C}{M}}$.

Учитывая, что амплитуда автоколебаний должна быть величиной положительной, необходимо выполнение неравенства $a_1 \cdot a_2 - a_3 a_0 > 0$, которое и является условием устойчивости периодического решения.

Можно видеть, что, учитывая малые размеры элементов гидропривода в объемах НКТ в первом приближении, возможно пренебречь сжимаемостью жидкости, тогда вместо системы уравнений (5) получим:

$$\begin{cases} M\ddot{y} + \left(b + \frac{S^2}{K_p} \right) \dot{y} + cy = S \frac{K_a}{K_p} x(y) \\ x = \begin{cases} x_m & \text{при } \dot{y} > 0 \\ -x_m & \text{при } \dot{y} < 0 \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

Уравнение (11) является аналогом хорошо известной автоколебательной системы «маятник с отрицательным трением», для которой, например, в работе [4] методом Ван-дер-Поля определена амплитуда y_m устойчивого предельного цикла автоколебаний. Для уравнения (11) амплитуда автоколебаний в соответствии с [4] будет определяться выражением:

$$y_m = \frac{2 \cdot S \frac{K_a}{K_p} \cdot x_m}{\pi b \cdot \sqrt{\frac{C}{m}}} \quad (12)$$

Таким образом, силовой привод для перемещения клапана, создающего пульсирующее давление в призабойной зоне, является автоколебательным, частота которого может быть настроена на доминантную частоту пласта путем подбора массы M и жесткости C колебательного контура, а амплитуда автоколебаний может быть обеспечена достаточной для полного открытия окон клапана.

Если принять, например, объем подпакерной области $V_n = 3,35 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $\Delta p = 20 \text{ МПа}$, доминантную частоту $f = 10 \text{ Гц}$, то расход Q через клапан для создания перепада давления равной 20 МПа с учетом сжимаемости жидкости и деформации породы пласта составит $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$. Суммарная площадь S_1 сечения каналов клапана, обеспечивающая расход Q , определена по выражению

$$S_1 = \frac{Q \sqrt{\rho}}{\mu \cdot \sqrt{2 \Delta p}},$$

где $\mu \approx 0,6$, и составляет $S_1 = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

В этом случае 4 канала клапана с диаметрами $d = 2 \text{ мм}$ обеспечивают требуемый расход. В соответствии с рис. 1 ход клапана должен составлять не менее 2 мм. Полагая, что поршень цилиндра вместе с клапаном и дополнительной массой имеет массу $m = 10 \text{ кг}$, то необходимый для обеспечения частоты автоколебаний $f = 10 \text{ Гц}$ коэффициент жесткости пружины составит $C = 4 \cdot 10^4 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Учитывая, что

расход через окна золотника должен быть не меньше, чем расход Q через клапан, коэффициенты K_a и K_p определены по выражениям [2]

$$K_Q \approx \mu d \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} = 1,4 \cdot 10^{-1} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}, \quad K_p = \frac{\mu \cdot S_1}{2 \sqrt{\rho \cdot \Delta p}} = 1,4 \cdot 10^{-11}$$

При принятых значениях конструктивных параметров автоколебательной гидравлической системы амплитуда автоколебаний, определенная по выражению (10), составляет $A \approx 1 \div 3 \text{ см}$ в зависимости от диаметра поршня.

Таким образом, погружной скважинный источник упругих волн, построенный на базе гидравлической автоколебательной системы с катарактой в цепи обратной связи, может обеспечивать пульсирующий (с доминантной частотой пласта) перепад давления с амплитудой 10 – 20 МПа, при этом настройка колебательной системы на доминантную частоту может производиться в лабораторных условиях изменением жесткости пружины и величины дополнительной массы.

**Работа выполнена при поддержке гранта
РФФИ 06-08-00881-а**

Библиографический список

1. Б.Н.Боголюбов, А.С.Бриллиант, И.В.Цыкин, В.Н.Лобанов, В.Ф.Новиков, В.Ю.Морозов, Г.А.Потапов, Д.Ш.Рамазанов, И.А.Сошнев. Опыт-промышленные испытания мощного низкочастотного излучателя для интенсификации добычи нефти. Техника и технология добычи нефти, №9, 2000 г., стр. 86.
2. Д.Н.Попов. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. М., 1987. 464 с.
3. Е.П.Попов, И.П.Пальтов. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. М., 1960. 792 с.
4. Н.В.Бутенин, Я.Л.Луцк, Д.Р.Меркин. Курс теоретической механики. Т. II. М., 1985. 496 с.

БУРЬЯН Юрий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления».

СОРОКИН Владимир Николаевич, доктор технических наук, доцент кафедры «Основы теории механики и автоматического управления».

РУССКИХ Григорий Серафимович, аспирант кафедры «Основы теории механики и автоматического управления».

Дата поступления статьи в редакцию: 21.11.06 г.
© Бурьян Ю.А., Сорокин В.Н., Русских Г.С.

Книжная полка

Аверченков В.И. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений : учебное пособие / В.И. Аверченков, О.А. Горденко, Е.А. Ильицкий и др. - 2-е изд. - М.: Инфра-М, 2005. - 286 с.

Содержит все основные этапы технологического проектирования в машиностроительном производстве, связанные с механической обработкой и сборкой изделий. Приведенные методические указания и примеры решения всего комплекса технологических задач позволяют использовать учебное пособие при выполнении практических работ, курсовых и дипломных проектов.

Предназначено для студентов направления 151000 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», специальности 120100 «Технология машиностроения» и направления 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НАРУЖНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ ТОЧЕНИЯ ПРИ ОДНО- И ДВУХПРОХОДНОМ СНЯТИИ ПРИПУСКА НА ОБРАБОТКУ

Рассмотрен точностной аспект формообразования наружных цилиндрических поверхностей методом точения при одно- и двухпроходном снятии припуска на обработку. На основании выявленных теоретическим путем закономерностей рассматриваемых подходов обработки определены условия, при которых отклонение формы образующейся поверхности от правильной при снятии припуска за два рабочих хода будет меньше соответствующего отклонения в случае снятия того же припуска за один рабочий ход, а также условия, при которых применение двухпроходного снятия припуска не дает положительного эффекта.

Опыт машиностроения показывает, что одним из эффективных инструментов повышения функциональных возможностей изделий является ужесточение точностных требований, предъявляемых к геометрическим параметрам их составных элементов. Данное обстоятельство породило тенденцию к ужесточению данных требований, которая заметно проявила себя в XX веке и которая, по мнению специалистов, и впредь будет иметь место.

Следовательно, проблемы конструкторского обоснования выдвигаемых точностных требований к изделиям машиностроения и их технологического и метрологического обеспечения, входящие в настоящее время в круг важных, сложных и актуальных проблем машиностроения, и впредь сохраняют свою остроту.

Указанная тенденция выдвигает перед теорией технологии машиностроения задачу быть потенциально способной к решению все усложняющихся точностных задач. Очевидно, что данная способность может быть достигнута и поддерживаться, прежде всего, на основе все более глубокого постижения в точностном аспекте закономерностей существующих и вновь создаваемых методов формообразования поверхностей, ограничивающих тела деталей.

В работе [1] отмечено, что одним из технологических методов, ориентированных на достижение высоких точностных требований к цилиндрическим поверхностям, является метод снятия припуска t на обработку за два и более рабочих хода. Практика применения данного метода в большинстве случаев подтверждает его точностную эффективность, но не всегда. Недостаточная изученность в точностном плане данного метода формообразования и вместе с тем достаточно частое обращение к нему как к средству достижения высоких точностных требований к форме цилиндрических поверхностей (хотя это обращение и

сопряжено со снижением производительности труда) делают обоснованным его детальную проработку с целью установления его закономерностей и формулирования на этой основе практически важных выводов. В ходе решения этих задач ответим на два основных вопроса: 1. Всегда ли, а если не всегда, то при каких условиях погрешность формы цилиндрической поверхности, образующейся при снятии припуска за два рабочих хода, будет меньше соответствующей погрешности, возникающей при снятии того же припуска за один рабочий ход? 2. Какова закономерность влияния распределения припуска по рабочим ходам на размер погрешности формы образующейся номинально цилиндрической поверхности?

В данном исследовании примем, что в процессе формообразования наружной номинально цилиндрической поверхности каждой отдельно взятой заготовки отклонение формы образующейся поверхности от правильной обусловлено только непостоянством податливости δ технологической системы (ТС), изменяющейся в процессе обработки конкретной поверхности в пределах от наибольшего δ_{\max} до наименьшего δ_{\min} значений. Данное отклонение формы определяется по формуле (см. [2, 3])

$$\Delta_{\text{ф}} = t_{\text{ост max}} - t_{\text{ост min}} \quad (1)$$

где $t_{\text{ост max}}$ — $t_{\text{ост min}}$ — соответственно наибольшее и наименьшее значения остаточной глубины резания $t_{\text{ост}}$ образующейся в процессе формообразования рассматриваемой поверхности в результате радиального смещения резца относительно заготовки, являющегося функцией податливости ТС и силы резания.

Известно (см., например, [2]), что при обтачивании валов основной вклад в упругое радиальное смещение режущей кромки резца относительно заготовки вносит радиальная составляющая P_y силы резания, поэтому в работе будем учитывать только эту составляющую, приняв, что она определяется,

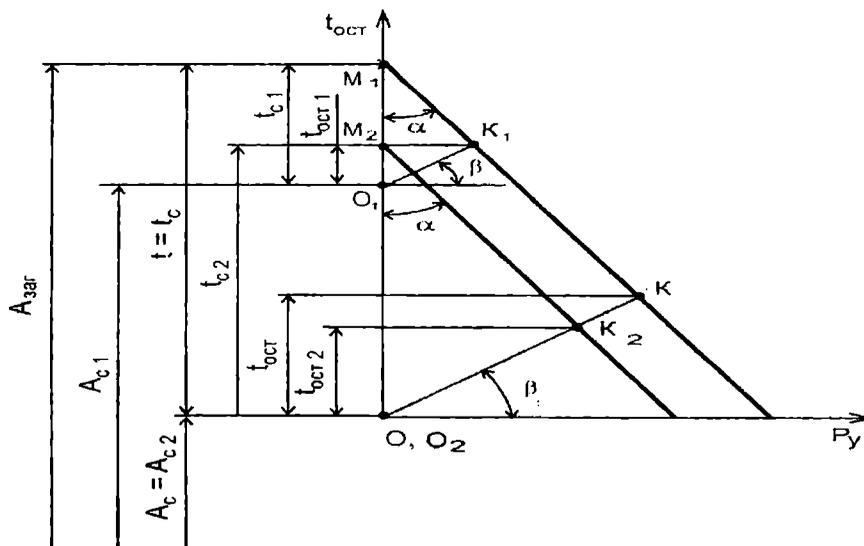


Рис. 1. Схема графического определения остаточных глубин резания при снятии операционного припуска за один ($t_{ост1}$) и за два ($t_{ост2}$) прохода

согласно [2], зависимостью $P_y = C_y t_{ф}^m$, где C_y и m – постоянная и показатель степени, определяемые условиями обработки; $t_{ф}$ – фактическая глубина резания. Если принять $m = 1$ (в большинстве случаев $0,9 \leq m \leq 1$), то сила P_y будет определяться выражением $P_y = C_y t_{ф}$. В дальнейшем будем считать, что величины P_y и $t_{ф}$ связаны пропорциональной зависимостью. Примем, что такой же зависимостью связаны радиальное смещение вершины реза относительно заготовки и сила P_y , т.е. $t_{ост} = \delta P_y$.

При указанных посылках текущее значение величины $t_{ост}$, отвечающее осевой координате текущего положения в процессе обработки вершины реза относительно заготовки, согласно работе [4], определится по формуле

$$t_{ост} = R t_{c1} \quad (2)$$

где $R = C_y \delta / (1 + C_y \delta)$ – текущий коэффициент (безразмерный параметр), определяемый текущими значениями параметров C_y и δ (область возможных значений данного коэффициента определяется неравенством $0 < R < 1$); t_{c1} – текущая статическая глубина резания, зависящая от соответствующего размера статической настройки A_c и радиального размера $A_{зар}$ текущего поперечного сечения заготовки.

Из физической сущности рассматриваемого процесса и формулы (2) видно, что R выражает долю, которую составляет $t_{ост}$ по отношению к t_{c1} и характеризует ту часть t_{c1} , которая осталась в процессе выполнения прохода несрезанной из-за упругих смещений реза относительно заготовки.

Из принятого выше допущения о том, что причиной погрешности формы образующейся поверхности является только непостоянство податливости ТС по длине обработки, следует постоянство значений величин C_y , t_{c1} , A_c , $A_{зар}$ по длине обработки конкретной заготовки. С учетом этого и выражения (2) формула (1) применительно к однопроходному снятию припуска примет вид

$$\Delta_{ф-1} = (R_{max} - R_{min}) t_{c1} \quad (3)$$

где $R_{max} = C_y \delta_{max} / (1 + C_y \delta_{max})$; $R_{min} = C_y \delta_{min} / (1 + C_y \delta_{min})$.

Отметим, что при обработке конкретной заготовки значение $t_c = A_{зар} - A_c$. При этом вопрос установления размера A_c , необходимого для обеспечения точности получаемого размера, является

вопросом, решаемым при настройке ТС на размер [4], подробности которой здесь не освещаются.

При снятии этого же припуска за два прохода погрешность формы будет зависеть от наибольшего $t_{ост2 max}$ и наименьшего $t_{ост2 min}$ значений остаточной глубины резания $t_{ост2}$, образующейся в процессе выполнения второго (последнего) прохода. Для установления закономерности влияния распределения общего припуска по проходам на погрешность формы поверхности, образующейся при двухпроходном снятии припуска, которую обозначим через $\Delta_{ф-2}$, и обеспечения возможности ее сопоставления с соответствующей погрешностью $\Delta_{ф-1}$, образующейся при снятии того же припуска за один рабочий ход, статическую глубину резания t_{c1} первого прохода двухпроходной обработки будем выражать в долях ξ статической глубины резания, имеющей место при однопроходном снятии припуска, т.е.

$$t_{c1} = \xi t_{c2} \quad (4)$$

где ξ – коэффициент – переменная величина, принимающая значения в диапазоне от нуля до единицы, т.е. $0 < \xi \leq 1$ (значение $\xi = 0$, отвечающее однопроходному снятию припуска на обработку, не входит в данный диапазон).

В соответствии с диапазоном возможных значений коэффициента ξ диапазон значений величины t_{c1} запишется в виде $0 < t_{c1} \leq t_{c2}$. Это теоретический диапазон изменения t_{c1} . Практически же данный диапазон должен быть определен с учетом минимально возможной толщины снимаемой стружки для применения метода обработки при конкретных технологических режимах и состоянии технологических средств оснащения [5, с. 28].

С целью облегчения нахождения размерных связей, используемых при аналитическом определении величин $t_{ост2 max}$ и $t_{ост2 min}$, сначала, опираясь на графический и аналитический методы [6], установим формулу, позволяющую определить текущие значения $t_{ост2}$, приняв при этом следующие обозначения (рис. 1) (отметим, что значения величин, характеризующих первый проход и используемых при расчете $t_{ост2}$, должны быть определены для того же текущего положения вершины реза, которое будет рассматриваться при втором проходе): A_{c1} и A_{c2} – размеры статической настрой-

ки ТС, соответствующие первому и второму проходам по снятию общего припуска; t_{c1} и t_{c2} — текущие статические глубины резания соответственно для первого и второго проходов; $t_{ост1}$ и $t_{ост2}$ — текущие остаточные глубины резания соответственно для первого и второго проходов.

При решении данной задачи будем исходить из того, что размеры статической настройки ТС при однопроходном снятии припуска и при выполнении второго прохода при двухпроходном снятии припуска одинаковы, т.е. $A_c = A_{c2}$. Схема геометрического определения текущих остаточных глубин резания при одно- и двухпроходном снятии припуска приведена на рис. 1, где, согласно работе [6], $\alpha = \arctg C_y$, $\beta = \arctg \delta$.

Согласно формулам (2) и (4) текущая остаточная глубина резания при выполнении первого прохода двухпроходного снятия припуска

$$t_{ост1} = R_1 t_{c1} = R_1 \xi t_c \quad (5)$$

где R_1 — это значение R применительно к первому проходу двухпроходного снятия припуска.

Из рис. 1 видно, что $t_{c2} = t_c - t_{c1} + t_{ост1}$. Тогда, с учетом формул (4) и (5), текущая остаточная глубина резания при выполнении второго прохода

$$t_{ост2} = R_2 t_{c2} = R_2 [1 - (1 - R_1) \xi] t_c \quad (6)$$

где R_2 — это значение R применительно ко второму проходу двухпроходного снятия припуска.

Из изложенного видно, что при установленных для данных условий обработки значений R_{1max} , R_{1min} , R_{2max} , R_{2min} и принятом значении ξ погрешность формы после выполнения второго прохода двухпроходной обработки поверхности определяется по формуле, вытекающей из выражений (1) и (6),

$$\Delta_{\phi-2} = t_{ост2max} - t_{ост2min} \quad (7)$$

где

$$t_{ост2max} = R_{2max} [1 - (1 - R_{1max}) \xi] t_c \quad (8)$$

$$t_{ост2min} = R_{2min} [1 - (1 - R_{1min}) \xi] t_c \quad (9)$$

Отметим, что величины R_1 и R_2 достигают своих наибольших (наименьших) значений при одном и том же осевом положении вершины реза относительно заготовки.

При рассмотрении формообразования цилиндрической поверхности конкретной заготовки функции R , R_1 , R_2 близки друг к другу как в качественном, так и в количественном отношениях. В этой связи для упрощения сопоставления соотношений, используемых для определения остаточной глубины резания и погрешности формы как при однопроходном, так и при двухпроходном снятии припуска, в дальнейшем будем считать, что $R_1 = R_2 = R$. При таком допущении формулы (6), (8) и (9) примут соответственно вид

$$t_{ост2} = R [1 - (1 - R) \xi] t_c$$

$$t_{ост2max} = R_{max} [1 - (1 - R_{max}) \xi]$$

$$t_{ост2min} = R_{min} [1 - (1 - R_{min}) \xi]$$

Подставляя данные значения $t_{ост2min}$ и $t_{ост2max}$ в формулу (7), получим

$$\Delta_{\phi-2} = (R_{max} - R_{min}) [1 + (R_{max} + R_{min} - 1) \xi] t_c \quad (10)$$

Полученные выражения (3) и (10) позволяют по известным значениям R_{max} , R_{min} , t_c и ξ вычислять $\Delta_{\phi-1}$ и $\Delta_{\phi-2}$ соответственно при одно- и двухпроходном

снятии припуска. Проанализируем данные соотношения.

Если $R_{max} = R_{min}$, то $\Delta_{\phi-1} = \Delta_{\phi-2} = 0$. Ввиду очевидности последствий такого сочетания значений R_{max} и R_{min} эти сочетания в дальнейшем исключим из рассмотрения и примем во внимание будем только такие, в которых $R_{max} > R_{min}$.

При конкретном формообразовании цилиндрической поверхности, когда имеют место конкретные заготовка, средства технологического оснащения, технологические режимы, значения R_{max} и R_{min} также вполне конкретны. Если при этом заданный технологический припуск будет сниматься за один рабочий ход, то возникающая погрешность $\Delta_{\phi-1}$ будет необходимо обуславливаться сочетанием значений R_{max} , R_{min} и t_c . Если образующая при таком технологическом подходе Δ_{ϕ} превышает допустимую норму, то часто по разным причинам прибегают к двухпроходному снятию припуска, условия целесообразности обращения к которому теоретически обосновываются в данной работе.

Предварительные исследования, заключающиеся в сопоставлении результатов расчетов $\Delta_{\phi-1}$ и $\Delta_{\phi-2}$ соответственно по формулам (3) и (10), показали, что не при всяких сочетаниях значений R_{max} и R_{min} снятие припуска за два прохода приводит к уменьшению погрешности формы по отношению к той, которая возникает при однопроходном снятии того же припуска (представление о возможных сочетаниях значений R_{max} и R_{min} дают области их возможных значений $0 < R_{max} < 1$ и $0 < R_{min} < 1$, которые вытекают из области возможных значений коэффициента R : $0 < R < 1$ (см. формулу (2)), и соотношение между R_{max} и R_{min} : $R_{min} < R_{max}$).

В этой связи возникает необходимость в установлении признаков, которые позволяли бы на основе выявленных при конкретном формообразовании значений R_{max} и R_{min} предсказывать направленность изменения значения величины $\Delta_{\phi-2}$ (в сторону увеличения, уменьшения или отсутствия данных изменений), образующейся в результате применения двухпроходной обработки, по отношению к соответствующему значению $\Delta_{\phi-1}$ и тем самым предопределять целесообразность обращения к двухпроходному снятию припуска.

Данная направленность может быть выявлена на основе определения для конкретного формообразования значения коэффициента K_c , равного отношению $\Delta_{\phi-2}$ к $\Delta_{\phi-1}$, т.е.

$$K_c = \Delta_{\phi-2} / \Delta_{\phi-1} \quad (11)$$

Подставляя в это соотношение значения $\Delta_{\phi-2}$ и $\Delta_{\phi-1}$ соответственно из формул (10) и (3), будем иметь

$$K_c = 1 + (R_{max} + R_{min} - 1) \xi \quad (12)$$

Вполне очевидно, что обращение к двухпроходному снятию припуска будет целесообразным, если данный прием обеспечит неравенство

$$\Delta_{\phi-2} < \Delta_{\phi-1}$$

Из этого и (11) неравенств вытекает следующее условие целесообразности обращения к двухпроходному снятию припуска:

$$K_c < 1, \quad (13)$$

или, с учетом правой части соотношения (12) и свойств неравенств [7, с. 210],

$$R_{max} + R_{min} < 1. \quad (14)$$

Для формулирования устанавливаемых условий данное неравенство должно быть рассмотрено в соче-

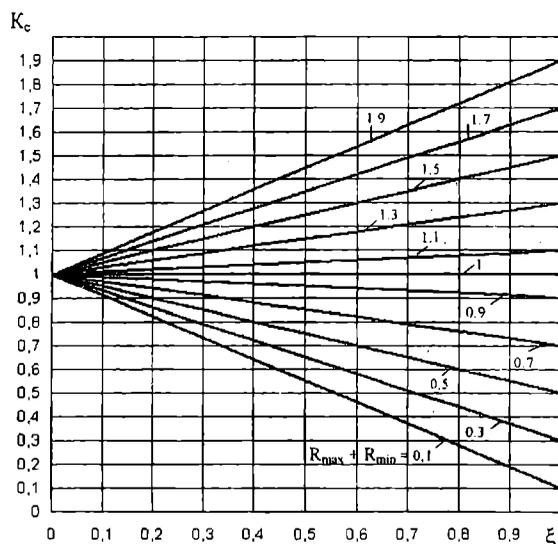


Рис. 2. Зависимость K_c от ξ для ряда значений суммы $R_{\max} + R_{\min}$

тании с неравенствами исходных посылок: $R_{\min} < R_{\max}$, $0 < R_{\max} < 1$, $0 < R_{\min} < 1$.

В результате анализа данной системы неравенств выявлены взаимосвязанные области значений для R_{\max} и R_{\min} и выражены через взаимосвязанные неравенства, которым должны удовлетворять значения R_{\max} и R_{\min} конкретного двухпроходного формообразования, если только при этом формообразовании обеспечивается соотношение (14), а равно и (13). Данные взаимосвязанные неравенства имеют вид:

$$0 < R_{\max} \leq 0,5 \text{ и } 0 < R_{\min} < R_{\max}, \quad (15)$$

или

$$0,5 < R_{\max} < 1 \text{ и } 0 < R_{\min} < (1 - R_{\max}).$$

Из формулы (12) видно, что значение K_c зависит от суммы значений R_{\max} и R_{\min} и значения ξ . Из областей возможных значений R_{\max} и R_{\min} вытекает область возможных значений суммы $R_{\max} + R_{\min}$: $0 < R_{\max} + R_{\min} < 2$. На рис. 2 приведена совокупность графиков, выражающих зависимость K_c от ξ при различных фиксированных значениях суммы $R_{\max} + R_{\min}$, которая при конкретном формообразовании конкретна.

Данные графики позволяют составить достаточно полное представление о расположении других аналогичных графиков, отвечающих другим, не указанным на рисунке значениям суммы $R_{\max} + R_{\min}$. Такое представление позволяет заключить о справедливости неравенства (14) как условия выполне-

ния при конкретном формообразовании неравенства (13).

Из формулы (12) и рис. 2 видно, что при фиксированном сочетании значений R_{\max} и R_{\min} , удовлетворяющим неравенству (14), большему значению ξ отвечает меньшее значение K_c .

Из формулы (12) следует, что если $R_{\max} + R_{\min} = 1$, то значение $K_c = 1$ при любом значении ξ . Если же $R_{\max} + R_{\min} > 1$, то значение $K_c > 1$ при любом значении ξ , т.е. в этом случае применение двухпроходного снятия припуска приводит к результату, противоположному желательному.

В подавляющем большинстве ТС рассматриваемого формообразования цилиндрических поверхностей $R_{\max} < 0,2$, а это значит, что значения R_{\max} и R_{\min} этих систем будут удовлетворять неравенству (15), выражающим условие целесообразности в случае необходимости обращения к двухпроходному снятию припуска на обработку.

Если при рассмотрении конкретного аналогичного формообразования неприемлемы все принятые в данной работе допущения или некоторые из них, то полученные результаты могут рассматриваться в качестве ориентировочных.

Библиографический список

1. Справочник технолога-машиностроителя /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, 1985. — Т.2. — 496 с.
2. Основы технологии машиностроения /Под ред. В.С. Корсакова. — М.: Машиностроение, 1977. — 416 с.
3. Марков Н.Н. Нормирование точности в машиностроении / Н.Н. Марков, В.В. Осипов, М.Б. Шабалина. Под ред. Ю.М. Соломенцева. — М.: Высш. шк., издательский центр «Академия», 2001. — 335 с.
4. Мальцев В.Г. Настройка технологических систем на размер при формообразовании поверхностей вращения резанием /В.Г. Мальцев //Технология машиностроения, 2004. — № 6. — С. 14-18.
5. Маталин А.А. Технология машиностроения /А.А. Маталин. — Л.: Машиностроение, 1985. — 512 с.
6. Мальцев В.Г. Графический и графоаналитический способы исследования формообразования поверхностей вращения резанием /В.Г. Мальцев //Технология машиностроения, 2004. — № 1. — С. 15-19.
7. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике /М.Я. Выгодский. — М.: Наука, 1973. — 416 с.

МАЛЬЦЕВ Василий Георгиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации и робототехники.

Дата поступления статьи в редакцию: 17.05.06 г.
© Мальцев В.Г.

Книжная полка

Кудишин Ю.И. Металлические конструкции : учебник / Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В. Игнатьева. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 688 с.

В учебнике рассмотрены вопросы проектирования строительных металлических конструкций, их работа при различных видах нагружений, соединения. Даны основы конструирования и расчетов элементов, каркасов промышленных и гражданских зданий, листовых конструкций, высотных сооружений.

Для студентов вузов. Допущено Минобрнауки России.

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИМ ВИБРАТОРОМ

В работе рассмотрена возможность создания низкочастотного погружного скважинного источника упругих волн. Показано, что применение автоколебательного гидравлического привода для управления клапаном, переключение которого создает пульсацию давления в призабойной зоне на уровне пласта, обеспечивает возможность проведения вибросейсмического воздействия на пласт с целью повышения его отдачи.

В современной медицине наряду с традиционными методами все большее распространение получают энергоинформационные методы терапии. Суть их в слабом информационном воздействии на организм человека, пробуждающем защитные функции самого организма. Одним из направлений данного подхода является воздействие на биологически активные зоны вибрационным сигналом сложной формы.

Таким образом, из медицины в технику приходит задача создания устройства, способного передавать произвольный сигнал в виде механических колебаний с минимальными искажениями. Решение этой задачи заключается в разработке системы управления электродинамическим приводом, назовем его вибратором.

При проектировании системы управления необходимо учитывать следующие особенности. Приемником вибрационного воздействия является живая биологическая ткань, реологические параметры которой заранее известны лишь приближенно. Кроме того, они могут существенно изменяться в процессе процедуры. Исполнительным элементом системы управления является электродинамический привод, который сам по себе существенно искажает форму сложного сигнала (без искажения воспроизводится лишь гармонический сигнал). Для получения эффекта энергоинформационного воздействия на биологически активную точку организма заданный сигнал должен быть воспроизведен без искажения формы. Точность амплитуды воспроизведения сигнала играет второстепенную роль.

Примененные к решению поставленной задачи подходы могут быть использованы для других систем воспроизведения механического сигнала с помощью электродинамического привода, например, при воспроизведении акустического сигнала в воздушную или жидкую среду.

Требования к системе управления

1. Система управления должна обеспечивать передачу вибратором заданного сигнала с минимальными искажениями. Заданный сигнал является шумоподобным и будет получен при измерении акустической активности или биопотенциала биологической ткани, во втором случае сигнал представляет собой сумму импульсов нервных клеток. При проектировании системы управления необходимо задать входным сигналом, назовем его испытательным задающим воздействием, в некотором смысле "похожим" на те воздействия,

которые потребуется воспроизводить при эксплуатации прибора. Критерием "похожести" сигналов является сходство спектральных характеристик. В качестве испытательного задающего воздействия $x_1(t)$ взят импульс, спектральная характеристика которого близка к спектральной характеристике нервного импульса, $x_1(t) = \exp(-(2000 \cdot t - 3)^2)$.

Степень искажения сигнала оценивается с помощью интегрального критерия качества

$$J = \frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} (x_1 - x)^2 dt, \text{ где } t_k \text{ — длительность испытательного}$$

воздействия. Его величина выбрана несколько больше длительности импульса, чтобы учесть нежелательные возможные колебания после его действия.

2. Система управления должна иметь минимальную чувствительность к возмущающим воздействиям.

В качестве возмущения может выступать отклонение какого-либо параметра вибратора от расчетного значения (например, жесткость системы вибратор — среда), что приведет к появлению отклонения в движении системы от расчетного движения. Для численной оценки чувствительности

к возмущению введена величина $\beta = \frac{\epsilon_x}{\epsilon_{\text{параметр}}} = \frac{\frac{|x - x_{\text{расч}}|_{\text{сп}}}{x_{\text{сп}}}}{\frac{|k - k_{\text{расч}}|}{k}}$,

где $\frac{|x - x_{\text{расч}}|_{\text{сп}}}{x_{\text{сп}}}$ — относительное отклонение возмущенного движения от невозмущенного; $\frac{|k - k_{\text{расч}}|}{k}$ — относительное отклонение параметра вибратора, которое является возмущающим фактором.

3. Управляющее воздействие — напряжение, подаваемое на вибратор, — ограничено по мощности максимально допустимой величиной (максимальная мощность является характеристикой привода).

Объект управления

Объектом управления является электродинамический привод, установленный на биологическую ткань. Привод показан на рис. 1, где обозначено 1 — катушка (верхняя катушка используется в качестве индуктивного датчика скорости, нижняя — в качестве привода), 2 — магнит, 3 — упругий подвес, 4 — штамп, 5 — корпус.

В работе применен следующий подход к построению математической модели объекта. Перво-

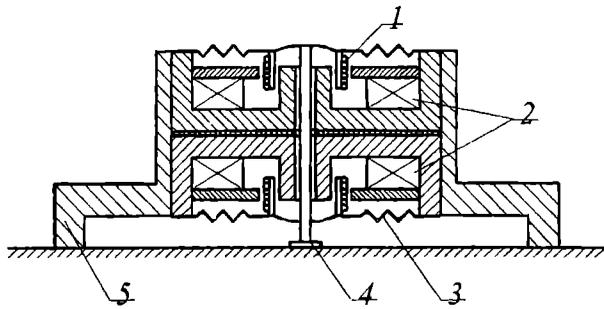


Рис. 1. Конструктивная схема электродинамического привода

начально модель упрощается до линейной. Затем выполняется проверка модели путем сравнения результатов виртуального и реального экспериментов. Адекватность модели оценивается количественно с помощью критерия качества J . Затем модель уточняется и вновь проводится оценка адекватности. Причем уточнения добавляются по одному, что позволяет определить значимость каждого уточнения модели. Если уточнение существенно не повышает критерий качества модели, то его следует отбросить, т.к. каждое уточнение, как правило, усложняет модель и, следовательно, систему управления.

Линейная математическая модель вибратора может быть представлена [1] в виде дифференциального уравнения $T^2 \ddot{x}(t) + 2 \zeta T \dot{x}(t) + 1 = k u(t)$, где k – коэффициент передачи, T – постоянная времени, ζ – относительный коэффициент демпфирования, $x(t)$ – перемещение штампа, $u(t)$ – напряжение на катушке привода. Коэффициенты k , T , ζ зависят от массы движущихся частей, жесткости мембраны, коэффициента вязкого трения.

Обозначив векторы $x = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix}$ и $u = [u(t)]$, из дифференциального уравнения получим описание математической модели в пространстве состояний:

$$\dot{x} = Ax + Bu, \text{ где } A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{1}{T^2} & -\frac{2\zeta}{T} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{k}{T^2} \end{pmatrix}.$$

Верхняя катушка служит датчиком скорости. Датчик необходим для построения обратной связи. Датчик перемещения отсутствует, то есть единственной наблюдаемой величиной является скорость изменения управляемой величины (перемещения штампа). Применение датчика скорости вместо датчика перемещения существенно упрощает конструкцию вибратора.

Оптимальный регулятор

Синтез системы управления в данной работе рассмотрен как задача аналитического конструирования оптимального регулятора (задача АКОР) для случая отслеживания известного задающего воздействия. Алгоритм решения этой вариационной задачи предложен в [2, с.379] для линейной задачи с квадратичной формой минимизируемого функционала

$$J = 0,5 \int_{t_1}^{t_2} (\Delta x^T(\theta) \beta \Delta x(\theta) - u^T(\theta) K^{-1} u(\theta)) d\theta.$$

Вектор $\Delta x(\theta) = x(\theta) - x_3(\theta)$ есть рассогласование между движением привода и заданным движением. Слагаемое $\Delta x^T(\theta) \beta \Delta x(\theta)$, включенное в функционал, позволяет минимизировать рассогласование, т.е.

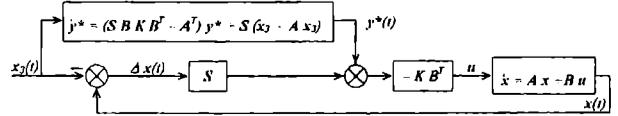


Рис. 2. Структурная схема системы управления

решать основную задачу управления. Слагаемое $u^T(\theta) \cdot K^{-1} \cdot u(\theta)$ позволяет ограничивать величину управляющего воздействия, т.е. учитывать ограничение мощности управления. Матрицы β и K имеют характер весовых коэффициентов. Приведем оба слагаемых подынтегрального выражения к безразмерному виду, задав матрицы β и K следующим

образом: $\beta = \begin{bmatrix} \frac{1}{x_{\Pi}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{v_{\Pi}^2} \end{bmatrix}, K = u_{\Pi}^2$, где $x_{\Pi}, v_{\Pi}, u_{\Pi}$ назовем

характерными величинами для перемещения, скорости и напряжения. Величины x_{Π} и v_{Π} заданы равными максимальным значениям для задающего воздействия: $x_{\Pi} = x_{3max}$ и $v_{\Pi} = \dot{x}_{3max}$. Величина u_{Π} определяет вес второго слагаемого подынтегрального выражения и подбирается из условия выполнения ограничения мощности.

Оптимальное управление, приводящее функционал J к минимуму, имеет вид $u = u_{оп} = -K B^T (S \Delta x + y^*)$.

Функция $y^*(t)$ определяется интегрированием в обратном времени дифференциального уравнения $\dot{y}^* = (S B K B^T - A^T) y^* + S (x_3 - A x_3)$ при граничном условии $y^*(t_2) = 0$ (функция $x_3(t)$ задана на интервале $[t_1, t_2]$).

Симметричная матрица S определяется из алгебраического уравнения Риккати $SA + A^T S - S B K B^T S + \beta = 0$.

Структурная схема такой системы управления показана на рис. 2.

На рис. 3 показан результат математического моделирования системы управления указанной структуры. На рис. 3а) показаны: 1 – задающее воздействие $x_3(t)$; 2 – движение привода без управления (задающее воздействие подается на привод через усилитель); 3 – движение управляемого привода. Из рис. 3б), показывающего изменение мощности управления $P(t)$ от времени, видно, что она не превышает максимально допустимую мощность $P(t) < P_{max}$ (это достигнуто подбором величины u_{Π}). Максимальная мощность для используемого в эксперименте электродинамического привода $P_{max} = 20$ Вт.

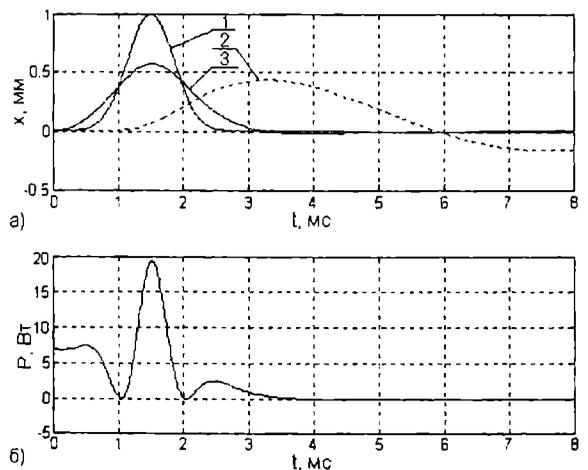


Рис. 3. Зависимости перемещения x (а) и мощности управления P (б) от времени

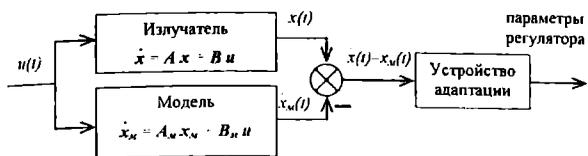


Рис. 4. Структурная схема включения устройства адаптации

При реализации системы управления возникает проблема неполной наблюдаемости — вектор x включает перемещение и скорость движения штампа, но в конструкцию привода входит только датчик скорости, а перемещение не измеряется. Эта проблема решается совместно с задачей адаптации системы управления.

Адаптивное управление

Необходимость адаптации системы управления вызвана описанной выше особенностью объекта управления, а именно изменчивостью его параметров. Адаптивность системы обеспечивается следующим образом. В процессе воспроизведения сигнала (назовем этот процесс основным) параллельно решается задача параметрической идентификации (фоновый процесс). Определенные при идентификации параметры объекта используются для пересчета параметров регулятора. Когда новые параметры регулятора посчитаны, ими заменяются старые, и воспроизведением сигнала управляет уже измененный регулятор. Изменения затрагивают лишь параметры регулятора, его уравнения и структура остаются неизменными. Устройство, выполняющее параметрическую идентификацию и расчет параметров регулятора, назовем устройством адаптации в отличие от регулятора, управляющего воспроизведением сигнала.

Задача параметрической идентификации решается путем минимизации интеграла

$$J_M = \int_0^{t_k} (\dot{x}(t) - \dot{x}_m(t))^2 dt$$

Для сравнения поведений модели и реального объекта использована скорость изменения управляемой величины как единственная наблюдаемая величина. Схема включения устройства адаптации показана на рис. 4.

Реализация системы управления

Приведенные результаты могут быть реализованы с помощью микропроцессорной системы (ЭВМ),

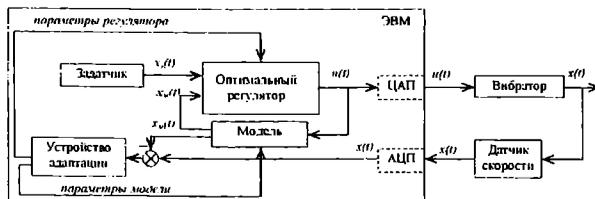


Рис. 5. Структурная схема оптимальной системы управления

в состав которой входят АЦП и ЦАП. Структурная схема системы управления показана на рис. 5.

Алгоритм работы системы управления заключается в следующем. Матрица S вычисляется из уравнения Риккати после задания параметров системы привод — среда, функция $u^*(t)$ определяется заблаговременно для всего интервала времени, т.к. задающее воздействие $x_3(t)$ заранее известно. Сигнал, пропорциональный скорости \dot{x} , через АЦП подается в регулятор, формируется вектор x и управляющее напряжение u (см. рис. 2), которое через ЦАП подается на электродинамический привод.

Параметры регулятора и модели циклически изменяет устройство адаптации в соответствии с изменением параметров объекта управления.

Предложенная структура системы управления построена с использованием метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов и позволяет воспроизводить сигнал в виде механических колебаний с максимальной точностью в условиях ограниченной мощности управления.

Библиографический список

1. Вибрации в технике. Справочник. Т. 4. М.: Машиностроение, 1981. — 509 с.
2. Справочник по теории автоматического управления/ Под ред. Красовского А.А. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 712 с.
3. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие для вузов по спец. «Автоматика и упр. в техн. системах». М.: Высшая школа, 1989. — 263 с.

СИТНИКОВ Дмитрий Владимирович, старший преподаватель кафедры «Основы теории механики и автоматического управления».

Дата поступления статьи в редакцию: 10.11.06 г.
© Ситников Д.В.

Объявления

Журнал “Рынок Приводной Техники” предлагает сотрудничество.

Контактный телефон редакции (3412)22-15-94
mailto:cov04032@reduktor.udm.ru

ВИХРЕВАЯ ТРУБА — АНТИЭЖЕКТОР

В рассматриваемой статье приводятся экспериментальные и теоретические доказательства того, что в вихревой трубе работа от осевых слоев газа передается периферийными силами вязкости за счет градиента угловых скоростей, а тепловой поток идет от периферии к оси за счет разности термодинамических температур периферийного и осевого потоков.

В настоящее время имеется ряд гипотез сущности эффекта Ранка [1...8]. Однако ни одна из гипотез пока не признана теорией, отражающей сущность эффекта Ранка.

Основная задача данной работы — экспериментально и теоретически обосновать сущность эффекта Ранка.

Для составления физической модели процесса энергетического разделения газа в вихревой трубе необходимо знать траекторию его движения. С этой целью проведены эксперименты по определению компонентов скорости потока газа в различных сечениях вихревой трубы, а также визуализация потока. Анализ различных способов визуализации потока (с помощью источников света высокой интенсивности, теневых методов, подмешивания дыма к потоку, трассирующих частиц, голографии, спектроскопии, интерферометрии, лазерных методов измерения скорости и размеров частиц, подачи горячих частиц на вход в тангенциальное сопло вихревой трубы с фиксацией их движения с

помощью скоростной кинокамеры) позволил определить оптимальный метод для нахождения траектории движения потока газа в вихревой трубе. В качестве оптимального был принят метод подачи горячих частиц на вход в тангенциальное сопло вихревой трубы с фиксацией их движения с помощью скоростной кинокамеры [9].

Была изготовлена вихревая труба (ВТ) из прозрачного оргстекла. Основные размеры ВТ: диаметр соплового сечения — 34 мм; длина ВТ — 250 мм; диаметр диафрагмы — 17 мм; угол конусности камеры энергетического разделения — $3^{\circ}12'$; ширина входного тангенциального сопла — 11 мм; высота входного тангенциального сопла — 5,5 мм; дроссель подогретого потока — плоский из прозрачного оргстекла.

Чтобы кинокамера могла фиксировать траекторию движения горячих частиц, стенки камеры энергетического разделения и дроссель горячего потока вихревой трубы были выполнены из прозрачного оргстекла. В качестве горячих частиц использовались продукты горения — твердые смеси типа «бенгальский огонь». Кинокамера производила съемку с частотой 4000 кадров в секунду. Время экспозиции одного кадра составляло $\tau = 5 \cdot 10^{-5}$ с.

Съемка производилась в двух положениях кинокамеры:

1. Вдоль оси вихревой трубы (оси кинокамеры и вихревой трубы были совмещены, рис. 1);
2. Перпендикулярно вихревой трубе (рис. 2).

Скоростная киносъемка показала, что поток газа в вихревой трубе движется по винтовой линии. Шаг винтовой линии увеличивается по мере удаления потока газа от входного тангенциального сопла. Движение горячей частицы имело форму окружности при съемке вдоль оси вихревой трубы (рис. 1), при съемке перпендикулярно оси — форму синусоиды (рис. 2).

Скоростная киносъемка показала, что частицы, находящиеся ближе к оси вращения, движутся с большей угловой скоростью, чем частицы, находящиеся на большем расстоянии от оси. Так, например, частица I (рис. 1) за время $\tau = 5 \cdot 10^{-5}$ с сместилась на угол $\alpha = 130^{\circ}$, частица II — на $\alpha = 95^{\circ}$, частица III — на $\alpha = 80^{\circ}$, частица IV — на $\alpha = 32^{\circ}$, частица V на угол $\alpha = 30^{\circ}$. Характер изменения угловой скорости по радиусу вихревой трубы (рис. 3) позволяет сделать вывод, что в вязкой жидкости кинетическая энергия может передаваться от газа, вращающегося с большей угловой скоростью, газу, вращающемуся с меньшей угловой скоростью, т.е. от оси к периферии.

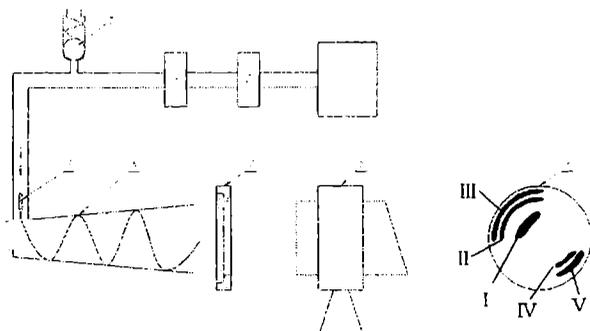


Рис. 1. Съемка движения горячих частиц при совмещении оси кинокамеры с осью вихревой трубы: 1 — компрессор, 2 — маслоотделитель, 3 — влагоотделитель, 4 — предохранительный клапан, 5 — горючая смесь типа «бенгальский огонь», 6 — прозрачная камера энергетического разделения, 7 — прозрачный дроссель, 8 — кинокамера, 9 — траектория частиц газа

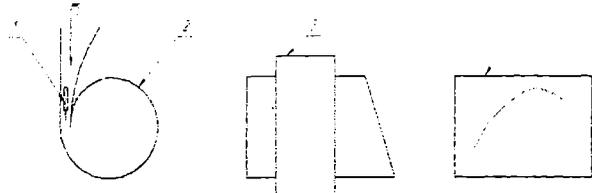


Рис. 2. Съемка движения горячих частиц при перпендикулярном расположении оси кинокамеры к оси вихревой трубы: 1 — горючая смесь типа «бенгальский огонь», 2 — прозрачная стенка камеры энергетического разделения, прозрачный дроссель, 3 — кинокамера, 4 — траектория частиц газа

Тарировка движения частиц в потоке производилась при истечении газа из дозвукового сопла со сверх критическим отношением давлений до и после сопла с фиксации его на пленку скоростной кинокамеры.

При наличии радиальной скорости круговой поток идеального сжимаемого и вязкого несжимаемого газа образует свободный вихрь [7]. Деформация профиля скорости может возникнуть только за счет сил вязкости, но не за счет сжимаемости и теплопроводности, поэтому можно заключить, что вязкий сжимаемый газ также должен образовывать в этих условиях течения свободный вихрь.

Полная температура по радиусу при адиабатичности стенок должна быть неизменной, т. к. при стационарном течении через любое кольцевое сечение произвольного радиуса и энергии соответствует их входным значениям.

После формирования свободного вихря радиальные скорости в нем становятся незначительными, и он начинает перемещаться вдоль оси трубы. Вихрь является устойчивым к силам внутреннего трения и не разрушается ими [1]. Действительно, считая градиенты радиальные и осевой составляющей скорости пренебрежимо малыми по сравнению с градиентом окружной составляющей выражений напряжений среза от сил трения, можно записать так:

$$\tau = \mu' \left(\frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r} \right), \quad (1)$$

где μ' — динамическая вязкость, V_φ — окружная скорость, r — радиус. Общеизвестно, что окружная скорость равна произведению угловой скорости на радиус

$$V_\varphi = \omega \times r \quad (2)$$

С учетом уравнения (2) выражение (1) преобразуется к виду

$$\tau = \mu' \times r \times \frac{\partial \omega}{\partial r} \quad (3)$$

Анализ рисунка 3 и уравнения (3) показывает, что поток с развитой турбулентностью при своем обратном осевом движении расширяется и передает свою избыточную энергию силами вязкости периферийным слоям газа. При подходе к диафрагме распределение окружной скорости в нем за счет сил вязкости близко к законам вращения твердого тела (или вынужденного вихря).

$$\frac{V_\varphi}{r} = \omega = const \quad (4)$$

Этот вихрь также устойчив к силам трения, так как для него $\frac{\partial V_\varphi}{\partial r} = \omega$ и согласно (3) $\tau = 0$, т. е. силы вязкости полностью проявили себя.

Кроме передачи кинетической энергии от вынужденного вихря к свободному происходит процесс теплообмена между ними.

Величина энергообмена между периферийными и осевыми слоями газа определяется из первого начала термодинамики — в тепловой и механической форме [11]:

$$q_{npr i-j} - i_{i-j} = i_{0j} = i_{0i}, \quad (5)$$

$$-i_{i-j} = 1_{npr i-j} + \int \frac{d\rho_0}{\rho_0} \quad \text{или} \quad i_{i-j} + 1_{npr i-j} = -\frac{n}{n-1} \frac{\rho_{0i}}{\rho_{0j}} \left[\left(\frac{\rho_{0j}}{\rho_{0i}} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (6)$$

К уравнениям (5) и (6) добавляются уравнения состояния

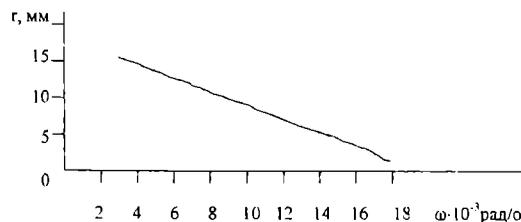


Рис.3. Изменение угловой скорости потока газа по радиусу вихревой трубы: съемка сечения на расстоянии $l=4 d_t$ от среза вихревого тангенциального сопла

$$\rho_i = \frac{\rho_i}{RT_i} \quad (7)$$

неразрывности (сплошности)

$$G_i = c_i F_i V_i \quad (8)$$

и теплового потока, идущего от периферийных слоев газа к осевым за счет разности термодинамических температур [7], —

$$Q = K_n F_c (T_2 - T_1) \quad (9)$$

Система уравнений (5)...(9) является основной для определения параметров газа на выходе из вихревой трубы. Из этой системы уравнений видно, что полное теплосодержание газа изменяется в том случае, если есть обмен работой и теплотой. Работа от оси периферии передается силами вязкости, в результате чего полная температура осевых слоев падает, а периферийных — растет. За счет разности термодинамических температур тепловой поток идет от периферии к оси, что приводит к снижению подогрева периферийных слоев и к снижению величин охлаждения осевых слоев.

Экспериментальные данные о закономерностях течения жидкости и газа в вихревых камерах различных устройств позволяют принять некоторые допущения при исследовании распределения скоростей и давлений в потоке. Одним из возможных является допущение о применимости системы уравнений движения Навье-Стокса к описанию течения жидкости в вихревой трубе с заменой кинематического коэффициента вязкости ν на турбулентный кинематический коэффициент вязкости μ_t [7].

После замены ν на μ_t уравнения установившегося осесимметричного течения жидкости в вихревой трубе запишутся в цилиндрической системе координат в виде

$$V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (10)$$

$$V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_\varphi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} \quad (11)$$

$$V_r \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} + \frac{V_r V_\varphi}{r} = \mu_t \left(\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r^2} \right) \quad (12)$$

$$\frac{\partial(rV_z)}{\partial z} + \frac{\partial(rV_r)}{\partial r} = 0 \quad (13)$$

Введена функция тока ψ такая, что

$$V_z = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \quad \text{и} \quad V_r = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

Тогда уравнение (12) преобразовывается к виду

$$\frac{\partial^2 V_\varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} \left(1 + \frac{\psi_z^1}{\mu_t} \right) - \frac{V_\varphi}{r^2} \left(1 - \frac{\psi_z^1}{\mu_t} \right) = 0, \quad (14)$$

где ψ_z^1 / μ_t аналогично числу Рейнольдса.

Из уравнения (14) видно, что окружная составляющая скорости зависит только от радиуса, если ψ_z / μ_T зависит от координаты z линейно. В соответствии с этим для получения автомодельного решения принято

$$V_z = \varphi(r)z, 0 \leq z \leq l_T \quad (15)$$

С другой стороны, при $z = l_T$ осевая скорость

$$V_z = \frac{G_1}{\pi r^2 \varepsilon \rho}, \quad (16)$$

где неизвестная пока величина $\varepsilon = 1 - \left(\frac{r_c}{r_T}\right)^2$,

где r_c — радиус соприкосновения периферийных и осевых слоев газа; r_T — радиус вихревой трубы.

Полагая $z = l_T$ из уравнений (15) и (16), получим

$$\varphi(r) = G_1 (\pi r^2 \varepsilon l_T \rho) \quad (17)$$

Окончательно закон распределения осевой скорости по длине вихревой трубы запишется так:

$$V_z = \frac{G_1 z}{\pi r^2 \varepsilon l_T \rho}. \quad (18)$$

Находим величину $\partial(rV_z)/\partial z$ в уравнении (13), куда подставляем V_z по формуле (18):

$$\partial(rV_z)/\partial z = \partial\left(r \frac{G_1 z}{\pi r^2 \varepsilon l_T \rho}\right) / \partial z = r G_1 / (\pi r^2 \varepsilon l_T \rho) \quad (19)$$

Второй член уравнения (13) имеет вид

$$\partial(rV_r)/\partial r = V_r + r \frac{\partial V_r}{\partial r} \quad (20)$$

Формулы (19) и (20) подставляются в уравнение неразрывности (13):

$$r G_1 / (\pi r^2 \varepsilon l_T \rho) + V_r + r V_r' = 0, \quad (21)$$

Уравнение (21) является линейным уравнением первого порядка, нормальная форма которого имеет вид

$$V_r' + P V_r = Q, \quad (22)$$

$$\text{где } P = \frac{1}{r}, \quad Q = -\frac{G_1}{\pi r^2 \varepsilon l_T \rho}$$

Уравнение (22) решается методом вариаций.

Решаем однородное уравнение

$$V_r' + P V_r = 0$$

Это уравнение с разделяющимися переменными

$$\frac{dV_r}{dr} = -P V_r, \quad \int \frac{dV_r}{V_r} = -\int P dr \quad \text{или} \quad \int \frac{dV_r}{V_r} = -\int \frac{dr}{r} =$$

$$\Rightarrow \ln V_r = -\ln r + \ln C,$$

откуда $V_r = \frac{C}{r}$ — решение однородного уравнения

$$V_r = \frac{C(r)}{r} \quad \text{— общее решение неоднородного уравнения} \quad (23)$$

$$V_r + \frac{V_r}{r} = Q \quad (24)$$

В (24) вместо V_r подставляется его решение по формуле (23)

$$V_r + \frac{C(r)}{r^2} = Q \quad (25)$$

$$V_r' = \frac{C'(r)}{r} - \frac{C(r)}{r^2} = \frac{C'(r) \cdot r - C(r)}{r^2} \quad (26)$$

Значение V_r по формуле (25) подставляется в уравнение (26)

$$\frac{C'(r) \cdot r - C(r)}{r^2} - \frac{C(r)}{r^2} = Q,$$

откуда $C'(r) \cdot r - C(r) + C(r) = Q r^2$ или $C'(r) = Q r^2$ (27)

$$C'(r) = \frac{dC(r)}{dr} \quad C(r) = \int Q r dr + C_0 = \frac{Q r^2}{2} + C_0 \quad (28)$$

Значение функции $C(r)$ в уравнении (23) заменяется по уравнению (28)

$$V_r = \frac{Q r^2 + 2C_0}{2r} \quad (29)$$

Постоянная интегрирования C_0 определяется из условия, что при $r = r_T$ $V_r = -G_1 / (2\pi r_T l_T \rho)$, т.е. в уравнении (29) подставляются значения V_r и Q :

$$-\frac{G_1}{2\pi r_T l_T \rho} = \left(-\frac{G_1 r_T^2}{\pi r_T^2 l_T \rho} + 2C_0 \right) \frac{1}{2r_T},$$

$$\text{откуда } C_0 = \frac{G_1}{2\pi l_T \rho} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \quad (30)$$

В уравнении (29) подставляются значения постоянных величин Q и C_0 по формулам (22) и (30):

$$\begin{aligned} V_r &= -\frac{G_1 r}{2\pi r^2 \varepsilon l_T \rho} + \frac{G_1}{2\pi l_T \rho} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} = \\ &= \frac{G_1}{2\pi l_T \rho \varepsilon} \left(\frac{1}{r} - \frac{r}{r^2} - \frac{\varepsilon}{r} \right) = \frac{G_1}{2\pi r_T l_T \rho \varepsilon} \left[\frac{r_T}{r} (1-\varepsilon) - \frac{r}{r_T} \right] = \\ &= \frac{G_1}{2\pi r_T l_T \rho \varepsilon} \left(\frac{1-\varepsilon}{r/r_T} - \frac{r}{r_T} \right) \\ \text{или } V_r &= \frac{G_1}{2\pi r_T l_T \rho \varepsilon} \left(\frac{1-\varepsilon}{r/r_T} - \frac{r}{r_T} \right) \quad (31) \end{aligned}$$

В уравнении (31) текущий радиус r может изменяться в пределах $0 \leq r \leq r_T$, т.е. от нуля на оси трубы до максимального значения r_T .

Если в формулу (31) вместо ε подставить ее значение $1 - (r_c/r_T)^2$, где r_c — радиус соприкосновения периферийного и осевого вихрей, то получим формулу для определения радиальной скорости газа в вихревой трубе в зависимости от геометрических размеров вихревой трубы и расположения частицы газа в ней:

$$V_r = G_1 (r_c^2 - r^2) / \{ 2\pi r_T^2 l_T \rho [1 - (r_c/r_T)^2] \} \quad (32)$$

Из уравнения (32) следует:

- если $r_c > r$, то $V_r > 0$,
- если $r_c < r$, то $V_r < 0$,
- если $r_c = r$, то $V_r = 0$.

Таким образом, если частица газа находится в осевых слоях, то ее радиальная скорость больше нуля и она движется от оси к периферии;

— если частица газа находится в периферийных слоях, то ее радиальная скорость меньше нуля и она движется от периферии к оси;

— если частица газа расположена на радиусе соприкосновения периферийного и осевого потоков газа, то ее радиальная скорость равна нулю.

Следовательно, через границу вихря ($r = r_c$) жидкость не течет, и поэтому расчет теплообмена между периферийными и осевыми слоями газа можно вести по формулам теплообмена при течении потока жидкости в трубах через стенку нулевой толщины.

Таблица 1

Исходные данные для расчёта	$T_{01} = 300\text{K}; G_1 = 0,05\text{кг/с}; \rho_{01} = 0,5\text{МПа}; \lambda_1 = 1,0; p_s = 0,1\text{МПа}; \mu = 0,3$			
Основные параметры	Расчёт А.П. Меркулова	Расчёт по методике авторов	Абсолютное расхождение	Относительное расхождение, %
$\Delta t_x, \text{K}$	52	51,5	0,5	0,96
$d_7, \text{мм}$	24,6	24,7	0,1	0,41
$d_9, \text{мм}$	11,0	10,6	0,4	3,65
$l_7, \text{мм}$	221	225	4	1,81
$b_1, \text{мм}$	9,6	9,9	0,3	3,12
$h_1, \text{мм}$	4,8	4,6	0,2	4,18

Перенос теплоты может осуществляться теплопроводностью, конвекцией и излучением (или радиацией) [11]. Эти формы теплообмена глубоко различны по своей природе и характеризуются различными законами.

Процесс переноса теплоты теплопроводностью происходит между непосредственно соприкасающимися телами или частицами тел с различной температурой. Теплопроводность представляет собой, согласно взглядам современной физики, молекулярный процесс передачи теплоты. При определении переноса теплоты теплопроводностью в реальных телах встречаются известные трудности, которые на практике до сих пор удовлетворительно не решены. Эти трудности состоят в том, что тепловые процессы развиваются в неоднородной среде, свойства которой зависят от температуры и изменяются по объему; кроме того, трудности возрастают с увеличением сложности конфигурации системы.

Конвекция происходит только в газах и жидкостях. Этот вид переноса теплоты осуществляется при перемещении и перемешивании всей массы неравномерно нагретых жидкости и газа. Конвекционный перенос теплоты происходит тем интенсивнее, чем больше скорости движения жидкости или газа, так как в этом случае за единицу времени перемещается большее количество частиц тела. В жидкостях и газах перенос теплоты конвекцией всегда сопровождается теплопроводностью, так как при этом осуществляется и непосредственный контакт частиц с различной температурой.

Одновременный перенос теплоты конвекцией и теплопроводностью называют конвективным теплообменом; он может быть вынужденным и свободным.

Процесс передачи теплоты излучением между двумя телами, разделенными полностью или частично пропускающей излучение средой, происходит в три стадии: превращение части внутренней энергии одного из тел в энергию электромагнитных волн, распространение электромагнитных волн в пространстве, поглощение энергии излучения другим телом.

Совокупность всех трех видов переноса теплоты называют сложным теплообменом.

Современные вихревые трубы работают с температурами рабочего тела такими, что не может возникнуть процесс превращения части внутренней энергии в энергию электромагнитных волн, следовательно, процесса передачи теплоты излучением

в вихревой трубе не может быть. Перенос теплоты конвекцией предполагает перемешивание всей массы неравномерно нагретого газа. Как показано выше, перемешивания периферийных и осевых слоев газа в вихревой трубе не происходит [7]. Следовательно, конвективный перенос теплоты в вихревой трубе отсутствует. Процесс переноса теплоты теплопроводностью предполагает непосредственное соприкосновение тел или частиц с различными температурами. В вихревой трубе периферийные и осевые слои газа имеют различную температуру и непосредственный контакт.

Таким образом, в вихревой трубе процесс переноса теплоты идет только теплопроводностью, и для этого случая справедлива формула (9).

Основные результаты работы

В результате проведенных экспериментальных и теоретических исследований была предложена уточненная физическая модель процесса энергетического разделения газа в вихревой трубе, основой которой является гипотеза о передаче избыточной энергии за счёт разности угловых скоростей от осевых слоёв газа к периферийным силам вязкости. На базе этой физической модели была составлена математическая модель, учитывающая обмен работой и теплом между осевыми и периферийными потоками газа.

Решение и анализ математической модели позволили создать методики расчёта оптимальных геометрических параметров вихревой трубы для получения наибольшей холодопроизводительности вихревой трубы и расчёта термогазодинамических параметров при известных геометрических размерах её.

Достоинством предлагаемой методики расчёта оптимальных геометрических параметров по сравнению с существующими является то, что расчёт по ней можно проводить в более широком диапазоне давлений, расходов и температур газа на входе в тангенсальное сопло. Результаты расчёта по предлагаемой методике примерно такие же, как и по другим методикам. Для сравнения в табл. 1 приведены конечные результаты расчёта по методике А.П. Меркулова [1] и автора.

Как видно из табл. 1, конечные результаты расчёта по предлагаемой методике и методике А.П. Меркулова [1] расходятся не более чем на 0,96% по температурной эффективности Δt_x вихревой трубы и не более чем на 4,18% — по её геометрическим размерам.

Экспериментальные и расчётные данные изменения (Δt_c в зависимости от весовой доли холодного потока μ)

Исходные данные	$p_{01} = 0,55 \text{ МПа}; T_{01} = 319 \text{ К}; p_3 = 0,1 \text{ МПа}; d_T = 38 \text{ мм}; d_s = 18 \text{ мм}; l_T = 400 \text{ мм}$			
μ	Экспериментальные данные В.М. Бродянского и А.В. Мартынова	Расчёт по методике авторов	$\delta (\Delta t_c), \text{ К}$	Относительная погрешность $\delta (\Delta t_c, \%)$
0,15	43,0	42,0	1,0	2,32
0,21	46,0	45,5	0,5	1,09
0,27	48,5	47,0	1,5	3,10
0,35	48,5	47,5	1,0	2,06
0,40	48,5	47,5	1,0	2,06
0,49	48,5	47,0	1,0	2,08
0,55	46,0	45,0	1,0	2,17
0,60	43,0	43,0	0,0	0,0
0,71	36,0	35,0	1,0	2,78
0,94	18,0	7,0	11,0	55,60

По методике расчёта оптимальных параметров рассчитываются геометрические размеры вихревой трубы для режима работы, наиболее часто применяемого в эксплуатации конкретной установки (рассчитывается одна рабочая точка характеристики, т.е. делается расчёт исходного режима). Однако любая машина может и должна работать не в одном режиме, а в нескольких, поэтому необходимо рассчитывать характеристики во всём диапазоне работы. При изменении положения регулирующих органов или параметров газа на входе в вихревую трубу будет изменяться её температурная эффективность и холодопроизводительность. Каким образом будет происходить это изменение – до сего времени определяли только экспериментальным путём.

В результате проведения настоящей работы появилась возможность рассчитать характеристики вихревых труб с помощью созданной методики расчёта термогазодинамических параметров по известным геометрическим размерам. У этой методики нет аналогов в мире. Расчёты по ней позволяют избежать проведения большого числа экспериментов по определению характеристик вихревых труб. Для оценки возможностей предлагаемой методики были проведены расчёты термогазодинамических параметров вихревых труб, испытанных В.М. Бродянским и А.В. Мартыновым. Результаты расчёта сведены в табл. 2. Видно, что расхождение расчётных и экспериментальных данных не превышает 3,1%.

Следовательно, методика расчёта термогазодинамических параметров по известным геометрическим размерам позволяет отказаться от проведения большого количества экспериментов при построении характеристик вихревых труб, что даёт большой экономический эффект.

В заключение можно отметить, что если для вихревой трубы искать аналог среди хорошо известных устройств, то её можно сравнить с эжектором, в котором все процессы идут наоборот. В эжекторе два газовых потока с различной энергией смешиваются в один поток со средней энергией, в вихревой трубе один газовый поток разделяется на два потока с различной энергией (полная температу-

ра одного потока выше полной температуры первоначального потока, другого – ниже). В эжекторе энергия передаётся от высокоэнергетического газа к низкоэнергетическому силами вязкости за счёт разности линейных скоростей, в вихревой трубе энергия передаётся от низкоэнергетического к высокоэнергетическому газу силами вязкости из-за наличия градиента угловых скоростей.

Таким образом, эффекту Ранка и устройству, работающему на его основе (вихревой трубе), можно дать такое определение: вихревая труба – антиэжектор, в котором температурное разделение (эффект Ранка) возникает за счёт градиента угловых скоростей осевого и периферийного потока газа.

Условные обозначения

- T – температура, К;
- p – давление, Па, Н/м²;
- ρ – плотность, кг/м³;
- R – газовая постоянная, Дж/(кг*К);
- F – площадь, м²;
- G – расход, кг/с;
- V – скорость, м/с;
- r – радиус, м;
- ω – угловая скорость, 1/с;
- L – удельная работа, Дж/кг;
- i – энтальпия, Дж/кг;
- n – показатель политропы;
- k – показатель адиабаты;
- Q – тепловой поток, кВт;
- K_{α} – коэффициент теплопередачи, Вт/м²К;
- τ – касательное напряжение, Н/м²;
- μ – динамическая вязкость.

Индексы

- i – начало процесса;
- j – окончание процесса;
- j – параметры заторможенного потока газа;
- g – параметры газа на текущем радиусе;
- z – изменение параметров по длине вихревой трубы;
- ϕ – изменение параметров газа по окружности на постоянном радиусе g ;
- tr – трение;
- t – труба.

Библиографический список

1. Баруков С. И., Кузнецов В. И. Вихревой эффект Ранка/ ИГУ, Иркутск, 1983, 121 с.
2. Кузнецов В. И. Теория и расчет эффекта Ранка: Науч. издание. — Омск: изд. ОмГТУ, 1994 — 217 с.
3. Мартынов А. В., Бродянский В. М. Что такое вихревая труба? М.: Энергия, 1976, 152 с.
4. Меркулов А. П. Вихревой эффект и его применение в технике. М.: Машиностроение. 1969. 184 с.
5. Д. Суслов, С. В. Иванов, А. В. Мурашкин, Ю. В. Чижиков. Вихревые аппараты М.: Машиностроение, 1985, 256 с.
6. Штым А. Н. Аэродинамика циклонно-вихревых камер. Владивосток: Изд. ДВУ, 1985, 200 с.
7. Щукин В. К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. М.: Машиностроение, 1980, 240 с.
8. Пирамишвили Ш. А. и др. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения/Ш.А. Пирамишвили, В.М. Пол, М. Н. Сергеев: Под. Ред. А. И. Леонтьева. — М.: Энергомаш. 2000 — 414 с.:ил.

9. Патент №-2117298.РОСПАТЕНТ Способ определения траектории вихревого движения газа/В. И. Кузнецов, Макаров В. В., Яковлев А. Б. // Открытия. Изобретения. 1998. Бюлл. №22.
10. Меркулов В. П. Вихревой эффект и его применение в технике. Изд. 2-е перераб. и доп. — Самара. Оптима. 1997. 292 с.: ил.
11. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1969, 824 с.

НЕСТЕРЕНКО Григорий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения».

ЩУКА Ирина Олеговна, инженер кафедры «Технология машиностроения».

Дата поступления статьи в редакцию: 01.03.06 г.
© Нестеренко Г.А., Щука И.О.

УДК 621.43

И. И. ШИРЛИН

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КАЛИЛЬНОГО ТЕЛА

Применение калильных тел в камере сгорания двигателя для снижения периода задержки воспламенения связано с некоторыми сложностями, одна из которых — определение оптимальных размеров рабочей части устройства.

На основе проведенных исследований установлено, что размер головки калильного тела можно определить на основе прочностного расчета конструкции устройства.

Экспериментальные исследования показали, что значительное увеличение размеров головки может также привести к снижению эффективных показателей вследствие нарушения смесеобразования.

Для снижения периода задержки воспламенения в рабочем процессе дизеля достаточно успешно можно применять жаропрочные вставки (калильные тела), расположенные в камере сгорания на днище поршня. При таком расположении данные устройства должны обладать определенной массой, чтобы обеспечить высокую эффективность их использования и сохранить конструктивную надежность двигателя. То есть масса калильного тела должна иметь некоторое оптимальное значение.

В свою очередь, масса калильного тела напрямую связана с размерами устройства. Следовательно, для определения оптимальной массы достаточно определить оптимальные размеры калильного тела, изготовленного из выбранного материала. Правильность выводов, сделанных на основе расчетов, можно оценить на основе проведенного эксперимента.

На современном этапе развития науки техники проблема экологической безопасности и повышения

мощности дизелей решается, в основном, применением электронных систем многофазного впрыска топлива с системами нейтрализации отработавших газов и применением наддува различных конструкций. Однако столь сложные и дорогостоящие устройства оправданы лишь на новых двигателях, в то время как в эксплуатации находится огромное количество двигателей устаревших конструкций, не отвечающих современным требованиям по эффективным и экологическим показателям.

Одним из способов повышения эксплуатационных показателей таких двигателей можно считать использование альтернативных и смесевых топлив. Использование альтернативных топлив позволяет существенно снизить выбросы вредных веществ с отработавшими газами при сохранении двигателем мощностных показателей. Тем не менее альтернативные, особенно спиртосодержащие, топлива обладают низким цетановым числом, что сопровождается увеличением периода задержки вос-

ОМСКИЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК № 9 (46) 2006

МЕХАНИКА, МАШИНОСТРОЕНИЕ

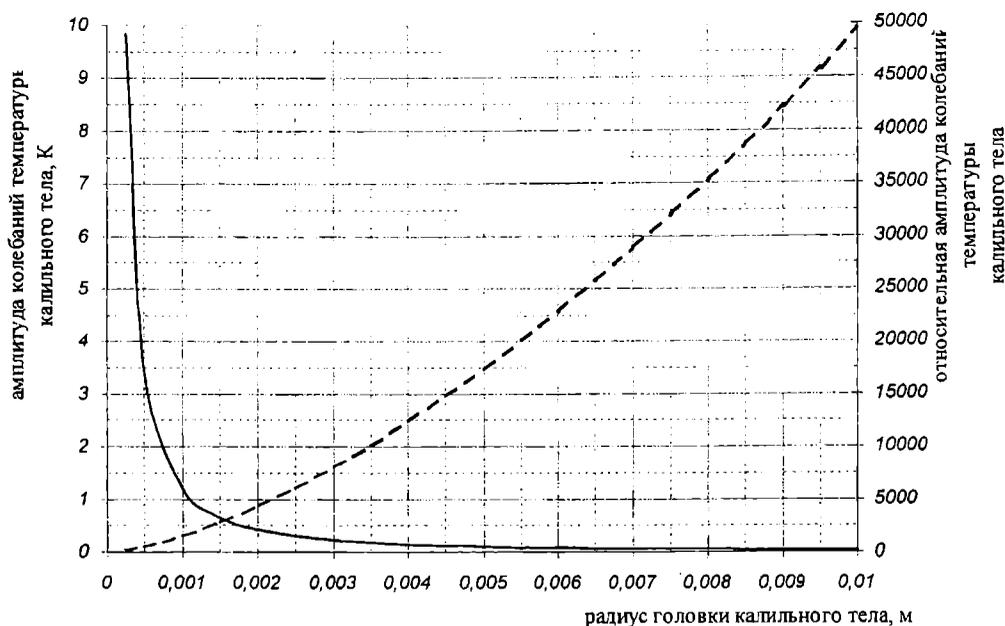


Рис. 1. Влияние размеров головки на амплитуду колебаний и относительную амплитуду колебаний температуры калильного тела

пламенения и, как следствие, повышением жесткости работы и снижением ресурса двигателя. Поэтому на практике стремятся снизить величину периода задержки воспламенения.

Как показали исследования, для этой цели достаточно эффективно можно использовать накалинные поверхности (калильные тела), расположенные в камерах сгорания в местах начала естественного воспламенения факела — на днище поршня [1].

Калильные тела как средство снижения периода задержки воспламенения должны обладать определенными теплопрочностными характеристиками, которые определяются, в основном, свойствами материала калильного тела и непосредственно связаны с его массой. В процессе работы двигателя калильное тело подвергается периодическому воздействию температуры среды, что вызывает ответные колебания температуры калильного тела.

Следовательно, при относительно малой массе амплитуда колебаний температуры тела будет значительной и температура калильного тела выйдет за границы допустимого интервала, что приведет к снижению эффективности использования устройства или его разрушению. Увеличение массы калильного тела должно привести к росту температурной инертности устройства и снизит амплитуду колебаний температуры. Однако с ростом массы значительно возрастают инерционные нагрузки на элемент крепления калильного тела, что, в свою очередь, приведет к обрыву калильного тела и выходу из строя двигателя в целом [2].

Таким образом, для успешного и эффективного использования калильных тел в камере сгорания дизельного двигателя необходимо так подобрать их массу, чтобы обеспечить выполнение обоих указанных условий, а вопрос определения оптимальной массы калильного тела представляет большой интерес как с теоретической, так и с практической точки зрения.

Масса калильного тела непосредственно связана с его размерами. Тогда задача определения оптимальной массы сводится к определению оптимальных размеров калильного тела, заданной кон-

струкции устройства, изготовленного из выбранного материала.

Исходя из условий работы и размещения, конструкция калильного тела должна состоять из двух основных частей: рабочей и крепежной.

Рабочая часть (назовем ее головкой) должна иметь обтекаемую форму, чтобы не создавать значительных турбулентных потоков в камере сгорания, которые могут неблагоприятно сказаться на процессе смесеобразования. Поэтому для головки лучше выбрать шарообразную форму. Крепежную часть калильного тела на данном этапе можно не рассматривать.

Для определения влияния размеров головки калильного тела поставим следующую задачу.

Пусть в камеру сгорания дизельного двигателя, работающего на установившемся режиме, помещено тело шарообразной формы радиуса R с заданными теплофизическими характеристиками, постоянными во времени. Температура шара в начальный момент времени $\tau = 0$ одинакова во всех направлениях и равна t . В процессе работы двигателя тело подвергается нагреванию или охлаждению в зависимости от положения коленчатого вала двигателя, одинаковому во всех направлениях, температурой t_f .

Для решения поставленной задачи воспользуемся общей теорией теплопроводности для тел правильной формы. В условиях двигателя температура среды и коэффициент теплоотдачи изменяются в течение цикла по сложному периодическому закону в зависимости от угла поворота коленчатого вала. Поэтому, чтобы несколько упростить расчеты, введем ряд допущений:

– температура среды меняется по закону простого гармонического колебания:

$$t_f = t_{f0} + \theta_m \cdot \cos\left(2\pi \frac{\tau}{\tau_0}\right), \quad (1)$$

где t_f — температура среды, К;
 t_{f0} — среднее за цикл значение температуры цикла, К;
 θ_m — амплитуда колебаний температуры на поверхности калильного тела, К;

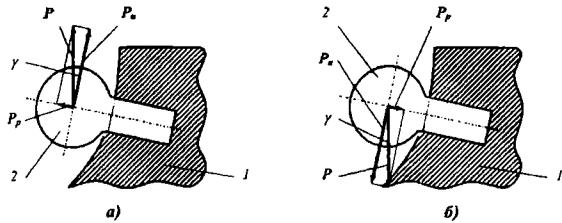


Рис. 2. Схема установки калильного тела в поршне двигателя и силы, действующие на него: а) в верхней мертвой точке; б) в нижней мертвой точке; 1 – поршень; 2 – калильное тело

$$\left(2\pi \frac{\tau}{\tau_0}\right) = \omega - \text{угловая частота колебаний температуры, рад/с;}$$

– коэффициент теплоотдачи остается постоянными во времени и равен некоторому среднему значению:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{2 \cdot R}, \quad (2)$$

где Nu – критерий Нуссельта;
 λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м·К).

В выражении (5) критерий Нуссельта определим по эмпирической формуле:

$$Nu = 0,42 \cdot Pr^{0,2} + 0,57 \cdot Pr^{0,33} \cdot Re^{0,5}, \quad (3)$$

где Pr – число Прандтля;

Re – число Рейнольдса.

Критерий Прандтля примем на основе справочных данных для условий среды камеры сгорания равным 0,678, а число Рейнольдса будем определять по формуле:

$$Re = \frac{2 \cdot R \cdot \omega}{\nu}, \quad (4)$$

где ω – скорость газа около калильного тела (примем равным 20 м/с), м/с;

ν – вязкость газа, м²/с.

Преобразуя формулу (1), получим следующее выражение для определения температуры головки калильного тела в любой момент времени [3]:

$$t = t_{f0} + \theta_m \frac{\cos\left(2\pi \frac{\tau}{\tau_0} - \psi\right)}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \psi}}, \quad (5)$$

где ψ – угол отставания температуры тела от температуры среды.

Угол отставания температуры тела будет определяться из выражения

$$\text{tg} \psi = \frac{2\pi}{\beta^* \cdot \tau_0}, \quad (6)$$

где β^* – коэффициент, равный:

$$\beta^* = \frac{n \cdot a \cdot Bi}{R^2}, \quad (7)$$

где n – коэффициент формы тела (для шара $n = 2$);
 a – коэффициент температуропроводности, м²/с;

Bi – критерий Био;

R – радиус головки калильного тела, м.

Выражение (5) показывает, что температура тела будет отставать по фазе от температуры среды на угол ψ , а амплитуда колебаний тела будет меньше амплитуды колебаний среды в $\sqrt{1 + \text{tg}^2 \psi}$ раз.

Таким образом, используя вышеприведенные формулы с учетом принятых допущений, можно достаточно просто определить влияние размеров головки калильного тела на амплитуду колебаний температуры. Результат расчета для нержавеющей стали представлен на графике (рис. 1).

Из рисунка видно, что при радиусе головки 0,00025 м амплитуда колебаний температуры не превышает 9,8 °К за цикл. При увеличении радиуса до 0,002 м наблюдается значительное снижение амплитуды колебаний до 0,5 °К за цикл. Дальнейшее увеличение радиуса головки калильного тела мало сказывается на изменении амплитуды колебаний температуры тела. Следовательно, можно сделать допущение, что при увеличении радиуса головки калильного тела с данными теплофизическими свойствами выше 0,002 м температура тела в любой момент рабочего цикла будет оставаться постоянной.

Таким образом, минимальный радиус головки калильного тела не будет лимитироваться амплитудой колебания температуры головки калильного тела.

Максимальный размер головки калильного тела определим на основе прочностного расчета конструкции. Для этого рассмотрим схему установки калильного тела в полусферической камере сгорания дизельного двигателя (рис. 2).

При установке калильного тела в камере сгорания его ось находится под некоторым углом γ к оси цилиндра. Тогда сила инерции, действующая на головку калильного тела, направлена вдоль оси цилиндра и будет вызывать два вида напряжений в ножке устройства: изгиб и растяжение (сжатие).

Величину напряжений будем определять по следующим зависимостям:

– для изгиба

$$\sigma_u = M / W, \quad (8)$$

где M – изгибающий момент, действующий на ножку калильного тела, Н·м;

$$M = P \cdot R \cdot \cos \gamma, \quad (9)$$

где R – радиус головки калильного тела, м;

W – момент сопротивления при изгибе, м³;

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad (10)$$

где d – диаметр ножки калильного тела, м³;

– для растяжения (сжатия)

$$\sigma_p = P_p / F, \quad (11)$$

где P_p – сила растяжения (сжатия), действующая на ножку калильного тела, Н;

$$P_p = P \cdot \sin \gamma, \quad (12)$$

где P – сила инерции, воздействующая на головку калильного тела, Н;

γ – угол между осью цилиндра и нормалью к оси калильного тела, град;

F – площадь сечения ножки калильного тела, м².

Так как конструктивно калильное тело – это сочетание шарообразной головки и цилиндрической ножки, то при определении нагрузок в ножке калильного тела необходимо учитывать коэффициент концентрации напряжений α_σ . Величина этого коэффициента колеблется в пределах $\alpha_\sigma = 2 \div 2,5$.

Величину силы инерции будем определять по формуле:

$$P = m_{\text{км}} \cdot j_n = \rho \cdot V_{\text{км}} \cdot j_n = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \cdot \rho \cdot j_n, \quad (13)$$

где $m_{км}$ — масса головки калильного тела, кг;
 j_n — ускорение (замедление) поршня, м/с;
 ρ — плотность материала калильного тела, кг/м³;
 $V_{км}$ — объем головки калильного тела, м³.

Тогда после всех преобразований и с учетом (13) выражения (8) и (11) примут вид:

$$\sigma_n = 42,667 \cdot \alpha_\sigma \cdot \frac{R^3 \cdot j_n \cdot \rho \cdot \cos \gamma}{d^3} \quad (14)$$

и

$$\sigma_p = 5,333 \cdot \alpha_\sigma \cdot \frac{R^3 \cdot j_n \cdot \rho \cdot \sin \gamma}{d^2} \quad (15)$$

Полученные выражения позволяют определить влияние различных параметров калильного тела на величину напряжений в ножке. Отсюда, учитывая предел выносливости выбранного материала калильного тела при заданной температуре, можно определить допустимый радиус головки калильного тела.

Для проверки результатов расчетов использовалась экспериментальная установка на базе двигателя Д 21 А1 (2Ч 10,5/12, $n = 1800$ об/мин, $\varepsilon = 16,5$), в камеры сгорания которого устанавливались калильные тела различных размеров [4].

Целью эксперимента являлась оценка влияния калильных тел с головками различных размеров на экономические и мощностные показатели работы двигателя. Размеры калильных тел варьировались в пределах от 0,006 до 0,012 м в диаметре с шагом 0,003 м. Для сравнения брались данные испытаний того же двигателя со стандартной камерой сгорания.

Эксперимент показал:

- жёсткость работы с увеличением радиуса головки снижалась;
- наилучшие эффективные показатели работы двигателя наблюдались с калильным телом, радиус головки которого 0,0045 м;
- при увеличении радиуса головки калильного тела до 0,006 м незначительно увеличился расход топлива, и несколько снизилась мощность.

Приведенные расчеты и результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

1) применение калильных тел в камере сгорания дизеля целесообразно, поскольку позволяет снизить жесткость его работы на всех режимах не ухудшая экономических показателей;

2) при использовании данных устройств необходимо учитывать их размеры, с целью получения наибольшего эффекта;

3) экспериментально установлено, что значительное увеличение размеров головки калильного тела вызывает изменение характера турбулентных потоков и, как следствие, нарушение процесса смесеобразования.

Библиографический список

1. Шевченко П.А., Ширлин И.И. Калильные тела и цетановое число топлива для дизельного двигателя / П.А. Шевченко, И.И. Ширлин // Автомобильная промышленность. — 2004. — №4. — С.13-14.
2. Ширлин И.И. О возможности совершенствования камеры сгорания дизеля с целью сокращения периода задержки воспламенения / И.И. Ширлин // Вест. СибАДИ. 2004. — Вып. 1. — С.85-87.
3. Луканин В.Н. Теплотехника / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер, С.Г. Нечаев; Под ред. В.Н. Луканина. — М.: Высшая школа, 2000. — 671 с.
4. Ширлин И.И., Шаптала А.А. Влияние размеров калильного тела на параметры рабочего процесса дизельного двигателя / И.И. Ширлин, А.А. Шаптала // Дорожно-строительный комплекс как основа рационального природопользования: материалы Междунаучно-техн.конф. 23-25 ноября 2004. — Омск, 2004. — С.26-29.

ШИРЛИН Иван Иванович, инженер кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели» СибАДИ.

Дата поступления статьи в редакцию: 05.11.06 г.
 © Ширлин И.И.

Календарь научных мероприятий

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА XIV международная научно-техническая конференция 17-22 сентября 2007 г., Севастополь

В период работы конференции будет проведен VIII съезд Международного союза машиностроителей (МСМ). Желающие участвовать в работе МСМ и представлять его в своих странах и регионах могут вступить здесь в члены МСМ. В рамках конференции можно проводить рекламу и презентации фирм.

Рабочие языки конференции — украинский, русский, английский, немецкий и французский.

Необходимо до 20 мая 2007 года выслать обязательно по обычной почте и дополнительно по электронной:

- заявку-договор на участие;
- подтверждения об оплатах (копии п/п или квитанции);
- материалы статьи или текст рекламы в двух экземплярах;
- акт экспертизы (один экземпляр);
- дискету 3,5 дюйма (CD диск) с записью материалов.

АДРЕС ОРГКОМИТЕТА: Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58, ДонНТУ, кафедра "Технология машиностроения", Оргкомитет конференции. Тел/факс: (+ 38 062) 305-01-04, (+ 38 062) 301-08-05; Моб. тел.: (+ 38 050) 620-23-96. E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

<http://www.dgtu.donetsk.ua>, <http://donntu.edu.ua/russian/konf/mashinebuild/index.htm>

ПОСТРОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТОЧНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ ИЗДЕЛИЙ С МНОГОГРАННОЙ НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Описаны принципиальные схемы переходов штамповки разнообразных по форме изделий с многогранной наружной поверхностью, обеспечивающие высокое качество формы и механических свойств металла, возможность автоматизации производства.

Детали с многогранной наружной поверхностью, которые возможно получать холодной объемной штамповкой, представлены на рис. 1. С учетом конфигурации и технологических признаков их можно разделить на четыре подгруппы.

К первой подгруппе (рис. 1, I) относятся «гладкие» полые детали со сквозной или глухой полостью, а также детали, имеющие отростки внутри или снаружи.

Ко второй группе относятся детали с фланцами (рис. 1, II а, б, в, г) и детали корпусные (рис. 1, II д).

Детали, у которых многогранная поверхность плавно переходит в цилиндрическую поверхность меньшего или большего диаметра, составляют третью группу (рис. 1, III).

К четвертой группе относятся детали, у которых многогранные наружные поверхности переходят в сферические или конические поверхности: гайки колесные, гайки накидные с коническим хвостовиком, гайки с коническим торцом и др. (рис. 1, IV).

Необходимым условием качества перечисленных деталей является четкое оформление ребер многогранной призмы по всей ее высоте. Форма же детали предопределяет выбор технологических приемов получения изделия в целом и отдельных его элементов.

Подбором параметров заготовок и инструмента можно не только обеспечить четкое оформление ребер изделий с гладкими многогранными поверхностями, но и создать условия для штамповки фасонных изделий, у которых многогранник сочетается со сферой, конусом, сплошным или полым отростком и т.д. Особенности холодной штамповки изделий некоторых типов рассмотрены в работах [1, 2, 3].

Для деталей, показанных на рис. 1, I (а, б, в), основной подготовительной операцией является высадка фасонной заготовки с одним или двумя усеченными конусами, аккумулирующими металл для заполнения углов многогранника. Углы наклона образующих и диаметры меньших оснований конусов выбираются по диаграммам заполняемости многогранных матриц [4]. Высадка заготовок может выполняться и по схеме поперечного выдавливания. Затем производится выдавливание полости при одновременном заполнении углов многогранника. Если необходимо, то после выдавливания вводятся операции подрезки или подчеканки торца. Они бывают необходимы для выравнивания торца и, кроме того, для ликвидации впадин со стороны полости под резьбу, которые появляются напротив углов многогранника. Наличие таких впадин услож-

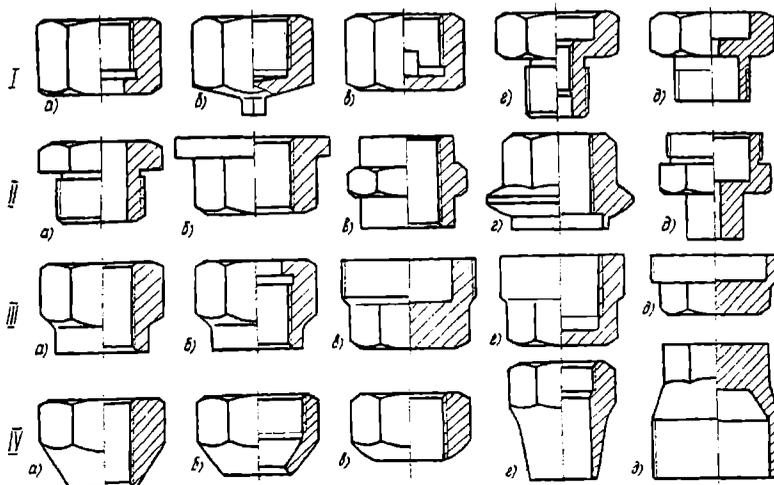


Рис. 1. Детали с многогранными элементами

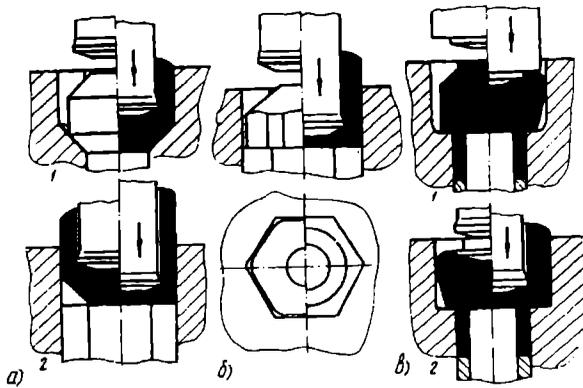


Рис. 2. Принципиальные схемы штамповки полых изделий с многогранной наружной поверхностью

няет нарезание резьбы или приводит к тому, что первая нитка резьбы получается прерывистой. Это затрудняет сборку гаек с другими деталями узлов машин [5].

Одновременно с выдавливанием полости можно получить внешний отросток (рис.1, I б) и уклон дна полости. Такое совмещение операций ведет к некоторому снижению удельных деформирующих сил. Образование внутреннего отростка (рис.1, I в) связано с применением полого пуансона, что приводит к торможению металла и увеличению деформирующей силы на 10-20% [6]. Целесообразно внутренний отросток получать дополнительной операцией после выдавливания полости либо производить доработку резанием. Если внутренний отросток имеет сравнительно большую длину и изгибление его резанием связано со значительным расходом металла, то внутренняя полость пуансона конструируется аналогично матрице для прямого выдавливания. Интенсивность течения металла во внутреннюю полость пуансона регулируется углом наклона образующей заходной части и длиной калибрующего пояска.

При изготовлении высоких изделий с целью улучшения оформления ребер многогранника можно использовать заготовки с двумя усеченными конусами. В этом случае сначала производится выдавливание верхней части изделия (рис. 2, а₁), а затем нижней (рис. 2, а₂).

Когда по диаграмме заполняемости устанавливается, что заполнить углы многогранника при заданном отношении размера «под ключ» S к диаметру полости dn , т.е. S/dn , невозможно, то можно использовать исходную заготовку в виде недооформленного многогранника с усеченным конусом сверху (сверху и снизу) (рис. 2, б). В этом случае для принятого угла наклона образующей конуса к горизонтали α и заданного S/dn определяются по «диаграммам незаполнений» продольные и поперечные незаполнения [2], а по ним — незаполненный объем V_n (отношением S/d задается). Диаметр описанной вокруг недооформленного многогранника окружности выбирается таким, чтобы между заготовкой и матрицей оставался подлежащий заполнению объем V_n , равный или меньший V_n . На практике иногда используются заготовки в виде многогранной призмы с усеченным конусом сверху [9].

Заготовок подобной формы можно использовать и в тех случаях, когда необходимо уменьшить угол наклона образующих усеченного конуса.

Если фасонную заготовку с конусом (двумя) или полуфабрикат с таким же элементом осадить в

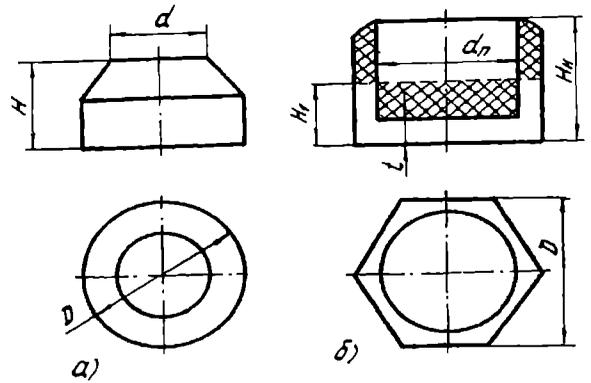


Рис. 3. Цилиндроконическая заготовка (а) и схема к определению ее размеров (б)

многогранной матрице при одновременном формировании наметки, то при последующем обратном выдавливании формируется изделие с торцами, не требующими доработки.

Размеры H , h , d фасонной заготовки до ее подсадки определяются из условия постоянства объема, а угол наклона образующих конуса принимается равным от 30° до 60° . Из схемы (рис. 3) видно, что

$$f(H_1 - t) = (F_M - f)(H_n - H_1),$$

где H_1 — высота детали, приведенной к сплошной многогранной призме;

F_M — площадь поперечного сечения многогранной матрицы;

f — площадь поперечного сечения полости.

Тогда получим

$$H_1 = \frac{F_M - f}{F_M} H_n + \frac{f}{F_M} t.$$

Если принять высоту цилиндрической части исходной заготовки равной H_1 , то разность объемов сплошной многогранной призмы и цилиндра диаметром dn равна требуемому для заполнения углов объему и должна пойти в усеченный конус:

$$\Delta V = (F_M - F)H_1 = \left(\frac{C}{\pi} - 1\right)FH_1$$

Этот объем располагается в усеченном конусе и точно равен объему углов. Значит, при максимальном заполнении углов пуансон полностью закроет полость матрицы; процесс штамповки становится закрытым. Во избежание поломки инструмента, а также для образования верхней фаски следует несколько увеличить объем металла в конусе за счет уменьшения H_1 . Пусть фаска имеет вертикальный

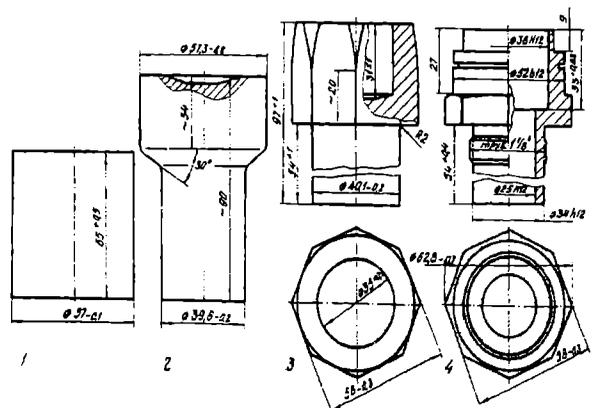


Рис. 4. Технология изготовления детали «корпус»

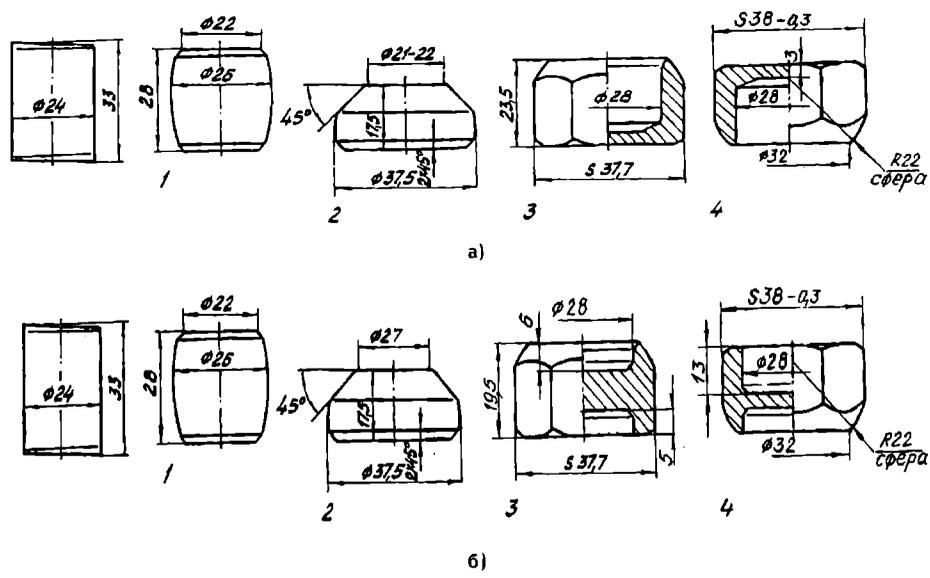


Рис. 5. Переходы штамповки гайки колесной: 1 – осадка заготовки; 2 – высадка цилиндрической заготовки; 3 – выдавливание с оформлением ребер; 4 – доштамповка с калибровкой сферы

размер V . Тогда $\Delta V = \left[\left(\frac{C}{\pi} - 1 \right) H_1 \right] F$. Из равенства объема ΔV и объема усеченного конуса определяем H, h, d :

$$d = \sqrt{S \left(1 - \frac{6 \left(\left(\frac{C}{\pi} - 1 \right) H_1 + V \right) \operatorname{ctg} \alpha}{S} \right)}, \quad h = \frac{S - d}{2 \operatorname{ctg} \alpha}, \quad H = (H_1 - V) + h.$$

При разработке технологических процессов штамповки деталей типа Iг и Iд (рис. 1) следует исходить из того, что верхняя часть изделий формируется так же, как и изделия Ia, Ib, Iv. Но перед обратным выдавливанием должны быть выполнены подготовительные операции: выдавливание сплошного или полого стержней, высадка цилиндрической головки.

Детали группы II штампуются с использованием операций выдавливания и высадки. Например, деталь IIa может формироваться так же, как и детали Iг и Iд, или выдавливаться из трубной заготовки с многогранной наружной поверхностью. Детали типа IIб можно получать прямым выдавливанием из трубной заготовки или высадкой из многогранной трубной заготовки.

Технологии штамповки деталей Iг и Iд могут значительно отличаться при изменении соотношений продольных и поперечных размеров.

На рис. 4 представлены технологические переходы штамповки детали «корпус» (типа IIд) из стали 20. Так как верхняя часть детали имеет диаметр меньше размера «под ключ» многогранника, то ее целесообразно выточить из недозаполненного в верхней части многогранника. В этом случае нет необходимости формировать перед обратным выдавливанием фасонную цилиндрическую головку. Стержень получен прямым выдавливанием на первом переходе.

Детали IV группы штампуются следующим образом.

Если детали (рис. 1, IV в) имеют несквозную полость глубиной, равной или меньше высоты

многогранника, то штамповка их не представляет трудностей и осуществляется аналогично штамповке деталей группы I. Если же глубина полости больше высоты многогранника, то при обратном выдавливании с момента, когда рабочая поверхность пуансона пройдет плоскость раздела многогранника со сферой (конусом), процесс заполнения полости матрицы нарушается. Зона интенсивной деформации смещается в область сферы, по поверхности которой происходит интенсивное скольжение, особенно по углам многогранника. Форма нижней части поковки искажается, а углы многогранника со стороны сферы оказываются незаполненными. При наличии пояска на пуансоне верхняя часть поковки зажимает тело пуансона и остается на нем; сила съема изделия с пуансона возрастает в 2-3 раза. Для того чтобы воспрепятствовать интенсивному скольжению, очаг деформации необходимо вывести из области сферы, что может быть достигнуто установкой нижнего контрпуансона. Тогда сфера (конус) формируется в процессе комбинированного выдавливания. Это, однако, дает эффект тогда, когда диаметр нижней полости меньше верхней или высота сферической части невелика. При отсутствии этих условий требуется дополнительный подпор со стороны верхнего пуансона; конструкция последнего усложняется [10]. Формовка конуса или сферы на одном из торцов изделия может быть выполнена по схеме прямого выдавливания [11].

Упрощение конструкции пуансона и снижение удельной деформирующей силы достигаются при

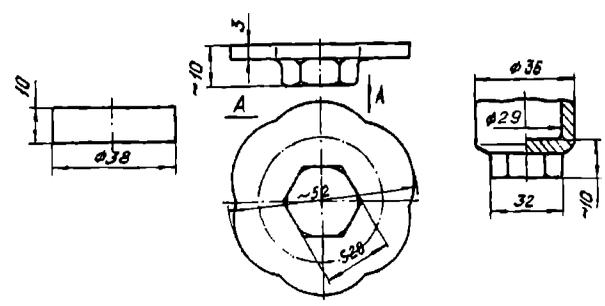


Рис. 6. Переходы штамповки гайки из плоской заготовки

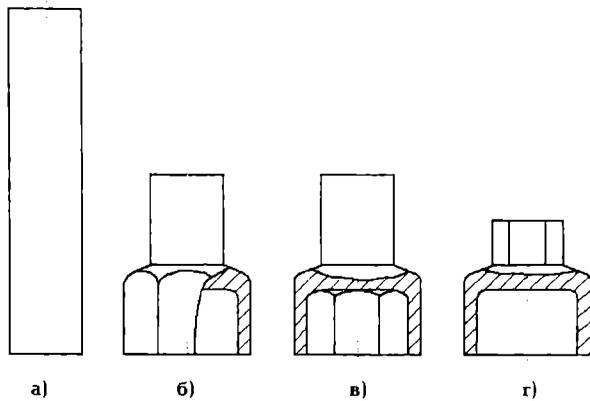


Рис. 7. Изделия типа Иг, Ид, Пд (б, в) и Шд (г), которые возможно получить поперечно-прямым выдавливанием из цилиндрической заготовки (а)

разделении формообразования многогранника и сферы на две операции: получение полого многогранника из цилиндрической заготовки с увеличенным (до 50-55°) углом наклона образующих конуса; полузакрытая калибровка сферы. Такой принцип построения технологии использован при выдавливании гайки колесной заднего колеса автомобиля [1, 7] (рис. 5а). Расчленение процесса формоизменения снижает удельные деформирующие силы до 1700-1900 МПа при выдавливании полого многогранника. Но у технологии есть недостаток: трудно стаскивать деталь с контрпуансона. Поэтому по другому варианту (рис. 5б) на третьем переходе выдавливание полости производится по комбинированной схеме, причем пуансон внедряется до уровня перехода «сферы» в многогранник.

Штуцера и подобные им изделия (рис. 1, IV г) штампуются по схеме: высадка цилиндра с конусом или стержня с цилиндрической головкой; комбинированное выдавливание (обратное – полого многогранника, прямое – стержня) или обратное выдавливание полого многогранника.

Изделия (рис. 1, IV д) целесообразно выдавливать прямым выдавливанием с раздачей из цилиндрической или многогранной заготовки.

Изделия III группы имеют многогранник, плавно переходящий в цилиндр. Наличие плавного перехода позволяет использовать при штамповке изделий-

типа IIIв способы комбинированного выдавливания при условии, что либо наружный размер многогранника незначительно меньше цилиндра, либо диаметр полости превышает размер «под ключ» многогранника. Для низких изделий с относительно тонкой стенкой полый части (рис. 1, Шд) рациональным способом штамповки является контурная осадка плоской заготовки на матрице с многогранным отверстием с последующей вытяжкой. Переходы штамповки такого изделия показаны на рис. 6. Степень деформации фланца полуфабриката, при которой не образуются дефекты в виде прогиба центральной части или выпуклости ее торца, определяется по графикам зависимости степени высотной деформации фланца от отношения поперечного размера заготовки к наибольшему поперечному размеру отверстия матрицы [8]. Перед вытяжкой рекомендуется проводить термообработку для повышения пластических свойств металла.

Перспективно использовать процесс поперечно-прямого выдавливания (ППВ) для изготовления изделий некоторых типов (рис. 7). В этом случае толщина дна полый части не должна быть больше 0,6-0,8 толщины стенки [8]. Одним из ограничений для использования ППВ с развитым радиальным течением материала в щель постоянной высоты является деформационная неустойчивость процесса на стадии поперечного выдавливания. Поэтому для увеличения ресурса пластичности металла инструмент (матрица, контрпуансон) конструируется так, чтобы течение осуществлялось в суживающийся зазор (рис. 8). Обобщенные показатели напряженно-деформированного состояния металла на кромке «фланца» определяются вдоль опасных траекторий, которыми могут являться конические поверхности матрицы и контрпуансона. Оценка ресурса пластичности материала делается на основе методики [9] с использованием систем автоматизации математических расчетов [8].

При отработке процесса комбинированного выдавливания специальной гайки (рис. 9) из алюминиевого сплава Д16 обнаружилось кроме образования скалывающихся трещин между кромками пуансона и матрицы незаполнение углов шестигранника и появление кольцевых трещин по граням шестигранника, увеличивающихся в средней части граней. Последнее вызвано разностью скоростей истечения металла в углах и по плоскостям граней.

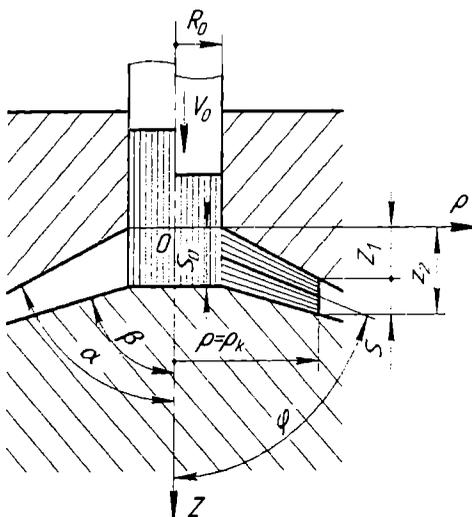


Рис. 8. Схема для оценки ресурса пластичности

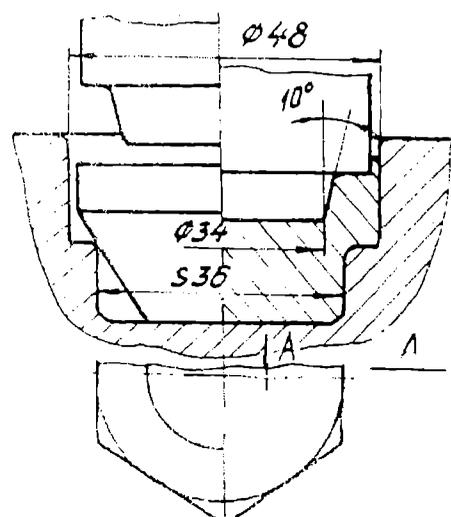


Рис. 9. Технология штамповки специальной гайки

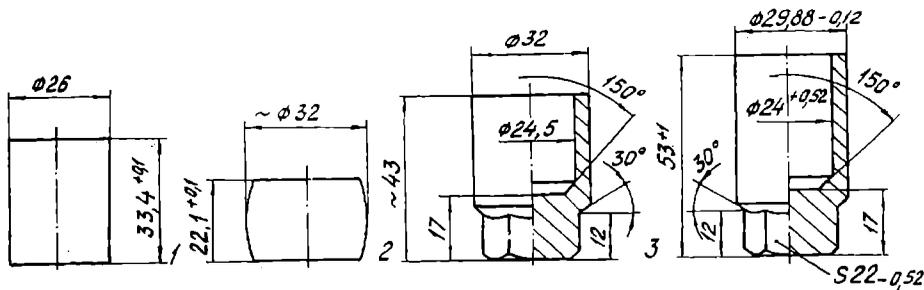


Рис. 10. Переходы выдавливания крышки гидросистемы

Дефекты удалось устранить при использовании цилиндрикоконической заготовки. Заготовка загружается в матрицу конусной частью. В этом случае заполнение шестигранного хвостовика происходит как за счет прямого выдавливания, так и за счет осадки нижней части усеченного конуса.

Дефекты, описанные выше, не наблюдались при штамповке поковки детали «крышка» из стали 20, так как при комбинированном выдавливании на первом переходе происходит преимущественное истечение металла в хвостовик. Переходы штамповки представлены на рис. 10: 1 – осадка заготовки; 2 – выдавливание комбинированное; 3 – вытяжка с утонением стенки.

Таким образом, выбор схемы формирования изделий с многогранной поверхностью зависит от его конфигурации и соотношения размеров.

Библиографический список

1. Евстифеев В.В. Расчет и проектирование технологических процессов штамповки гаек // Объемная штамповка. М.: МДНТП, 1967. С. 167-168.
2. Головин В.А. и др. Производство полуфабрикатов и изделий холодным выдавливанием / В.А. Головин, А.А. Митькин, В.В. Евстифеев, В.Н. Попов / М.: НИИТАвтопром, 1968. 66 с.
3. Евстифеев В.В. Исследование кинематики течения металла и силового режима при холодной штамповке полых многогранных деталей: Дис... канд. техн. наук. М.: МАМИ, 1969.
4. Евстифеев В.В. Научное обоснование, обобщение и разработка прогрессивных технологий холодной объемной штамповки: Дис. д-ра техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. 482 с.

5. Волков И.С., Еленев С.А. Холодная объемная штамповка накатных гаек // Кузнечно-штамповочное производство, 1974, №10. С. 13-15.

6. Прозоров Л.В. Холодное выдавливание тонкостенных стаканов / Новые исследования в области кузнечной технологии. М.: ЦНИИТМАШ, 1950. Кн.32. С. 111-148.

7. Ковка и штамповка: Справочник в 4-х т./Ред. совет Е.И. Семенов (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1987. т. 3 Холодная объемная штамповка // Под ред. Г.А. Навроцкого, 1987. 384 с.

8. Александров А.А. Холодное поперечно-прямое выдавливание стакана с коническим дном: Дис... канд. техн. наук. Новокузнецк: СибГИУ, 2005. 171 с.

9. Евстифеев В.В. Устойчивость деформирования в процессах выдавливания изделий с коническими поверхностями // Омский научный вестник, 1998. Вып. 2. С. 123-126.

ЕВСТИФЕЕВ Владислав Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и технологии обработки металлов давлением» ОмГТУ.

АЛЕКСАНДРОВ Александр Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Машины и технологии обработки металлов давлением» ОмГТУ.

ЛЕКСУТОВ Илья Сергеевич, аспирант кафедры «Машины и технологии обработки металлов давлением» ОмГТУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 17.11.06 г.
© Евстифеев В.В., Александров А.А., Лексутов И.С.

Информация

ЦЕЛЕВАЯ ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ОМСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Негосударственное образовательное учреждение «Институт радиоэлектроники, сервиса и диагностики» (ИРСИД) учреждено в г. Омске в 2004 году с целью подготовки высококвалифицированных специалистов для предприятий радиоэлектронной промышленности. В 2005 году ОАО «ОмПО «Радиозавод им. А.С. Попова» и НОУ ИРСИД подписали договор о целевой подготовке специалистов для омского радиозавода. В текущем году свыше сорока руководителей среднего звена проходят обучение по программе «Управление производственным участком». В программе экономика производства, менеджмент качества, трудовое право и психология. По итогам участия в программе обучения слушатели приобретут вместе с дополнительными знаниями и специальные удостоверения.

«Программа повышения уровня квалификации позволяет решать задачи не только в интересах предприятия — повышение качества продукции, но и в интересах работника — рост заработной платы, повышение качества жизни», — отмечает начальник отдела кадров Галина Дрозденко.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОНТУРА ГИДРОПРИВОДА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

В статье приводятся результаты исследований гидроприводов с аксиально-поршневыми гидромоторами, применяемых в приводах автотранспортных машин, приведены их анализ и рекомендации по выбору параметров гидропривода, обеспечивающих устойчивость режимов их работы.

Введение. Создание автомобилей повышенной проходимости в условиях бездорожья является весьма актуальным [1]. Использование традиционного механического привода в трансмиссии с технической точки зрения является малоэффективным. В качестве альтернативы в настоящее время все чаще рассматривается объемный гидравлический привод, который обладает известными преимуществами [2].

Основная часть. Для аналитического исследования гидравлического привода автотранспортных машин, в частности, его исполнительного контура, включающего гидродвигатель аксиально-поршневого типа, следует выбрать оптимальную математическую модель, которая достаточно полно описывает физические процессы, происходящие в этом контуре, и в то же время является вполне обзоримой и поддается анализу апробированными методами [3].

Принципиальная гидравлическая схема контура изображена на рис. 1, где 1 – напорный трубопровод, 2 – реверсивный гидродвигатель аксиально-поршневого типа, 3 – сливной трубопровод, 4 – устройство, регулирующее слив.

В экспериментальной установке была возможность использовать нагнетательные трубопроводы длиной от 1,0 до 15 метров, т.е. в зависимости от длины этот трубопровод необходимо было рассматривать либо как линию с распределенной упругостью, либо как сосредоточенный объем. В контуре рассматриваемого типа при аналитическом исследовании устойчивости необходимо учитывать трение в гидромоторе. Наиболее полной является характеристика трения в гидромоторе, учитывающая зависимость момента трения от суммарного давления в полостях гидромотора, угловой скорости и координаты ротора, а также времени неподвижного контакта ротора с распределителем.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно записать следующие уравнения испол-

нительного контура привода с учетом указанных факторов:

$$Q_1 - \sigma_1 p_1 - k_1 D p_1 - q \Omega = 0; \quad (1)$$

$$q \Omega_1 - \sigma_2 p_2 - k_2 D p_2 - Q_2 = 0; \quad (2)$$

$$q(p_1 - p_2) - J D \Omega - M_{тр}(\varphi, \Omega, \tau, p_1, p_2) = 0, \quad (3)$$

где Q_1, Q_2 – расход в нагнетательной и сливной магистралях соответственно; p_1, p_2 – давление в нагнетательной и сливной магистралях соответственно; σ_1, σ_2 ; k_1, k_2 – коэффициенты утечек и податливости в нагнетательной и сливной магистралях соответственно; φ, Ω – угол поворота и угловая скорость вала гидромотора соответственно; q – характерный объем гидромотора; J – приведенный момент инерции ротора гидромотора и нагрузки.

Аналитическое исследование данной системы уравнений не представляется возможным, поэтому целесообразно рассмотреть конкретные режимы работы привода и сочетания его параметров, когда возможны допущения, упрощающие в той или иной степени исходную систему (1), (2), (3) уравнений рассматриваемого привода.

При значительных угловых скоростях вращения вала гидромотора, что соответствует первому режиму движения в экспериментальном стенде, когда влияние вязкого трения значительно, угловое положение ротора практически не изменяет момента трения по мере вращения, а при реверсах, что имеет место при торможении путем мгновенного перекрытия сливной магистрали, остановок не происходит, целесообразно воспользоваться упрощенной моделью, выражаемой уравнениями:

$$Q_1 - \sigma_1 p_1 - k_1 D p_1 - q \Omega = 0; \quad (4)$$

$$q \Omega_1 - \sigma_2 p_2 - k_2 D p_2 = 0; \quad (5)$$

$$q(p_1 - p_2) - \varepsilon(p_1 + p_2) - (\varepsilon - k_f) \Omega - J D \Omega = 0. \quad (6)$$

Анализ возможного автоколебательного процесса с реверсированием гидромотора необходимо проводить с учетом изменения направления действия момента трения в зависимости от направления вращения. Это можно учесть с помощью характеристики $\varepsilon(\Omega)$, показанной на рис. 2. При гармонической

линеаризации функция $\varepsilon(\Omega) = \varepsilon(A_\Omega) = \Omega \frac{4\varepsilon_0}{\pi A_\Omega}$.

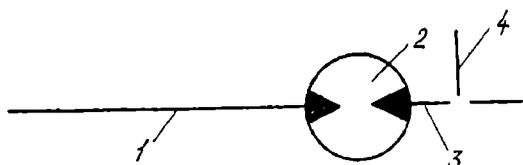


Рис. 1.

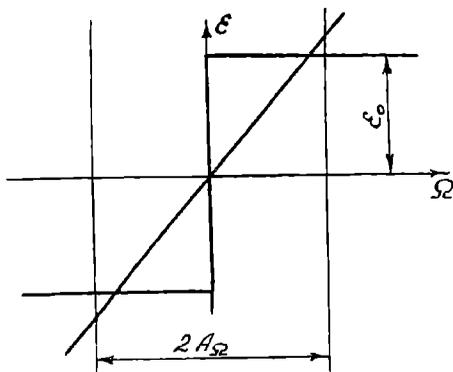


Рис. 2.

С учетом данного обстоятельства уравнение (6) принимает вид:

$$q(p_1 - p_2) - \Omega \frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} (p_1 + p_2) - (\theta - k_F) \Omega - JD\Omega = 0. \quad (7)$$

Выражение $\Omega \frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} (p_1 + p_2)$ является нелинейным, линеаризацию которого можно произвести двумя путями.

При малых колебаниях давлений в полостях гидромотора правомерно предположить, что суммарное давление $(p_1 + p_2) = (p_{10} + p_{20}) = p_0$. К тому же при периодических процессах повышению давления в напорной полости соответствует понижение давления в полости слива и наоборот. Анализ структурной схемы рис. 3 позволяет получить общее уравнение математической модели гидропривода с учетом указанной линеаризации:

$$\begin{aligned} & Jk_1 k_2 D^3 \Omega + \left\{ k_1 \sigma_2 - k_2 \sigma_1 \right\} J + k_1 k_2 \cdot \\ & \cdot \left[\frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} p_0 + (\theta - k_F) + a\rho q D^2 \Omega \right] + \\ & + \left\{ \eta^2 (k_1 + k_2) + J\sigma_1 \sigma_2 + (\sigma_1 k_1 + \sigma_2 k_1) \cdot \right. \\ & \cdot \left. \left[(\theta - k_F) + a\rho q + \frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} p_0 \right] D\Omega + \left\{ \eta^2 (\sigma_1 + \sigma_2) + \right. \right. \\ & + \left. \left. \sigma_1 \sigma_2 \left[\frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} p_0 + (\theta - k_F) + a\rho q \right] \right\} \right] \Omega = \\ & = q\Omega (\sigma_1 + k_2 D) + \Omega_0 a\rho q (\sigma_1 + k_1 D) (\sigma_2 + k_2 D). \quad (8) \end{aligned}$$

Вместе с тем переменные параметры Ω и ρ при малых колебаниях можно представить как

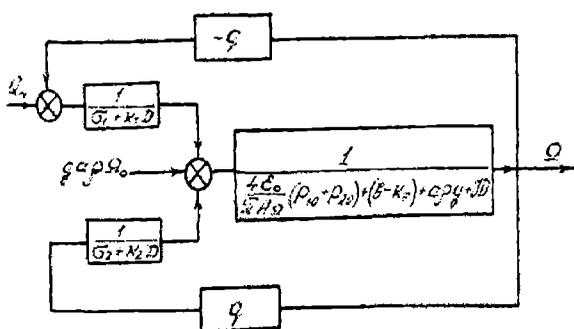


Рис. 3.

$$\Omega = \Omega_0 - \Delta\Omega \quad \text{и} \quad (p_1 + p_2) = (p_{10} + \Delta p_1) + (p_{20} + \Delta p_2) = p_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2.$$

Далее, исключив произведения $\Delta\Omega \Delta p_1$ и $\Delta\Omega \Delta p_2$ при анализе структурной схемы математической модели привода, показанной на рис. 4, и сделав необходимые преобразования, получаем:

$$\begin{aligned} & Jk_1 k_2 D^3 \Delta\Omega + \left\{ J(\sigma_1 k_2 + \sigma_2 k_1) + k_1 k_2 \left[\frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} p_0 + (\theta - k_F) + \right. \right. \\ & + \left. \left. a\rho q \right] \right\} D^2 \Delta\Omega + J\sigma_1 \sigma_2 - (\sigma_1 k_1 + \sigma_2 k_1) \left[\frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} p_0 + (\theta - k_F) + \right. \\ & + \left. a\rho q \right] + \frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} \Omega_0 q (k_1 - k_2) + q^2 (k_1 + k_2) \left\} D\Delta\Omega + \left\{ \sigma_1 \sigma_2 \cdot \right. \right. \\ & \cdot \left[\frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} p_0 + (\theta - k_F) + a\rho q \right] + \frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}} \Omega_0 q (\sigma_1 + \sigma_2) + \\ & \left. + q(\sigma_1 + \sigma_2) \right\} \Delta\Omega = 0 \quad (9) \end{aligned}$$

Для определения условий устойчивости данного привода достаточно произвести анализ характеристического уравнения. Введем новые обозначения: для коэффициентов уравнений (8) и (9): B_3 — коэффициент при $D^3 \Omega$ (или $D^3 \Delta\Omega$), $B_2 + c\alpha$ — коэффициент при $D^2 \Omega$ (или $D^2 \Delta\Omega$), $B_1 + c\beta$ — коэффициент при $D\Omega$ (или $D\Delta\Omega$), $B_0 + c\gamma$ — коэффициент

при Ω (или $\Delta\Omega$). В данных коэффициентах $c = \frac{4\epsilon_0}{\pi A_{\Omega}}$.

Уравнение (8) в новых обозначениях может быть записано:

$$B^1 D^3 \Omega + (B_2 + c\alpha) D^2 \Omega + (B_1 + c\beta) D\Omega + (B_0 + c\gamma) \Omega = 0. \quad (10)$$

Аналогичным образом может быть записано и уравнение (9).

Для системы третьего порядка условие устойчивости можно определить по критерию устойчивости Гурвица при соблюдении необходимого условия устойчивости (положительность коэффициентов характеристического уравнения):

$$(B_2 + c\alpha) \cdot (B_1 + c\beta) \geq B_3 (B_0 + c\gamma). \quad (11)$$

Уравнение границы области устойчивости определяется из условия (11):

$$a\beta c + (\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3) c + (B_1 B_2 - B_3 B_0 c \alpha) = 0. \quad (12)$$

Периодические движения вала гидромотора при наличии трения в нем возможны, если уравнению (12) соответствуют действительные положительные значения

$$c = \frac{-(\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3) + \sqrt{(\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3)^2 - 4\alpha\beta(B_1 B_2 - B_3 B_0)}}{2\alpha\beta} \quad (13)$$

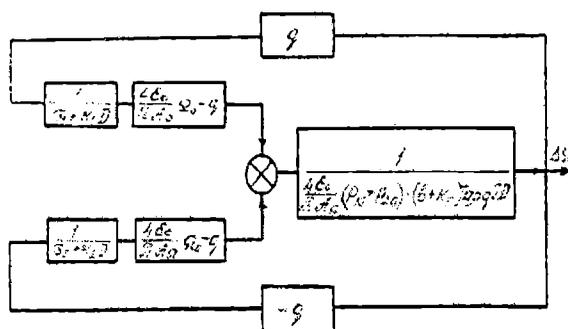


Рис. 4.

В предельном случае, когда $c \rightarrow 0$, что соответствует $\varepsilon \rightarrow 0$, для существования автоколебаний достаточно выполнить условие:

$$B_1 B_2 \geq B_0 B_3 \quad (14)$$

Исследуемая система имеет следующие параметры:

$$J = 10^{-2} \frac{\text{нм} \cdot \text{сек}^2}{\text{рад}}; \quad \kappa_1 = 8 \cdot 10^{-12} \frac{\text{М}^5}{\text{н}}; \quad \kappa_2 = 12 \cdot 10^{-14} \frac{\text{М}^5}{\text{н}};$$

$$\sigma_2 = 5 \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^5 \cdot \text{сек}}{\text{н}}; \quad q = 2,9 \cdot 10^{-6} \frac{\text{М}^3}{\text{рад}}; \quad \Omega_0 = 50 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$$

Отношение $\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$ изменяется в пределах $0 \div 100$, коэффициент $(\sigma - k_F + a\rho q)$ — от 0 до $0,3 \frac{\text{нм} \cdot \text{сек}}{\text{рад}}$, ρ_0 изменяется в пределах $0 \div 10^7 \frac{\text{н}}{\text{м}^2}$. В соответствии с

этим отношение $\frac{4\alpha\beta(B_1 B_2 - B_0 B_3)}{(\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3)}$ изменяется в пределах $-0,2 \div 0,01$. В этом случае корень $\sqrt{(\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3)^2 - 4\alpha\beta(B_1 B_2 - B_0 B_3)}$ можно заменить

выражением $(\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3) \frac{4\alpha\beta(B_1 B_2 - B_0 B_3)}{2(\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3)}$, и ошибка

данного приближения при названных параметрах не превышает 1%. С учетом этого обстоятельства и условия устойчивости выражение (13) приводится к виду:

$$c \geq \frac{B_1 B_2 - B_0 B_3}{\alpha B_1 + \beta B_2 - \gamma B_3} \quad (15)$$

Из графика на рис. 5 следует, что волновой процесс в бесконечной напорной магистрали способствует повышению устойчивости рассматриваемого гидропривода. Учет принятой модели трения в гидромоторе, зависящего от суммарного начального давления ρ_0 в полостях гидромотора, приводит к выводу, что увеличение этого трения (увеличение коэффициента ε) способствует переходу системы в устойчивую область. При линеаризации характеристики трения $\Omega c(\rho_1 + \rho_2)$ путем допущения $\rho_1 + \rho_2 \approx \rho_0$ область устойчивости несколько шире (кривые 4, 6), нежели при линеаризации этого трения путем допущения $\Delta\Omega\Delta\rho \approx 0$ (кривые 3, 5), поэтому при расчетах следует отдавать предпочтение второму типу линеаризации с целью увеличения запаса устойчивости. Увеличение податливости сливной магистрали смещает область устойчивости влево (кривые 1, 2), однако увеличение начального давления ρ_0 расширяет область устойчивых режимов (кривые 2, 3, 4). При увеличении наклона кривой «отрицательного» трения $k_F(\Omega)$ для сохранения устойчивого режима необходимо увеличить давление в полости гидромотора или же применять гидромоторы с повышенным значением ε , учитывая при этом, что последнее снижает КПД привода. На рис. 5 кривые 1, 2, 4, 6 построены по уравнению (8), кривые 3, 5 — по уравнению (9) при

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = 0.$$

Исследуем влияние утечек на устойчивость данного привода. Для этой цели удобно использовать D — разбиение и определять устойчивость привода в

области двух параметров $\frac{\sigma_1}{\sigma_2} + (\sigma - k_F)$.

При замене оператора D в характеристическом уравнении привода на выражение $j\omega$, где $j = \sqrt{-1}$, ω — частота периодического изменения угловой

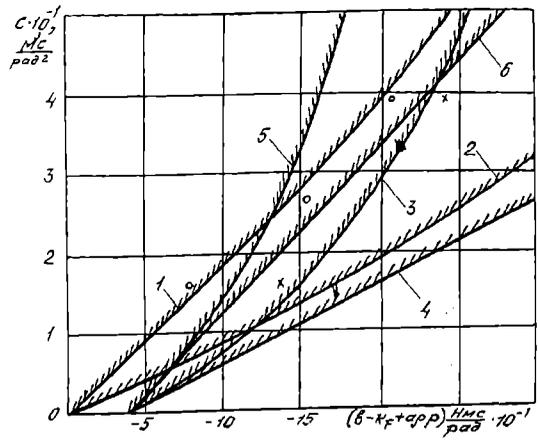


Рис. 5.

скорости Ω , и разделении действительной и мнимой части уравнения получим следующие выражения при учете, что $j^2 = -1$, $j^3 = -j$ и т.д.:

$$\left[J\sigma_2 k_2 (\theta + \psi) + k_2^2 (\sigma - k_F + c\rho_0) \right] \omega^2 = \sigma_2^2 \theta (\sigma - k_F + c\rho_0) + q^2 \sigma_2 (\theta + 1) \quad (16)$$

$$Jk_2^2 \psi \omega^2 = J\sigma_2^2 \theta + \sigma_2 k_2 (\theta + \psi) \cdot (\sigma - k_F + c\rho_0) + q^2 k_2 (\psi + 1), \quad (17)$$

где $\theta = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$; $\psi = \frac{k_1}{k_2}$

Эти уравнения относятся к модели гидропривода, когда $\rho_1 + \rho_2 \approx \rho_0$. При линеаризации трения в гидромоторе путем допущения $\Delta\Omega\Delta\rho \approx 0$ действительная и мнимая части характеристического уравнения при замене оператора на $j\omega$ примут вид:

$$\left[J\sigma_2 k_2 (\theta + \psi) + k_2^2 (\sigma - k_F + c\rho_0) \right] \omega^2 = \sigma_2^2 \theta (\sigma - k_F + c\rho_0) + q^2 \sigma_2 (\theta + 1) + c k_2 \Omega_0 (\psi - 1); \quad (18)$$

$$Jk_2^2 \psi \omega^2 = J\sigma_2^2 \theta + \sigma_2 k_2 (\theta + \psi) \cdot (\sigma - k_F + c\rho_0) + q^2 k_2 (\psi + 1) + \Omega_0 q c \sigma_2 (\theta - 1). \quad (19)$$

При совместном решении уравнений (16), (17), когда в качестве аргумента выступает частота периодического процесса ω , получаем:

$$(\sigma - k_F) = \frac{Jk_2^2 \psi \omega^2 - J\sigma_2^2 \theta - q^2 k_2 (\psi + 1) - c\rho_0}{\sigma_2 k_2 (\theta + \psi)} \quad (20)$$

$$\sigma_2^2 (Jk_2^2 \omega^2 - q^2 k_2 + J\sigma_2^2) \theta^2 + \omega^2 \sigma_2 k_2^2 \psi (J\sigma_2^2 \psi + Jk_2^2 \psi \omega^2 - q^2 k_2 \psi - q^2 k_2) - q^2 \sigma_2^2 k_2 \psi = 0 \quad (21)$$

Далее, меняя частоту ω от 0 до ∞ , можно проследить соответствующее изменение параметров θ и $(\sigma - k_F)$.

При движении гидропривода на малых скоростях силами вязкого трения можно пренебречь. Так как в процессе торможения реверс не наблюдался, то можно сделать допущение о том, что $\varepsilon = const$. Тогда справедлива следующая система уравнений движения гидропривода:

$$Q_n - \sigma_1 p_1 - k_1 D p_1 - q\Omega, \quad (22)$$

$$q\Omega - \sigma_2 p_2 - k_2 D p_2 = 0, \quad (23)$$

$$q(p_1 - p_2) - \varepsilon(p_1 + p_2) - JD\Omega = 0. \quad (24)$$

Первые два уравнения идентичны (4) и (5). В уравнении (24) отсутствуют «отрицательное» трение $k_F \Omega$ и вязкое демпфирование, а трение в гидромоторе линейно зависит от суммарного дав-

ления в полостях гидромотора. К перечисленным в начале главы допущениям необходимо добавить условие о том, что движение гидропривода происходит в одну сторону. В этом случае отпадает необходимость учёта линейного характера трения в гидромоторе. Анализ структурной схемы позволяет получить общее решение системы уравнений (22), (23), (24):

$$\begin{aligned}
 & Jk_1k_2D^3\Omega + (Jk_1\sigma_2 + Jk_2\sigma_1)D^2\Omega + \\
 & + \left[q^2k_2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) + q^2k_1(1 + \frac{\varepsilon}{q}) + J\sigma_1\sigma_2 \right] D\Omega + \\
 & + \left[q^2\sigma_2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) + q^2\sigma_1(1 + \frac{\varepsilon}{q}) \right] \Omega = \\
 & = (k_2DQ_h + Q_h\sigma_2)(1 - \frac{\varepsilon}{q})q \quad (25)
 \end{aligned}$$

Левая часть выражения (25) является уравнением свободных колебаний системы. Для определения условий устойчивости достаточно исследовать поведение системы без внешних возмущений, используя критерий устойчивости Гурвица:

$$\begin{aligned}
 & Jk_1k_2q^2\sigma_2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) + q^2\sigma_1(1 + \frac{\varepsilon}{q}) = \\
 & = J(k_1\sigma_2 + k_2\sigma_1) \times [q^2k_2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) + \\
 & + q^2k_1(1 + \frac{\varepsilon}{q}) + J\sigma_1\sigma_2] \quad (26)
 \end{aligned}$$

Итак, исследуемая модель гидропривода в условиях торможения путём мгновенного перекрытия сливной магистрали является устойчивой при всех реальных параметрах гидросистемы.

Если нагнетательная магистраль короткая (волновые процессы отсутствуют), то уравнение (24) приобретает вид:

$$p_1q(1 - \frac{\varepsilon}{q}) - q(1 + \frac{\varepsilon}{q}) - JD\Omega = 0, \quad (27)$$

и получаем уравнение:

$$J = \frac{k_1k_2q^2 \left[\sigma_1(1 + \frac{\varepsilon}{q}) + \sigma_2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) \right]}{(\sigma_1k_2 + \sigma_2k_1)\sigma_1\sigma_2}$$

$$\frac{(\sigma_1k_2 + \sigma_2k_1) \left[k_1(1 + \frac{\varepsilon}{q}) + k_2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) \right] q^2}{(\sigma_1k_2 + \sigma_2k_1)\sigma_1\sigma_2} \quad (28)$$

Преыдуший анализ для J остаётся справедливым и для данной модели, откуда получается, что для автоколебаний необходимо найти такое J , чтобы выполнялось условие:

$$\sigma_1k_2^2(1 - \frac{\varepsilon}{q}) + \sigma_2k_1^2(1 + \frac{\varepsilon}{q}) \geq 0,$$

что также невозможно выполнить, а следовательно, моделируемый привод будет также устойчивым.

Разработанная математическая модель гидропривода после соответствующей линеаризации позволила произвести анализ этой модели с точки зрения влияния параметров гидропривода на его устойчивость и качественные показатели, в частности, установлено, что трение в гидромоторе и нагрузка повышает устойчивость, увеличение податливости сливной магистрали — снижает, а также, например, при исключении автоколебательных режимов с реверсированием гидромотора гидропривод является устойчивым при любых сочетаниях его параметров.

Результаты аналитических исследований качественно вполне удовлетворительно подтверждаются данными эксперимента.

Библиографический список

1. Мотовездеход Honda на гидравлическом ходу // Журнал автомобильных инженеров. — 2004. — №6. — С. 32-33.
2. Силовой привод колес многоосных машин: перспективы научного поиска оптимальных решений // Автомобильная промышленность. — 2005. — №3. — С. 11-15.
3. Немировский И.А. Расчет гидроприводов технологических машин / И.А. Немировский, Н.Г. Снисарь. — К.: Техника, 1992.

ЧАКУРИН Иван Алексеевич, аспирант кафедры «Прикладная механика» СибАДИ.

Дата поступления статьи в редакцию: 16.11.06 г.
© Чакурин И.А.

Информация

Очередная веха в существовании ScienceDirect – миллиардная загруженная статья

Где-то в мире один из наших 11 миллионов пользователей скоро загрузит миллиардную по счету полнотекстовую статью с платформы ScienceDirect. Что же это означает!

Нам нравится считать статьи. В первый год, чуть более 300 000 полнотекстовых статей было загружено нашими пользователями из примерно 60 организаций-подписчиков, в то время как сегодня, тысячи организаций из 195 стран регулярно используют ScienceDirect, загружая 36 статей каждую секунду в течение обычного рабочего дня. Поэтому, не сюрприз, что с апреля 1999 г., начала ведения подсчета полнотекстового использования статей платформы ScienceDirect, мы дошли до миллиардной статьи.

Один миллиард — это 1000 миллионов (используя западное обозначение), это очень большая цифра:

- около миллиарда минут назад процветала Римская империя (один миллиард минут это приблизительно 1900 лет);
- один миллиард метров — это почти три расстояния от Земли до Луны;
- если сложить один миллиард статей одна на другую, это составит примерно 500 километров в высоту — высота полета космических кораблей и здание высотой в 100 000 этажей;
- если вы будете загружать одну статью в секунду, то свою миллиардную статью вы загрузите через 31,6 лет.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕПАРАЦИИ МЕЛКИХ ЧАСТИЦ ЧЕРЕЗ СЛОЙ ЗЕРНА И ОТВЕРСТИЯ РЕШЕТА НА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КАЧАЮЩИХСЯ РЕШЕТАХ

Статья посвящена исследованию процесса сепарации мелких частиц на зерноочистительной машине с цилиндрическими качающимися решетками. Получены полноты разделения от удельной нагрузки на решето. Выявлены рациональные режимы работы цилиндрических решет, при которых происходит интенсификация процесса сепарации.

Область применения теории движения изолированной частицы крайне ограничена, особенно в условиях стесненного движения сыпучего материала слоем, когда взаимодействие частиц приводит к возникновению в зерновой массе совершенно новых специфических свойств. Поэтому за основу настоящего исследования принята теория кинетики сепарирования. Для выявления закономерностей сепарирования на решетках, установления зависимости эффективности процесса разделения по размеру частиц от параметров механического режима и нагрузки Е.А. Непомнящим было использовано уравнение Колмагорова – Фокера – Планка [1].

Согласно ему процесс очистки, начиная с некоторого момента времени, может быть описан соотношением следующих коэффициентов [2]: коэффициента «А», зависящего от условий движения проходных частиц внутри слоя на решетке, и коэффициента «В», зависящего от сопротивления решета проходу частиц проходовой фракции (рис. 1). Коэффициенты «А» и «В» определяются сопротивлением движению проходных частиц внутри слоя зерна и сопротивлением решета, а также толщиной слоя сыпучего материала на решетке.

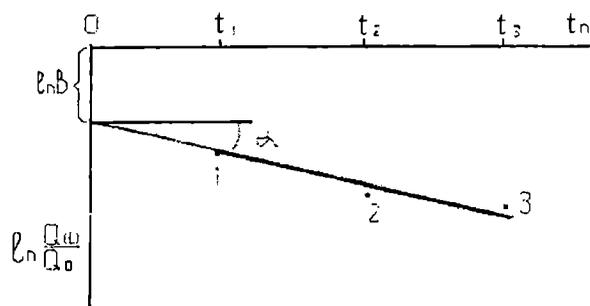


Рис. 1. Схема процесса снижения засоренности зерна на решетке во времени. Нахождение коэффициентов «А» и «В»

Из сказанного следует, что с помощью этих коэффициентов можно описать динамику процесса очистки на любом рабочем органе. Исследования посвящены влиянию удельной нагрузки на решето G , кг/(м²·ч), частоте колебаний решета n , мин⁻¹, углу наклона плоскости решета в поперечном направлении к горизонтали α , град., углового размаха колебаний решетчатого стана A , град., на эффективность сортирования зерна на зерноочистительной машине с цилиндрическими качающимися решетками (рис. 2) [3].

По результатам исследования построены зависимости от действия факторов $\varepsilon = f(G)$ при изменяющихся параметрах: α (рис.3), A (рис. 4) и n (рис.5).

При рассмотрении рисунков 3-5 видно, что полнота разделения зернового материала снижается с увеличением удельной нагрузки на решето и изменяется в зависимости от уровня варьирования параметров n , α и A . Полнота разделения наибольшая на величинах удельной нагрузки $G = 1800...2000$ кг/(м²·ч) при следующих значениях факторов: $n = 75$ мин⁻¹, $\alpha = 9$ град., $A = 60$ град.

Вычислены значения производительности решета, по которым построены ее зависимости (рис. 4-6). Полнота разделения во всех трех случаях

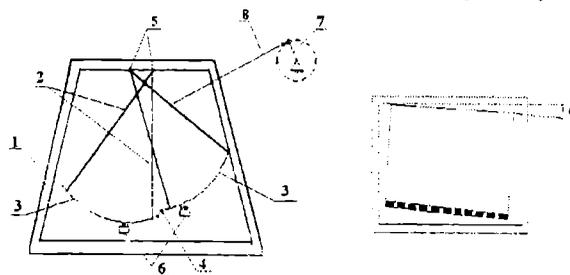


Рис. 2. Зерноочистительная машина: 1 – рама; 2 – подвески; 3 – решета; 4 – переключки; 5 – оси решет; 6 – щетки; 7 – кривошипно-шатунный механизм; 8 – шатун; α – угол наклона осей решет в продольном направлении

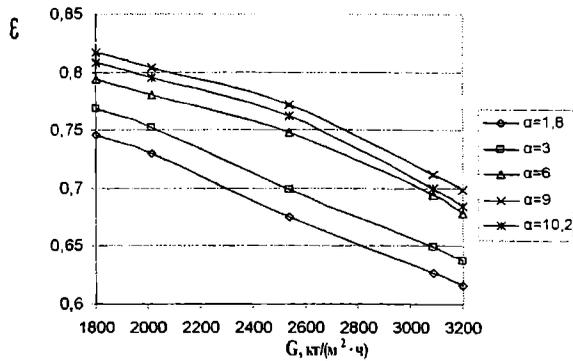


Рис. 3. Зависимости полноты разделения от удельной нагрузки на решетку ($\varepsilon = f(G)$), $\alpha = 60^\circ$, $n = 75 \text{ мин}^{-1}$

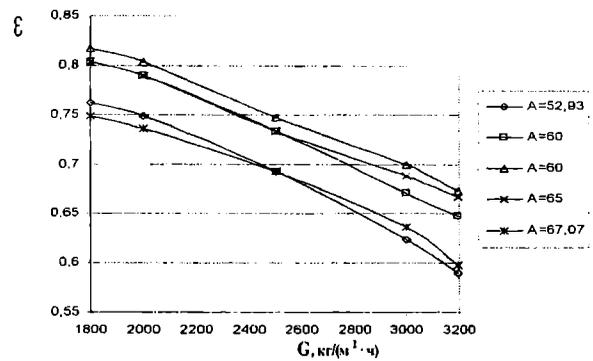


Рис. 4. Зависимости полноты разделения от удельной нагрузки на решетку ($\varepsilon = f(G)$), $A = 9^\circ$, $n = 75 \text{ мин}^{-1}$

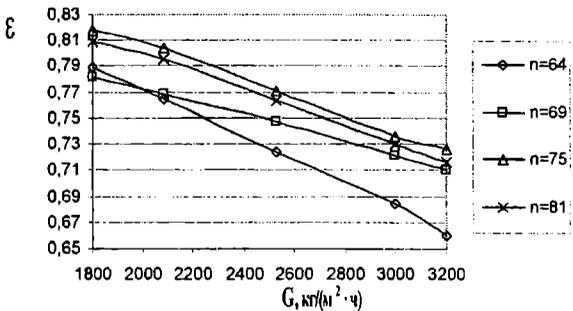


Рис. 5. Зависимости полноты разделения от удельной нагрузки на решетку ($\varepsilon = f(G)$), $A = 60^\circ$, $\alpha = 9^\circ$

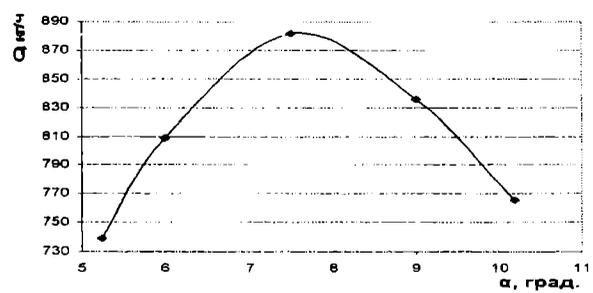


Рис. 6. Зависимости производительности решета от угла наклона плоскости решета в поперечном направлении к горизонтали α , град. ($Q = f(\alpha)$)

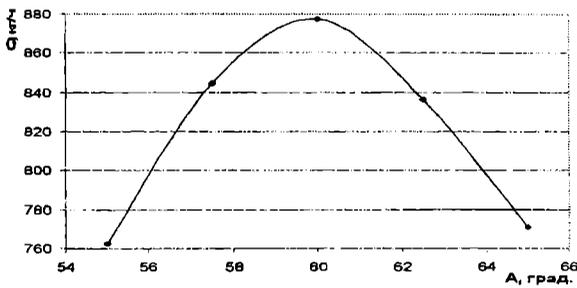


Рис. 7. Зависимости производительности решета от углового размаха колебаний решетчатого стана A , град. ($Q = f(A)$)

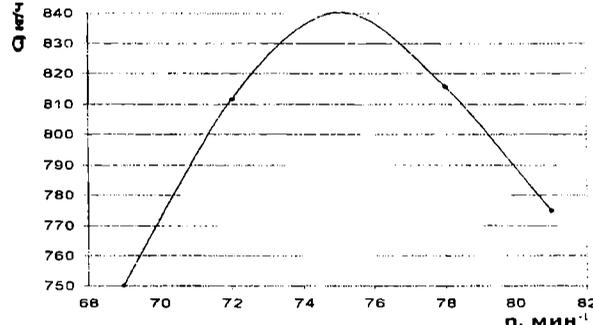


Рис. 8. Зависимости производительности решета от частоты колебаний решета n , мин^{-1} ($Q = f(n)$)

принята 0,8, что соответствует режиму вторичной очистки.

При рассмотрении графических зависимостей (рис. 6-8) видно, что производительность цилиндрического качающегося решета, совершающего возвратно-поступательное движение по дуге окружности, при полноте разделения $\varepsilon = 0,8$ колеблется в диапазоне $Q = 740 - 880 \text{ кг/ч}$ при $n = 69...81 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 5,5...10,2 \text{ град.}$, $A = 55...65 \text{ град.}$

Наибольшая производительность решета наблюдается при режиме с величинами факторов $Q = 881 \text{ кг/ч}$, $n = 75 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 9 \text{ град.}$, $A = 60 \text{ град.}$

При сравнении зависимостей производительности на рис. 6-8 цилиндрических качающихся решет с [4, рис.3] наблюдается повышение на 60...70% (для режима вторичной очистки) больше, чем производительность серийных зерноочистительных машин при соответствующей полноте разделения зернового материала.

Библиографический список

1. Непомнящий Е.А. Кинетика сепарирования зерновых смесей. — М., 1982. — 175 с.
2. Фиалков М.А. К оценке показателей работы плоского качающегося решета, совершающего продольные бигар-

монические колебания / М.А. Фиалков, А.В. Черняков // Механизация сельскохозяйственного производства в начале XXI века: Сб. науч. тр. / Новосиб. гос. аграр. ун-т. — Новосибирск, 2001. — С. 156-158.

3. Патент на полезную модель 47614 РФ, МПК⁷ A01F12/44, B07B1/38. Решетный стан / А.В. Черняков, Р.А. Зверков (РФ). — № 2005105791; Заявлено 01.03.2005; // Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 10 сентября 2005 г.

4. Черняков А.В. Интенсификация технологического процесса сепарации зерна на решетках, совершающих бигармонические колебания. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. — Новосибирск, 2002. — 23 стр.

ЧЕРНЯКОВ А.В., кандидат технических наук, доцент кафедры «Трактора и автомобили, сельскохозяйственные машины и механизация животноводства, ремонт машин».

ЗВЕРКОВ Р.А., аспирант кафедры «Трактора и автомобили, сельскохозяйственные машины и механизация животноводства, ремонт машин».

Дата поступления статьи в редакцию: 11.11.06 г.
© Черняков А.В., Зверков Р.А.

УДК 625.28

А. В. КЛИМОВИЧ
А. А. КООБАР
А. В. ХАРЛАМОВА

Омский государственный
университет путей сообщения

ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА ПО ЗАДАННОМУ УЧАСТКУ ПРИ ПОМОЩИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ

Рассматривается применение методики построения оптимального графика движения поезда $v = f(s)$ по заданному участку при заданном времени его прибытия на конечный пункт, построенной на использовании целевой функции. Результаты расчетов практически совпадают с известным классическим решением задачи, в основу которого положен принцип максимума. Предложенная методика отличается простотой и позволяет получать результат в реальном масштабе времени.

В условиях постоянного повышения мировых цен на энергоносители использование оптимальных режимов ведения поездов становится одним из важнейших условий повышения показателей эксплуатационной работы железнодорожного транспорта. Во второй половине прошлого столетия научным работникам Московского института инженеров железнодорожного транспорта удалось решить задачу построения оптимального графика и оптимизации управления движением поезда с использованием принципа максимума Л.С. Пон-

трягина и дискретного варианта динамического программирования Р. Беллмана [1]. Однако, как отмечают авторы, найденная методика достаточно сложна. Если не вводить значительных упрощений в описание тяговых характеристик поезда, время счета на быстродействующих ЭВМ получается большим и соизмеримо с временем хода поезда.

Между тем указанная задача может быть решена существенно проще. При рассмотрении модели движущегося поезда, когда последний представляется материальной точкой, а его основное удельное

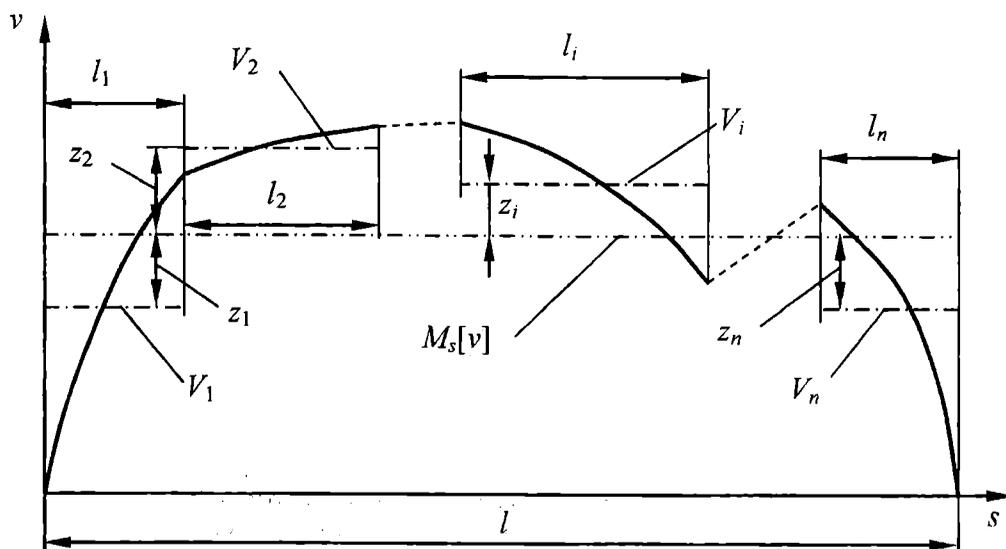


Рис. 1. К вопросу определения статистических характеристик графика движения поезда

сопротивление движению определяется квадратичной зависимостью от скорости с постоянными коэффициентами a , b и c вида:

$$\omega(v) = a + bv + cv^2, \quad (1)$$

для построения оптимального графика его движения по заданному участку предложена целевая функция, полученная строго математически [2]:

$$P = \frac{\{\omega(M_s[v]) + cD_s[v]\}ml}{\eta_{cp}}, \quad (2)$$

где $M_s[v]$ — математическое ожидание скорости по пути; $D_s[v]$ — дисперсия скорости по пути; m — масса поезда; l — длина участка; η_{cp} — средневзвешенный коэффициент полезного действия локомотива на участке. Таким образом, при поиске оптимального по энергозатратам управления поездом необходимо добиться минимума целевой функции (2) при минимуме потерь энергии во время торможения поезда:

$$A_{\text{торм}} = \int F_{\text{торм}} ds, \quad (3)$$

где $F_{\text{торм}}$ — тормозная сила, создаваемая в поезде.

Анализ целевой функции (2) показывает, что для сведения к минимуму энергозатрат на перемещение поезда из пункта отправления в пункт назначения при заданном времени прибытия на конечный пункт необходимо и достаточно выбрать график движения поезда $v = f(s)$, обеспечивающий минимально возможное значение дисперсии скорости движения $D_s[v]$, и поддерживать режим работы локомотива на всем пути следования поезда, позволяющий реализовать максимально возможный коэффициент полезного действия. Иными словами, машинист должен поддерживать скорость движения поезда максимально стабильной. Так как коэффициент c в выражении (1) характеризует аэродинамику экипажа, то зависимость энергозатрат на тягу поезда от дисперсии скорости движения $D_s[v]$ будет тем выше, чем хуже аэродинамические характеристики поезда.

Влияние на энергозатраты двух параметров движения поезда, входящих в формулу целевой функции, а именно дисперсии скорости движения $D_s[v]$ и средневзвешенный коэффициент полезного действия локомотива η_{cp} , общеизвестно. Предложенная целевая функция впервые математически связывает эти параметры и позволяет численно сравнивать различные режимы управления локомотивом. Причем в соответствии с выражением (2) только указанные параметры движения поезда

оказывают непосредственное влияние на энергозатраты. Остальные характеристики если и влияют на энергопотребление, то только через указанные два параметра движения.

На каждом отдельном элементе профиля пути дифференциальное уравнение движения поезда будет иметь свое индивидуальное решение. Если в пределах каждого из элементов профиля найти математическое ожидание $V_1, V_2, \dots, V_i, \dots, V_n$ и дисперсию $D_1, D_2, \dots, D_i, \dots, D_n$ скорости по пути, то для всего участка длиной l (рис. 1) статистические характеристики графика движения можно найти по формулам:

$$M_s[v] = \frac{\sum_{i=1}^n V_i l_i}{l}; \quad D_s[v] = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i + z_i^2) l_i}{l}, \quad (4)$$

где z_i — разность математического ожидания скорости по пути на всем участке $M_s[v]$ и i -м элементе профиля V_i .

В соответствии с расчетными формулами (4) для достижения минимума дисперсии скорости по пути всего графика движения поезда $D_s[v]$ необходимо обеспечить, во-первых, минимально возможное значение дисперсии скорости в пределах отдельных элементов профиля D_i и, во-вторых, наименьшую разность z_i математического ожидания скорости по пути на всем участке $M_s[v]$ и i -м элементе профиля V_i . Рассмотрим на конкретном примере, как можно добиться выполнения этих условий.

Оптимальный график движения грузового поезда массой 6000 т с электровозом ВЛ-10 был рассчитан для прямого участка длиной 100 км (рис. 2), имеющего крутой подъем 6,5 % и крутой спуск — 5 % (оба длиной 10 км). На остальной части участка уклоны отсутствуют. Заданное время движения поезда по участку было установлено 1,6 часа.

Последовательность расчета оптимального графика следующая. Первоначально рассчитывается зависимость $v = f(s)$ при разгоне, на подъеме, на спуске и при торможении поезда на конечной станции посредством решения дифференциального уравнения движения поезда аналитическим методом [3]. Последний в данном случае удобнее численного метода, так как существенно облегчает расчет статистических характеристик графика движения. Кроме того, вычисления можно выполнять без

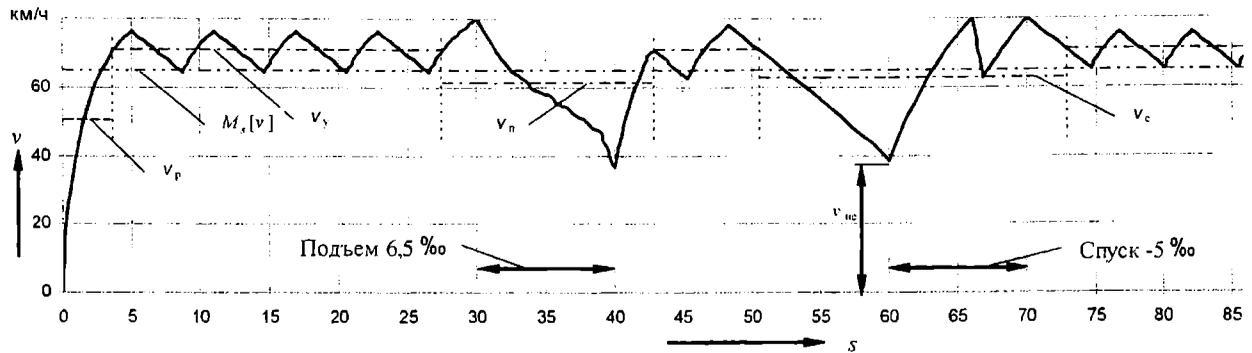


Рис. 2. Оптимальный график движения поезда для рассматриваемого участка

применения специального программного обеспечения, а использовать, например, широко распространенный пакет Mathcad.

Специалистам в области тяги хорошо известно, что разгон поезда наиболее экономичен при реализации максимальной силы тяги, т.е. максимально возможном коэффициенте сцепления колес локомотива с рельсом. Легко доказывается, что дисперсия скорости по пути на участке разгона V_p в этом случае минимальна. На крутом подъеме также следует поддерживать максимально возможную силу тяги. Для заданного поезда на рассматриваемом подъеме установившаяся скорость меньше 30 км/ч (см. рис. 2). Поэтому для получения минимальной разности $z_p = M_s[v] - V_n$ следует обеспечить в начале подъема максимально допустимую скорость движения грузовых поездов 80 км/ч. Для этого перед подъемом его следует разогнать (участок подготовки к прохождению подъема) с ходовой скорости v_x (в работе [1] эта скорость названа скоростью стабилизации) до 80 км/ч. После подъема поезд нужно снова разогнать до ходовой скорости. Для подъема и двух прилегающих участков разгона средняя по пути скорость поезда будет V_n . С учетом (4) легко доказывается, что дисперсия скорости для построенной части графика движения минимальна.

При построении графика движения на крутом спуске и при торможении на конечной станции следует согласовывать условие минимума целевой функции (1) с условием минимума потерь энергии во время торможения поезда (2). Для этого выполняется предварительный расчет, при котором принимаются одинаковыми скорость поезда в начале спуска и в начале торможения после выбега на станции прибытия, например, $v_{ис} = v_{ит} = 40$ км/ч. При этом на спуске выбирается режим выбега и режим регулировочного торможения из условия достижения в конце спуска максимально допустимой скорости 80 км/ч. Далее из условия выполнения заданного времени хода поезда по участку рассчитывается ходовая скорость (скорость стабилизации) на оставшихся участках пути. Определяется работа силы тяги локомотива $A_{от}$, выполненная при преодолении основного сопротивления движению (без учета энергии, потраченной на преодоление уклонов и кривых участка), и работа тормозных сил поезда $A_{торм}$ (безвозвратные потери).

Оптимальная скорость в начале спуска находится в результате одномерной оптимизации при постоянном значении скорости поезда в начале торможения после выбега на станции прибытия. Наиболее подходящим оказался известный метод, построенный на расчете трех точек зависимости: $A_{от} + A_{торм} = F(v_{ис})$, например, при $v_{ис} = 30$ и

$v_{ис} = 35$ км/ч. После аппроксимации указанной зависимости квадратной параболой оптимальная скорость в начале спуска может быть найдена по формуле:

$$v_{ис\text{опт}} = \frac{x1^2(y2 - y3) + x2^2(y3 - y1) + x3^2(y1 - y2)}{2[(x1 - x2)(y2 - y3) - (x2 - x3)(y1 - y2)]}$$

где $x1 = 40$; $x2 = 30$; $x3 = 35$; $y1 = A_{от1} + A_{торм1}$; $y2 = A_{от2} + A_{торм2}$; $y3 = A_{от3} + A_{торм3}$; $A_{от1}$ и $A_{от3}$ — работа силы тяги локомотива, выполненная при преодолении основного сопротивления движению соответственно $v_{ис} = 30$ и $v_{ис} = 35$ км/ч; $A_{торм2}$ и $A_{торм3}$ — работа тормозных сил поезда при указанных скоростях в начале спуска.

Аналогично оптимизируется скорость поезда в начале торможения после выбега на станции прибытия.

На завершающем этапе строится график движения поезда на участках, где мощности локомотива достаточно для поддержания постоянной расчетной ходовой скорости v_x . В рассматриваемом примере это участки между разгоном поезда и подъемом, между подъемом и спуском и между спуском и участком торможения. Поддержание расчетной ходовой скорости может выполняться несколькими способами. Здесь выбран оптимальный по энергозатратам вариант (в работе [1] этот вариант назван скользящим режимом), заключающийся в чередовании режимов с максимальной силой тяги (параллельное соединение двигателей, четвертая ступень ослабления поля) и выбега. В этом случае реализуется максимально возможный к.п.д. электровоза. В рассматриваемом примере было принято ограничение: режим тяги включается не более одного раза на пути в 5 км.

Построенный оптимальный график движения поезда по рассматриваемому участку полностью согласуется с основными выводами, полученными при решении задачи с использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина [1]. Заметим, что в последнем случае необходимо решение системы трех дифференциальных уравнений. В построенном графике ключевыми являются значения скорости движения поезда в начале спуска и непосредственно перед торможением на конечной станции, так как оптимальность остальных его элементов просто доказывается с использованием уравнений (4). В приведенном примере значения этих скоростей получились соответственно 36,7 и 32,6 км/ч. Если воспользоваться приведенной в работе [1] методикой определения этих скоростей, их величина получится соответственно 37,92 и 32,43 км/ч. Нетрудно убедиться, что результаты практически совпали. Причем суммарные энергозатраты на перемещение

поезда по рассматриваемому участку для указанных вариантов отличаются менее чем на 0,015 %. Ошибка попадает в область точности вычислений выбранной математической модели.

Таким образом, предложенная методика построения оптимального по энергозатратам графика движения поезда по заданному участку при заданном времени прибытия на конечный пункт, построенная на применении целевой функции, дает практически тот же результат, что и классическое решение задачи с использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина. Между тем предложенная методика отличается простотой применения, не требует существенных упрощений в описании тяговых и тормозных характеристик поезда. При реализации предложенной методики в специальном программном обеспечении для систем автоведения электроподвижного состава построение оптимального графика и оптимального управления движением поезда может осуществляться в реальном масштабе времени.

Библиографический список

1. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л.А. Баранов, Я.М. Головичер, Е.В. Еро-

феев, В.М. Максимов. Под ред. Л.А. Баранова. М.: Транспорт, 1990. 272 с.

2. Климович А.В. Модификация метода динамического программирования Беллмана при решении задачи оптимизации управления движением поезда // Вестник Томского гос. ун-та. Общenaуч. периодич. журнал. Бюл. оперативной науч. информации. № 32. Июль 2004. С. 71-77.

3. Климович А.В. Аналитический метод решения дифференциального уравнения движения поезда // Изв. вузов. Электромеханика. 2006. № 2. С. 52-54.

КЛИМОВИЧ Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и механика».

КООБАР Александр Александрович, аспирант кафедры «Электрические машины и общая электротехника».

ХАРЛАМОВА Александра Викторовна, аспирант кафедры «Электрические машины и общая электротехника».

Дата поступления статьи в редакцию: 30.09.06 г.
© Климович А.В., Кообар А.А., Харламова А.В.

УДК 656.259.12:681.518.52:517.54

С. С. СЕРОШТАНОВ
С. А. ЛУНЕВ

Омский государственный
университет путей сообщения

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

В работе представлен новый подход к расчету параметров четырехполюсника тональной рельсовой цепи с использованием математического аппарата конформных отображений и дробно-линейных преобразований, что, в свою очередь, позволяет реализовать задачу непрерывного контроля и прогнозирования состояния рельсовой линии. Рассмотренные вопросы являются актуальными в соответствии со стратегической программой развития ОАО «РЖД» до 2015 года.

Одним из путей повышения надежности технических средств, обеспечивающих безопасность движения поездов, является внедрение устройств непрерывного контроля за их состоянием. Системы диагностики и телеконтроля позволяют уменьшить количество отказов в устройствах сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) за счет прогнозирования предотказных состояний, ускорить поиск отказавшего элемента, свести к минимуму время нахождения технического персонала в опасных зонах железнодорожного транспорта, а также создать базу для перехода от системы планового об-

служивания к предупредительно-восстановительной системе.

На современном этапе развития систем автоблокировки (АБ) широкое распространение получила система АБ с тональными рельсовыми цепями (ТРЦ). Использование сигнального тока тональной частоты позволило повысить защищенность от воздействия помех тягового тока, практически на порядок снизить потребляемую мощность, применить современную элементную базу, осуществить централизованное размещение аппаратуры, исключить взаимные влияния между соседними рельсовыми цепями [1].

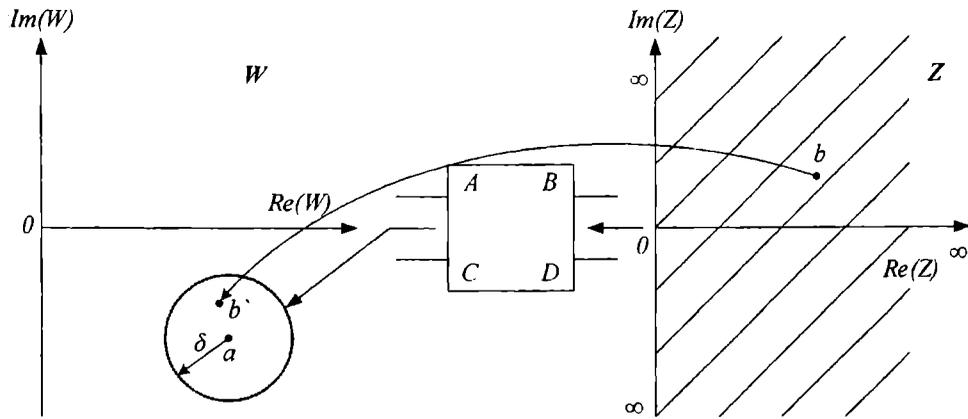


Рис. 1. Пример конформного преобразования $W = \frac{A \cdot Z + B}{C \cdot Z + D}$ на комплексной плоскости при фиксированных значениях параметров ЧП

Однако, как показывает практика, рельсовые цепи (РЦ) являются самым ненадежным элементом систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). Основная доля неисправностей РЦ приходится на рельсовую линию (РЛ).

Поиск отказов в РЛ не автоматизирован, что значительно увеличивает время определения неисправности. Поэтому решение задачи непрерывного контроля и прогнозирования состояния РЛ является актуальной.

Классический математический аппарат, используемый в теории четырехполюсников (ЧП), неудобен для решения задачи поиска отказов и прогнозирования состояния РЛ, поскольку имеет следующие недостатки: не позволяет целиком найти область изменений входных параметров на питающем конце для данного режима работы РЦ; не решает вопрос определения области допустимых значений вычисляемых параметров РЦ; отсутствует геометрическая наглядность полученных результатов.

Поэтому автором предлагается использовать более удобный математический аппарат – аппарат конформных отображений.

Матрицы четырехполюсников представляют элементы группы $PSL_2(C)$ (проективной специальной линейной группы второго порядка с коэффициентами из поля комплексных чисел) [2]. Элементы этой группы получают отождествлением следующих матриц:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -A & -B \\ -C & -D \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Эта группа широко известна в математике и применяется при решении множества собственно математических проблем. Группа $PSL_2(C)$ имеет также представление дробно-линейными преобразованиями комплексной плоскости [3]. В задачах электротехники дробно-линейное преобразование задается формулой

$$W = \frac{A \cdot Z + B}{C \cdot Z + D} \quad (2)$$

и описывает отображение множества выходных параметров четырехполюсника Z во множество входных W .

Электротехнический смысл конформных преобразований заключается в следующем. В качестве нагрузки ЧП рассматривается область значений комплексных сопротивлений, от значения $Z = 0$ –

«короткое замыкание» (КЗ) до $Z = \infty$ «холостой ход». Так как действительная часть комплексного сопротивления всегда неотрицательна ($Re(Z) \geq 0$), то область его значений представляет собой правую полуплоскость комплексной плоскости. Конформное отображение, соответствующее ЧП, преобразует правую полуплоскость, дополненную бесконечно удаленной точкой, на окружность, лежащую в правой полуплоскости. Положение области, получившейся при таком отображении, будет зависеть от параметров ЧП рельсовой линии, а положение точки внутри области – от сопротивления выходной нагрузки [4]. Пример такого преобразования представлен на рис. 1.

Все сложные преобразования областей в электротехнике основаны на суперпозиции трех простейших отображений – сдвига, инверсии и растяжения [2].

Для нахождения области отображения всей правой полуплоскости комплексных сопротивлений, нагруженных на выход четырехполюсника РЦ, в силу известного в теории конформных отображений принципа соответствия границ, необходимо найти, куда отобразится граница области (прямая $Re(Z) = 0$) при неизменных параметрах четырехполюсника РЦ. Результатом конформного преобразования прямой вида $Re(\lambda Z) = \alpha$ является окружность с центром в точке

$$w_0 = \frac{2\alpha A\bar{C} + A\bar{D}\lambda + B\bar{C}\lambda}{2\alpha|C|^2 + 2Re(C\bar{D}\lambda)} \quad (3)$$

и радиусом

$$\rho = \left| \frac{(AD - BC)\lambda}{2\alpha|C|^2 + 2Re(C\bar{D}\lambda)} \right|, \quad (4)$$

где A, B, C, D – коэффициенты четырехполюсника РЦ;

$\bar{B}, \bar{C}, \bar{D}, \bar{\lambda}$ – сопряженные комплексные величины;

λ, α – коэффициенты для прямой $Re(Z) = 0$,

$\lambda = 1, \alpha = 0$.

Чтобы определить параметры четырехполюсника РЦ, предлагается проводить три измерения входного сопротивления при трех различных известных сопротивлениях, нагруженных на выход РЦ.

Формулы для расчета коэффициентов четырехполюсника РЦ выводятся исходя из сохранения так называемого ангармонического отношения четырех точек при дробно-линейном преобразова-

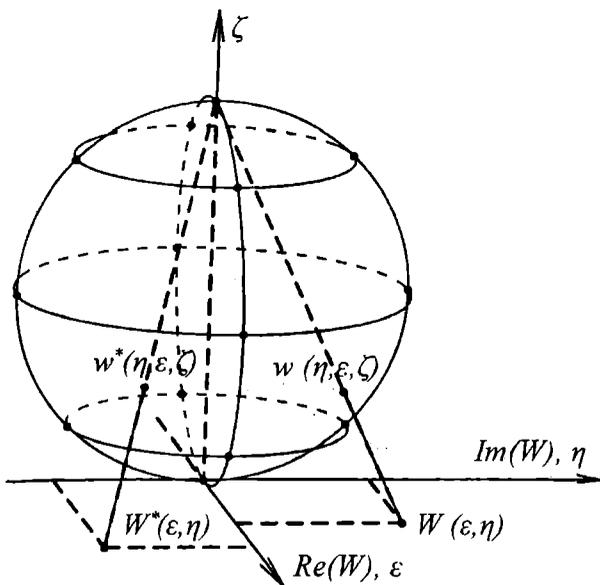


Рис. 2. Сфера Римана

нии на комплексной плоскости [5]. При условии выполнения соотношения $AD - BC = 1$, т.е. матрица $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ представляет элемент группы $PSL_2(C)$, а ПЦ является пассивным ЧП, коэффициенты A, B, C, D можно найти по следующим формулам:

$$\begin{aligned} A &= \frac{W_1 \cdot W_1 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_2 \cdot W_3 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_3 \cdot W_1 \cdot (Z_1 - Z_1)}{\sqrt{(Z_1 - Z_1)(Z_1 - Z_1)(Z_2 - Z_2)(W_1 - W_1)(W_1 - W_1)(W_2 - W_2)}}, \\ B &= \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_2 \cdot W_1 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_3 \cdot W_3 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 - Z_1)}{\sqrt{(Z_1 - Z_1)(Z_1 - Z_1)(Z_2 - Z_2)(W_1 - W_1)(W_1 - W_1)(W_2 - W_2)}}, \\ C &= \frac{W_1 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_2 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_3 \cdot (Z_1 - Z_1)}{\sqrt{(Z_1 - Z_1)(Z_1 - Z_1)(Z_2 - Z_2)(W_1 - W_1)(W_1 - W_1)(W_2 - W_2)}}, \\ D &= \frac{W_1 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_2 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 - Z_1) + W_3 \cdot Z_1 \cdot (Z_1 - Z_1)}{\sqrt{(Z_1 - Z_1)(Z_1 - Z_1)(Z_2 - Z_2)(W_1 - W_1)(W_1 - W_1)(W_2 - W_2)}}. \end{aligned} \quad (5)$$

где W_1, W_2, W_3 – измеренные значения входного сопротивления ПЦ,

Z_1, Z_2, Z_3 – известные сопротивления, подключаемые к выходу ПЦ.

При выполнении измерений появляются систематические и случайные погрешности. Для уменьшения случайной ошибки принято проводить дополнительные измерения параметров четырехполюсника при одинаковых значениях выходной нагрузки. В этом случае из серии измеренных значений H_1, H_2, \dots, H_m находят среднее арифметическое, которое считается наиболее вероятным значением искомой величины.

$$H_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m H_i}{m}. \quad (6)$$

Для дальнейшего уменьшения ошибки автором предлагается применить другой метод, основанный на определении по специальным формулам уточненных параметров четырехполюсника за счет измерений при дополнительных (превышающих необходимое число два для симметричных и три для несимметричных четырехполюсников) известных значениях выходной нагрузки.

Разработанная методика позволяет уточнить параметры рельсового ЧП. Она основана на том, чтобы абсолютная погрешность метрики, опре-

деляемая разницей между W и W^* , была как можно меньше не в Евклидовой, а в метрике сферы Римана (см. рис. 2) для серии из n измерений, в соответствии с методом наименьших квадратов.

$$\sum_{i=1}^n (\rho(W_i, W_i^*))^2 \rightarrow \min. \quad (7)$$

Расстояние между двумя стереографическими проекциями точек на комплексной плоскости в метрике сферы Римана выражается следующей формулой:

$$\rho(W_1, W_2) = \frac{|W_2 - W_1|}{\sqrt{1 + |W_1|^2} \cdot \sqrt{1 + |W_2|^2}}. \quad (8)$$

Формулу (2) можно представить в виде:

$$W_i = E + \frac{F}{Z_i + G}, \quad (9)$$

где Z_i – сопротивление на выходном конце, а комплексные коэффициенты F, E и G связаны с параметрами A, B, C и D четырехполюсника соотношениями:

$$F = -\frac{1}{C^2}; E = \frac{A}{C}; G = \frac{D}{C}. \quad (10)$$

Аналогично формуле (7) можно записать целевую функцию:

$$\begin{aligned} W_i &= e + \bar{e}j + \frac{f + \bar{f}j}{z_i + \bar{z}_i j + g + \bar{g}j}, \\ W_i &= e + \bar{e}j + \frac{f(z_i + g) + \bar{f}(\bar{z}_i + \bar{g}) + (\bar{f}(z_i + g) - f(\bar{z}_i + \bar{g}))j}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2}, \\ W_i &= (e + \frac{f(z_i + g) + \bar{f}(\bar{z}_i + \bar{g})}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2}) + (\bar{e} + \frac{\bar{f}(z_i + g) - f(\bar{z}_i + \bar{g})}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2})j. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \Phi(e; \bar{e}; f; \bar{f}; g; \bar{g}) &= \sum_{i=1}^n (\rho_i(e; \bar{e}; f; \bar{f}; g; \bar{g}))^2 = \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{(e - \bar{v}_i + \frac{f(z_i + g) + \bar{f}(\bar{z}_i + \bar{g})}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2})^2 + (\bar{e} - \bar{v}_i + \frac{\bar{f}(z_i + g) - f(\bar{z}_i + \bar{g})}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2})^2}{(1 + \bar{v}_i^2 + \bar{v}_i^2)(1 + (e + \frac{f(z_i + g) + \bar{f}(\bar{z}_i + \bar{g})}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2})^2 + (\bar{e} + \frac{\bar{f}(z_i + g) - f(\bar{z}_i + \bar{g})}{(z_i + g)^2 + (\bar{z}_i + \bar{g})^2})^2)} \rightarrow \min \end{aligned}$$

Получена экстремальная задача нахождения коэффициентов дробно-линейного преобразования, решение которой уточняет параметры ЧП ПЦ. Данная задача имеет хотя бы одно решение, так как функция $\Phi(e; \bar{e}; f; \bar{f}; g; \bar{g})$ непрерывна и ограничена снизу ($\Phi \geq 0$), а сфера Римана является компактным многообразием (теорема Вейерштрасса) [6].

Для анализа основных диагностических состояний бесстыковой РЛ рассмотрим схему замещения с распределенными параметрами (длина электромагнитной волны в тональном диапазоне частот соизмерима с геометрической длиной РЛ). Тогда коэффициенты ЧП РЛ выражаются следующим образом:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \operatorname{ch} \gamma l_p & Z_a \cdot \operatorname{sh} \gamma l_p \\ \frac{1}{Z_a} \cdot \operatorname{sh} \gamma l_p & \operatorname{ch} \gamma l_p \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Пусть несущая и модулирующая частота сигнала равны 580 и 12 Гц соответственно, длина РЛ 650 м, сопротивление изоляции равно 1 Ом·км. Правая полуплоскость $\operatorname{Re} Z \geq 0$ при конформном отображении перейдет в окружность с центром в точке, рассчитываемой по формуле (3) и радиусом, рассчитываемым по формуле (4) (см. рис. 3). В результате такого преобразования

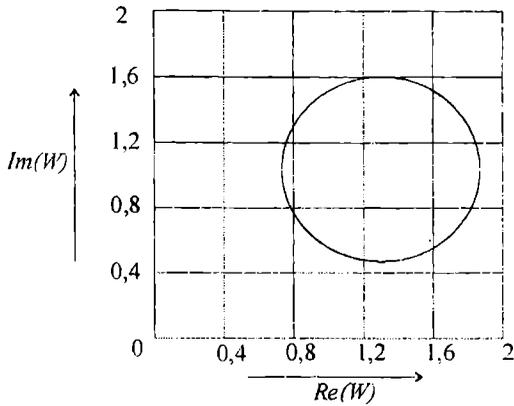


Рис. 3. Нормальная область РЛ

получаем область значений входных сопротивлений данного ЧП. Для любой нагрузки измеренное значение входного сопротивления будет находиться в полученной области. Размер и местонахождение области зависят от параметров ЧП РЛ. Нормальной областью РЛ будем называть область входных сопротивлений, измеренных при свободной и исправной рельсовой линии.

Для анализа и моделирования продольных неисправностей воспользуемся методом вносимого сопротивления. Коэффициенты ЧП РЛ при возникновении продольных неисправностей можно найти как:

$$\begin{pmatrix} A_{ин} & B_{ин} \\ C_{ин} & D_{ин} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ch \gamma l_2 & Z_n \cdot sh \gamma l_2 \\ \frac{1}{Z_n} \cdot sh \gamma l_2 & ch \gamma l_2 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & R_{ин} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} ch \gamma l_1 & Z_n \cdot sh \gamma l_1 \\ \frac{1}{Z_n} \cdot sh \gamma l_1 & ch \gamma l_1 \end{pmatrix},$$

где l_1, l_2 – расстояния от релейного и питающего концов РЦ до места повреждения (внесения продольного сопротивления), км.

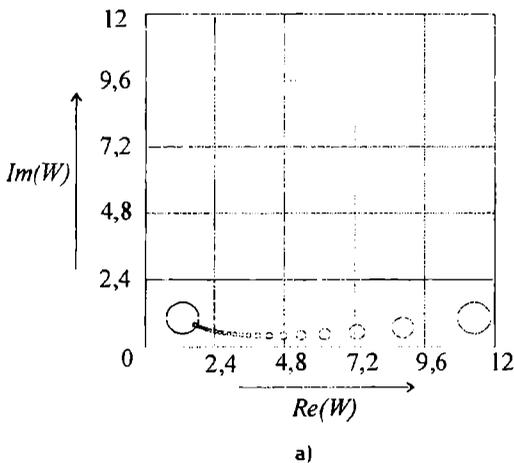
Согласно расчетам получаем области для разных вносимых сопротивлений (см. рис. 4).

Аналогично проводится анализ движения области при возникновении неисправности типа «короткое замыкание на РЛ». Коэффициенты ЧП РЛ в этом режиме находятся по формуле:

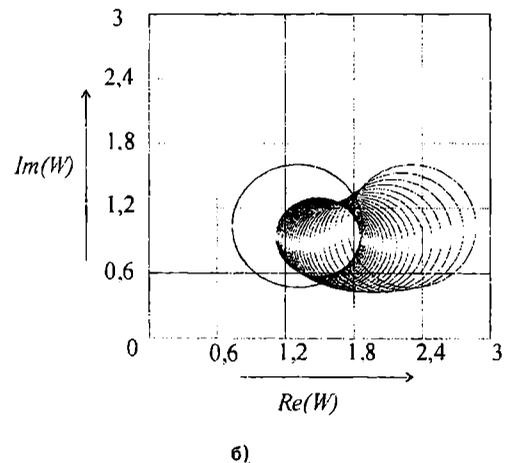
$$\begin{pmatrix} A_{ин} & B_{ин} \\ C_{ин} & D_{ин} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} ch \gamma l_2 & Z_n \cdot sh \gamma l_2 \\ \frac{1}{Z_n} \cdot sh \gamma l_2 & ch \gamma l_2 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{R_{ин}} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} ch \gamma l_1 & Z_n \cdot sh \gamma l_1 \\ \frac{1}{Z_n} \cdot sh \gamma l_1 & ch \gamma l_1 \end{pmatrix},$$

где $R_{ин}$ – сопротивление шунта (поперечное сопротивление).

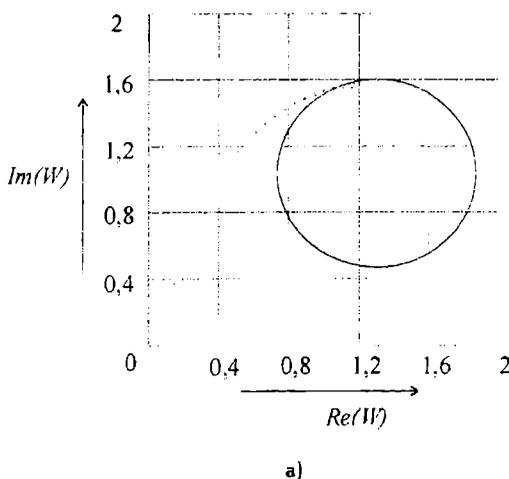


а)

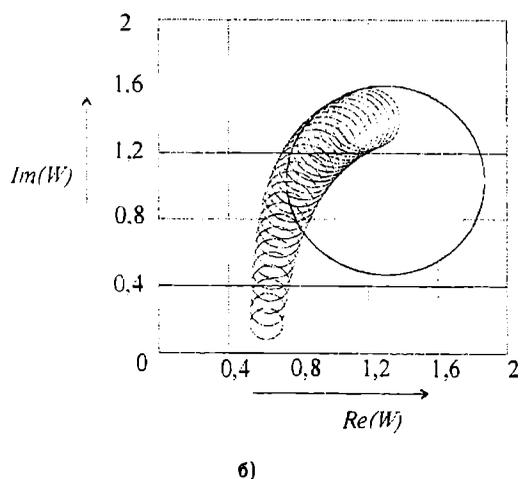


б)

Рис. 4. Движение области входного сопротивления РЛ при внесении продольного сопротивления значением (а) 10 Ом, (б) 1 Ом (интервал 25 м)



а)



б)

Рис. 5. Движение области входного сопротивления РЛ при внесении поперечного сопротивления значением (а) 0,06 Ом, (б) 1 Ом (интервал 25 м)

На рис.5 изображено перемещение области в зависимости от места внесения неисправности типа КЗ на РЛ.

Геометрическое представление комплексной величины, отражающее состояние четырехполюсника РЛ, позволяет не только определить по соответствующим областям режим работы РЦ, но и помочь в решении задачи определения места и характера возможного повреждения РЛ.

Анализ поведения нормальной области РЛ при возникновении продольных и поперечных неисправностей показал, что, во-первых, аппарат конформных отображений и дробно-линейных преобразований позволяет найти всю область изменения параметров ТРЦ; во-вторых, каждому состоянию РЛ соответствует определенная область на комплексной плоскости. Достоверность научных положений и выводов обоснована теоретически и подтверждена экспериментально на Красноярской и Западно-Сибирской железных дорогах – филиалах ОАО «РЖД». Расхождение результатов расчетов с экспериментальными данными не превышает 10 %.

Библиографический список

1. Дмитриев В.С. Рельсовые цепи тональной частоты / В.С. Дмитриев, В.А. Воронин // Автоматика, телемеханика и связь. – 1996. – № 5. – С. 27–30.

2. Власенко С.В. Автоматизированные системы технической диагностики станционных рельсовых цепей: Диссертация на соиск. уч. степ. канд. тех. наук / С.В. Власенко. – Санкт-Петербург, 1997. – 126 с.

3. Каргаполов М.И. Основы теории групп / М.И. Каргаполов, Ю.И. Мерзляков. – М.: Наука, 1982. – 271 с.

4. Введение в комплексный анализ / Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

5. Лаврентьев М.А. Методы теории функции комплексного переменного / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1987. – 688 с.

6. Борисович Ю.Г. Введение в топологию: Учеб. пособ. для вузов / Ю.Г. Борисович, Н.М. Близняков, Я.А. Израилевич, Т.Н. Фоменко. – М.: Высш. школа, 1980. – 295 с.

СЕРОШТАНОВ Сергей Сергеевич, программист управления информационных технологий.

ЛУНЕВ Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика», проректор по информатизации.

Дата поступления статьи в редакцию: 17.11.06 г.
© Сероштанов С.С., Лунев С.А.

УДК 621:436

Е. И. СКОВОРОДНИКОВ
С. М. ОВЧАРЕНКО
*** А. М. МИНИТАЕВА**
С. В. МОЧАЛОВА
М. В. ТАРУТА

Омский государственный университет путей сообщения

* Омский государственный технический университет

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В статье приведены аналитические методы, используемые для определения количества продуктов сгорания топлива в дизельных двигателях. Особое внимание уделено методу равновесного состава.

Образование продуктов сгорания в цилиндре двигателей внутреннего сгорания происходит двумя путями в результате химических реакций: окисления составляющих топлива кислородом воздуха, протекающих в процессах «сгорания – расширения», и в результате соединения азота и кислорода, содержащихся в воздухе с составляющими топлива и

продуктами сгорания. Токсичными продуктами сгорания дизельного топлива среднего элементарного состава являются сажа (углерод), оксид углерода, оксиды азота и серы, углеводороды и альдегиды.

В работе [1] представлен осредненный по данным различных исследований количественный состав

Количественный состав отработавших газов дизельных двигателей

Компонент отработавших газов дизеля	Концентрация компонентов в отработавших газах дизелей		
	%	г/м ³	г/(кВт·ч)
Азот N ₂	74,0 – 78,0	–	–
Кислород O ₂	2,0 – 18,0	–	–
Пары воды H ₂ O	0,5 – 9,0	15,00 – 100,00	–
Диоксид углерода CO ₂	1,0 – 12,0	40,00 – 40,00	–
Моноксид углерода CO	0,005 – 0,400	0,25 – 2,50	1,50 – 12,00
Оксиды азота NO _x , в том числе:	0,004 – 0,500	1,00 – 8,00	10,00 – 30,00
монооксид азота NO	0,004 – 0,500	1,00 – 4,50	6,00 – 18,00
диоксид азота NO ₂	0,00013 – 0,0130	0,10 – 0,80	0,50 – 2,00
Углеводороды C _n H _m	0,009 – 0,300	0,25 – 2,00	1,50 – 8,00
Альдегиды RCHO, в том числе:	0,0001 – 0,002	1,00 – 10,00	–
формальдегид HCHO	0,0001 – 0,0019	–	–
акролеин CH ₂ CHCHO	0,00010 – 0,00013	–	–
Оксиды серы SO _x , в том числе:	0,002 – 0,020	–	–
диоксид серы SO ₂	0,0018 – 0,0200	1,00 – 0,50	0,40 – 2,50
триоксид серы SO ₃	0,00004 – 0,0006	–	–
Сажа С	–	0,05 – 0,50	0,25 – 2,00
3,4 – бенз(а)пирен	–	(0,20 – 0,50) · 10 ⁻⁶	(1,0 – 2,0) · 10 ⁻⁶

отработавших газов дизельных двигателей различного назначения (табл. 1).

Для оценки степени экологического воздействия дизельных локомотивов на окружающую среду были проведены специальные исследования с оценкой состава и количества отработавших газов при различных условиях нагружения дизель-генераторных установок тепловозов [5, 6].

Массовая величина выбросов *i*-го вредного вещества при работе тепловоза определяется по формуле, кг:

$$G_{ik} = g_{ik} t_k, \quad (1)$$

где g_{ik} – удельный выброс *i*-го вредного вещества при работе тепловоза на *k*-й позиции контроллера машиниста, кг/ч; t_k – время работы тепловоза на *k*-м режиме, ч.

Значения g_{ik} для маневровых и магистральных тепловозов определяются по результатам экологических испытаний.

В некоторых локомотивных депо сети дорог ОАО «РЖД» внедрены пункты экологического контроля (ПЭК), предназначенные для экспериментальной оценки экологического воздействия локомотивов на окружающую среду.

Несмотря на наличие большого количества экспериментальных методов контроля экологического воздействия транспортных двигателей на окружающую среду, следует считать, что наиболее надежными, наиболее точными, наименее трудоемкими и наиболее дешевыми являются методы аналитического расчета продуктов сгорания, базирующиеся на реакциях окисления составляющих топлива кислородом воздуха, протекающих при высоких давлениях и температурах в замкнутом объеме цилиндра.

В этом случае количество горючей смеси M_1 определяется коэффициентом избытка воздуха α и теоретически необходимым количеством воздуха для сгорания единицы топлива, кмоль/кг:

$$M_1 = \alpha L_0 = \alpha(0,397C + 1,19H + 0,149S - 0,149O), \quad (2)$$

где С, Н, S, O – доли горючих элементов в составе топлива.

Согласно [2, 3] продукты полного сгорания одного килограмма жидкого топлива при коэффициенте избытка воздуха α и 1 состоят из углекислого газа CO₂, водяного пара H₂O, оксида серы SO₂, избыточного кислорода O₂ и азота N₂, поступившего с воздухом.

Для *i*-й позиции контроллера машиниста тепловоза количество продуктов сгорания топлива определяется по формулам, кг/ч:

$$M_{CO_2} = 0,083CNe_i be_i m_{CO_2}; \quad (3)$$

$$M_{H_2O} = 0,5HN_e be_i m_{H_2O}; \quad (4)$$

$$M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_0 Ne_i be_i m_{O_2}; \quad (5)$$

$$M_{SO_2} = 0,0312SNe_i be_i m_{SO_2}; \quad (6)$$

$$M_{N_2} = 0,79\alpha L_0 Ne_i be_i m_{N_2}; \quad (7)$$

где m_{CO_2} , m_{H_2O} , m_{O_2} , m_{SO_2} , m_{N_2} – молярные массы CO₂, H₂O, O₂, SO₂, N₂ соответственно, кг/кмоль.

Выражения (3) – (7) показывают, что количество продуктов сгорания топлива как при условии полного сгорания, так, очевидно, и при условии неполного сгорания в двигателях внутреннего сгорания существенно зависит от:

- элементарного состава топлива;
- эффективной мощности двигателя на определенном режиме нагрузки;
- удельного расхода топлива дизелем во всем рабочем диапазоне нагрузок;
- частоты вращения коленчатого вала дизеля;
- коэффициента избытка воздуха;
- равномерности распределения топливо-воздушной смеси по рабочему объему цилиндра двигателя и т. д.

В выражениях (3) – (7) отсутствуют параметры процесса выгорания топлива в цилиндре двигателя

(продолжительность сгорания; зависимость коэффициента избытка воздуха, давления и температуры в цилиндре двигателя от времени сгорания либо от угла поворота коленчатого вала дизеля при сгорании топлива). В этом случае предполагается, что процесс сгорания топлива в цилиндре двигателя — это процесс мгновенный, и коэффициент избытка воздуха, давление и температура рабочего тела в цилиндре двигателя достаточные, правда, неизвестно какие, чтобы обеспечить полное сгорание. Тем не менее результаты расчетов по выражениям (3) — (7) могут быть полезны для ориентировочной оценки качества работы транспортных двигателей в условиях эксплуатации.

По результатам сравнения количества M_{CO_2} , M_{H_2O} , M_{O_2} , M_{SO_2} , M_{N_2} , полученных по выражениям (3) — (7) при определенных значениях Ne_p , be_p , с рассчитанными (по каким-либо методикам) или замеренными (каким-либо способом) значениями M_{CO_2} , M_{H_2O} , M_{O_2} , M_{SO_2} , M_{N_2} , можно судить о качестве и полноте сгорания топлива в цилиндре двигателя.

Причинами неполного сгорания топлива в тепловозных дизелях являются:

- недостаток кислорода в зоне горения вследствие несовершенства смесеобразования;
- недостаточность времени для сгорания рабочей смеси в цилиндре двигателя;
- значительное количество переходных процессов в условиях эксплуатации.

В этом случае продукты сгорания состоят из углекислого газа CO_2 , оксида углерода CO , водяного пара H_2O , водорода H_2 , азота N_2 и его оксидов, небольшого количества метана CH_4 , следов других углеводородов и кислорода O_2 [2, 3].

При расчете состава и количества продуктов неполного сгорания одного килограмма топлива обычно пренебрегают содержанием кислорода, метана и других углеводородов и принимают продукты сгорания состоящими из пяти компонентов — CO_2 , CO , H_2O , O_2 , N_2 .

Для расчета используется система уравнений:

$$M_{CO_2} + M_{CO} = 0,083C; \quad (8)$$

$$M_{H_2O} + M_{H_2} = 0,5H; \quad (9)$$

$$M_{CO_2} + 0,5M_{CO} + 0,5M_{H_2O} = 0,21\alpha L_0 + 0,0312O; \quad (10)$$

$$M_{N_2} = 0,79\alpha L_0; \quad (11)$$

$$M_{H_2} = KM_{CO}. \quad (12)$$

Выражения (8) — (12) используются для расчета количества продуктов сгорания только при общем недостатке воздуха в цилиндре двигателя, т. е. при $\alpha < 1$.

Для расчета эксплуатационных экологических характеристик серийных тепловозов целесообразно использовать метод равновесного состава, сущность которого приведена в работе [4]. Этот метод методически довольно сложен и не может быть реализован без применения быстродействующих ЭВМ, однако, несмотря на это, его преимущества очевидны по следующим причинам:

— при расчете продуктов сгорания учитывается элементарный состав топлива, возможен расчет продуктов сгорания для дизельного, газового и других видов углеводородного топлива;

— состав и количество продуктов сгорания рассчитываются с учетом изменения термодинамических параметров рабочего тела в процессе выгорания топлива в цилиндре двигателя.

В общем случае согласно работе [5] в составе отработавших газов при сгорании дизельного топлива среднего элементарного состава может содержаться около 36 устойчивых элементов (табл. 2), для определения которых используются уравнения материального баланса, записанные в виде:

$$S_p = S_S / S_C; \quad (13)$$

$$\alpha S_C = \alpha_p S_{O_2}; \quad (14)$$

$$\beta_p = S_{O_2} / S_{N_2}; \quad (15)$$

$$\gamma_p = S_C / S_{H_2}, \quad (16)$$

где S_{O_2} , S_{N_2} , S_C , S_{H_2} — число атомов соответствующих элементов.

Для углеводородных видов топлива значения констант α_p , β_p , γ_p , S_p определяются по выражениям:

$$S_p = 0,3746S / C; \quad (17)$$

$$\gamma_p = 0,0839C / H; \quad (18)$$

$$\alpha_p = 1 / [2 + 1 / (2\gamma_p)]; \quad (19)$$

$$\beta_p = 1,1082(0,21 + O). \quad (20)$$

Связь между полным давлением смеси в камере сгорания P_{zi} в определенный момент процесса сгорания и парциальными давлениями отдельных компонентов P_i определена уравнением Дальтона:

$$P_{zi} = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (21)$$

где n — количество элементов в продуктах сгорания дизельного топлива.

Значения парциальных давлений отдельных продуктов сгорания P_i в цилиндре двигателя для определенной фазы сгорания определяются в результате совместного решения уравнений (17) — (21). Расчет констант равновесия реакций диссоциации газов при сгорании топлива выполняется по средней температуре рабочего тела для выбранного момента времени [5].

Тогда количество продуктов сгорания топлива m_i определяется с использованием уравнения состояния газов, кг:

$$P_i V_{nc} = m_i RT / \mu_i, \quad (22)$$

где μ_i — молярная масса i -го продукта сгорания, кг/кмоль.

Последовательное суммирование количества продуктов сгорания по интервалам времени (углу поворота коленчатого вала) от начала сгорания топлива ($\varphi = 0$) до его окончания ($\varphi = \varphi_z$) позволяет определить общее количество продуктов сгорания топлива за рабочий цикл.

Изменение основных параметров рабочего тела (объема, давления, температуры, доли сгоревшего топлива и коэффициента избытка воздуха для расчетного интервала $\varphi_{i-1} - \varphi_i$) в цилиндре двигателя происходит вследствие выделения тепла при сгорании топлива, теплообмена рабочего тела со стенками цилиндра, газового обмена между объемом цилиндра впускными и выпускными системами, изменения состава рабочего тела и т. д.

При расчете эксплуатационных экологических характеристик серийных транспортных дизелей параметры процесса выгорания топлива в цилиндре двигателя необходимо оценивать по уравнению И.И. Вибе [6]:

$$x = 1 - e^{-6,908(t/t_z)^{m+1}}, \quad (23)$$

где t_z – продолжительность сгорания топлива; t – текущее время сгорания; m – показатель сгорания.

Для исполненных двигателей серийных конструкций уравнение (24) целесообразно представить в виде:

$$\chi = 1 - e^{\ln(1 - X_z)(t/t_z)^{m+1}}, \quad (24)$$

где X_z – доля топлива, сгоревшего в цилиндре двигателя в процессе сгорания.

Для расчета зависимостей $p = f_1(\varphi)$ и $T = f_2(\varphi)$ процесс сгорания разбивается на интервалы $\Delta\varphi$, равные одному градусу поворота коленчатого вала. Давление газов в конце каждого участка (P_2) определяется по известному значению давления в начале участка (P_1) при изменении объема цилиндра от V_1 до V_2 по выражению:

$$P_2 = [0,0854q_z\Delta\chi_{1-2} + p_1(K_{1-2}V_1 - V_2)] / (K_{1-2}V_2 - V_1), \quad (25)$$

где $q_z\Delta\chi_{1-2} = q_{1-2}$;

$$\Delta\chi_{1-2} = e^{-6,908(\varphi_2/\varphi_z)^{m+1}} - e^{-6,908(\varphi_1/\varphi_z)^{m+1}};$$

$$K_{1-2} = (C_{p1-2} + C_{v1-2}) / (C_{p1-2} - C_{v1-2}),$$

где C_v , C_p – средние теплоемкости рабочего тела на исследуемом участке; φ_1 , φ_2 – углы поворота коленчатого вала, соответствующие началу и концу рассматриваемого участка.

Объемы V_1 , V_2 определяются с использованием кинематической функции s , для расчета хода поршня. Для момента начала сгорания удельный объем рабочего тела определяется с учетом величины угла опережения подачи топлива $\varphi_{он}$ и угла задержки воспламенения φ_z .

При разработке математической модели для оценки периода задержки воспламенения можно использовать формулу В. С. Семенова, которая не содержит эмпирических коэффициентов и включает параметры рабочего тела, величина которых зависит от нагрузки двигателя и частоты вращения коленчатого вала, мс:

$$\tau_i = 8225 / [(C_m P)^{0,635} T^{0,294}], \quad (26)$$

где C_m – линейная скорость поршня, м/с; P , T – давление, кПа, и температура, К, в цилиндре двигателя в начале подачи топлива.

Температура в конце элементарного анализируемого участка определяется по формуле, К

$$T_2 = T_1 P_2 \{ [1 + (\epsilon - 1) / \{2\sigma(\varphi_2)\}] / \{ [p_1 \beta_{1-2} [1 + (\epsilon - 1) / \{2\sigma(\varphi_1)\}]] \}, \quad (27)$$

где T_1 , P_1 – температура и давление в начале анализируемого участка; β_{1-2} – изменение химического коэффициента молекулярного изменения на анализируемом интервале.

Для каждого момента времени, или для каждого угла поворота коленчатого вала (φ), химический коэффициент молекулярного изменения представляется выражением

$$\beta = 1 + (\beta_{\max} - 1) \{ [1 - e^{-6,908(\varphi_1/\varphi_z)^{m+1}}] \}, \quad (28)$$

в котором

$$\beta_{\max} = [1 + \gamma_r + (H/4 + O/32)] / \{\alpha L_o(1 + \gamma_r)\}, \quad (29)$$

где γ_r – коэффициент остаточных газов.

Согласно теоретическим исследованиям [6] установлено, что количество топлива, сгоревшего в цилиндре дизеля при идеальной организации рабочего процесса, не превышает 99,9%. Несгоревшее

топливо приводит к изменению количества свободного углерода (сажи), серы, водорода и кислорода в продуктах сгорания. Корректировка количества названных элементов в общей массе продуктов сгорания выполняется по часовому расходу, элементарному составу топлива и доле сгорания элементов топлива (C, H, S, O) в продуктах сгорания с использованием выражений:

$$M_C = M_C + (b_{e_i} N_{e_i} C - \sum_{i=1}^n \Delta c_i M_i); \quad (30)$$

$$M_S = M_S + (b_{e_i} N_{e_i} S - \sum_{i=1}^n \Delta s_i M_i); \quad (31)$$

$$M_H = M_H + (b_{e_i} N_{e_i} H - \sum_{i=1}^n \Delta h_i M_i); \quad (32)$$

$$M_O = M_O + (b_{e_i} N_{e_i} O - \sum_{i=1}^n \Delta o_i M_i); \quad (33)$$

$$M_O = M_O + (b_{e_i} N_{e_i} O - \sum_{i=1}^n \Delta o_i M_i); \quad (34)$$

где Δc_i , Δs_i , Δh_i , Δo_i – углерода, серы, водорода и кислорода в i -м продукте сгорания; M_C , M_S , M_H , M_O – количество углерода, серы, водорода и кислорода в продуктах сгорания топлива, кг/ч; M_i – количество i -го продукта сгорания в отработавших газах, кг/ч.

Математическая модель, описывающая изменение параметров рабочего тела в цилиндре двигателя внутреннего сгорания за цикл, зависит от конструктивных и эксплуатационных факторов, типа моделируемых процессов, принятых допущений, вида исходных данных, используемых методов решения и т.д.

При расчете процесса выгорания топлива необходимо учитывать, что в начале процесса сгорания топлива в цилиндре двигателя коэффициент избытка воздуха стремится к бесконечности ($\alpha \rightarrow \infty$), а давление и температура сгорания в этот момент имеют минимальные значения ($P = \min$, $T = \min$). Интенсификация процесса сгорания топлива в цилиндре двигателя приводит к уменьшению коэффициента избытка воздуха и к увеличению давления и температуры рабочего тела, характер изменения названных параметров будет определяться законом выгорания топлива.

Для исполненных двигателей рабочие процессы цикла описываются дифференциальными и алгебраическими уравнениями, выражающими законы сохранения энергии, материального баланса и уравнения состояния газов.

Таким образом, предлагаемая математическая модель, разработанная для расчета параметров процесса выгорания топлива в цилиндре дизеля и учитывающая угол опережения подачи топлива, позволяет:

- определить максимальные значения термодинамических параметров рабочего цикла и изменение коэффициента избытка воздуха по мере выгорания топлива;

- получить исходные данные для расчета экологических характеристик тепловозных дизелей с учетом уровня их настройки в рядовых условиях эксплуатации.

Представленная выше математическая модель реализована для тепловозного дизеля ПД1М (6ЧН31,8/33,0), для чего определены основные параметры рабочего процесса дизеля, построены характеристики мощности дизеля $N_e = f(P_k)$;

Таблица 2
Количество продуктов сгорания топлива в дизеле ПД1М на номинальном режиме

Наименование продуктов сгорания	Количество продуктов сгорания, кг/ч
Кислород O_2	$8,9095 \cdot 10^2$
Озон O_3	$1,2247 \cdot 10^{-5}$
Водород H_2	$2,1444 \cdot 10^0$
Гидроксил OH	$5,6553 \cdot 10^{-7}$
Вода H_2O	$9,6511 \cdot 10^1$
Диоксид углерода CO_2	$2,4588 \cdot 10^2$
Оксид углерода CO	$6,6939 \cdot 10^{-4}$
Одноатомный углерод C	$0,1750 \cdot 10^0$
Метан CH_4	$8,8840 \cdot 10^{-26}$
Двухатомный азот N_2	$4,7558 \cdot 10^3$
Одноатомный азот N	$1,0542 \cdot 10^{-10}$
Оксид азота NO	$5,5976 \cdot 10^0$
Диоксид азота NO_2	$0,3789 \cdot 10^0$
Сероокись азота COS	$7,2349 \cdot 10^{-24}$
Циан CN	$2,2123 \cdot 10^{-18}$
Метин CH	$1,2732 \cdot 10^{-28}$
Метилен CH_2	$2,6083 \cdot 10^{-24}$
Метил CH_3	$1,0371 \cdot 10^{-25}$
Формил HCO	$1,3984 \cdot 10^{-11}$
Формальдегид H_2CO	$4,6094 \cdot 10^{-15}$
Этинил C_2H	$3,6851 \cdot 10^{-37}$
Ацетилен C_2H_2	$3,9975 \cdot 10^{-35}$
Аммиак NH_3	$1,2539 \cdot 10^{-10}$
Синильная кислота HCN	$1,2330 \cdot 10^{-16}$
Одноатомная сера S	$3,1273 \cdot 10^{-22}$
Двухатомная сера S_2	$1,4528 \cdot 10^0$
Оксид серы SO	$1,3344 \cdot 10^{-15}$
Диоксид серы SO_2	$1,7553 \cdot 10^{-9}$
Трехоксид серы SO_3	$1,6871 \cdot 10^{-10}$
Гидросульфид HS	$6,8715 \cdot 10^{-32}$
Сероводород H_2S	$2,8828 \cdot 10^{-23}$
Мононитрид серы NS	$3,7510 \cdot 10^{-23}$
Моносulfид углерода CS	$9,5628 \cdot 10^{-23}$

удельного расхода топлива $be = f(P_k)$; общего количества продуктов сгорания $G_{пр.сг} = f(P_k)$ по позициям контроллера машиниста. Максимальное количество продуктов сгорания для каждой позиции контроллера машиниста рассчитано по условию полного сгорания. Для номинального режима работы дизеля (8 позиция КМ) для мощности $Ne = 883$ кВт, удельного расхода топлива $be = 0,278$ кг/(кВт·ч) количество продуктов сгорания составит

$G_{пр.сг} = 6155$ кг/ч или $G_{пр.сг} = 4657$ м³/ч.

По параметрам работы дизеля ПД1М на восьмой позиции контроллера машиниста (номинальный режим) определены основные характеристики рабочего процесса дизеля для установленного (геометрического) угла опережения подачи топлива: фактический угол опережения подачи и продолжительность сгорания топлива; законы изменения давления $P_z = f(\varphi)$, температуры $T_z = f(\varphi)$,

коэффициента избытка воздуха $\alpha = f(\varphi)$ и доли сгоревшего топлива $D_x = f(\varphi)$ от угла поворота коленчатого вала дизеля в процессе сгорания.

По рассчитанным параметрам работы дизеля, используя метод равновесного состава, рассчитано количество 36 элементов, содержащихся в продуктах сгорания топлива (табл. 2.).

Использование метода равновесного состава для расчета продуктов сгорания топлива в транспортных двигателях позволит отказаться от дорогостоящих газоанализаторов, обеспечить оперативность контроля, по результатам которого можно, хотя бы косвенно, судить о техническом состоянии транспортных двигателей и качестве протекания рабочего процесса дизеля.

Библиографический список

1. В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. Токсичность отработавших газов дизелей. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.- 376 с.
2. Дизели. Справочник. / Под ред. В.А. Ваншейдта, Н.И. Иванченко, Л. К. Коллерова. Л., 1977. 479 с.
3. Временные нормы и методы определения удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с отработавшими газами дизелей эксплуатируемых тепловозов. Утверждены Минприроды СССР и МПС СССР в 1991 г. М., 1991. 9 с.

4. Звонов В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. М., 1981. 159 с.

5. Методические указания по определению влияния вредных выбросов от тепловозов на состояние атмосферного воздуха в районах железнодорожных станций и узлов. М., 1987. 41 с.

6. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. А. В. Гурвич. М., 1962. 1480 с.

СКОВОРОДНИКОВ Евгений Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры «Локомотивы».

ОВЧАРЕНКО Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Локомотивы».

МОЧАЛОВА Светлана Викторовна, инженер кафедры «Локомотивы».

МИНИТАЕВА Алина Мажитовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информационные системы».

ТАРУТА Мария Викторовна, аспирант кафедры «Локомотивы».

Дата поступления статьи в редакцию: 25.10.06 г.

© Сквородников Е.И., Овчаренко С.М., Мочалова С.В., Минитаева А.М., Тарута М.В.

УДК 620.9

П. В. БЕЗОБРАЗОВ

Омский государственный
технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ПРОТЯЖЁННОСТИ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИСТЕМ С ТУРБОКОМПРЕССОРАМИ

В статье изложены особенности моделирования распространения возмущений в трубопроводах систем с турбокомпрессорами. Предлагается метод моделирования линейного участка трубопровода с введением искусственной вязкости в дифференциальные уравнения движения жидкости. Приведены результаты моделирования распространения ударной волны и гармонических волн возмущения в трубопроводе.

При моделировании нестационарных процессов в системах с турбокомпрессорами возникает необходимость математического описания линейных участков трубопроводов в условиях распространения волн возмущения. Большинство работ в этой области рассматривают систему «компрессор – сеть» как систему с сосредоточенными параметрами [1, 2, 3]. Участок трубопровода при этом описывается как инерционное звено. Такой подход применим лишь для трубопроводов небольшой протяжённости. Для адекватного описания систем с длинными трубопроводами необходимо рассмат-

ривать трубопровод как участок сети с распределёнными параметрами. Это позволит учесть эффекты, вызванные изменением плотности вдоль оси трубопровода.

Рассмотрим распространение волн возмущения в трубопроводе. Скорость распространения волны относительно газа является функцией плотности и поэтому различна для разных точек профиля волны. В результате этого профиль волны не остаётся неизменным и изменяет со временем свою форму (рис. 1 а, б). По мере распространения волны её профиль может настолько вытянуться, что кривая

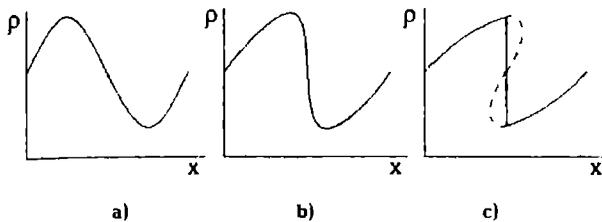
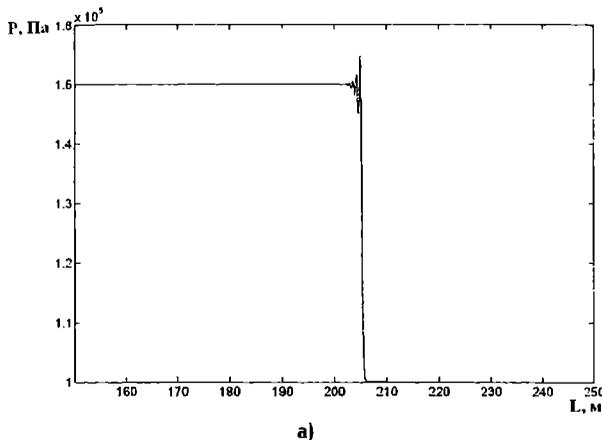
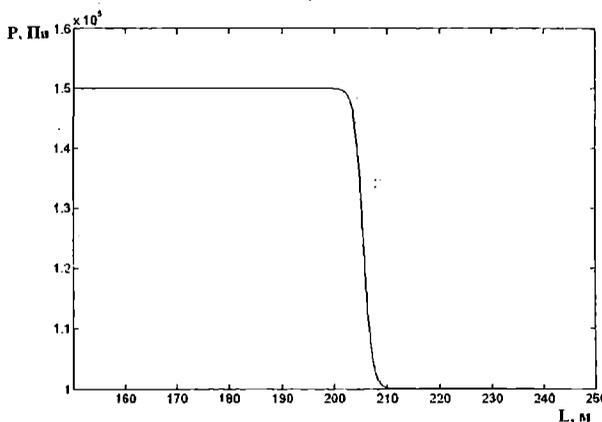


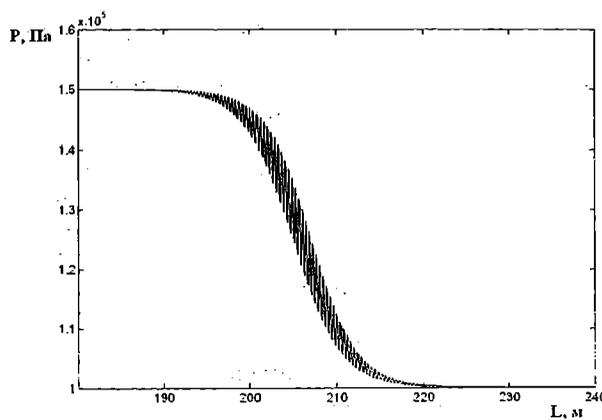
Рис. 1. Изменение профиля волны возмущения



a)



b)



с)

Рис. 2. Результаты моделирования распространения ударной волны при одномерном движении идеального невязкого газа с применением искусственной вязкости Ландсхофа (линейная вязкость) при различных значениях постоянной b_1 : $(b_1)_a$; $(b_1)_b$; $(b_1)_c = 1:10:25$

$\rho = f(x)$ оказывается неоднозначной (рис. 1 с, пунктирная линия), что физически, разумеется, невозможно. В местах неоднозначности плотности возникают разрывы, при этом плотность оказывается однозначной функцией вдоль направления распространения волны, за исключением точек разрыва. Поверхности разрыва возникают, таким образом,

на протяжении каждой длины волны, и профиль волны приобретает вид, показанный на рис. 1 (сплошная линия). Наличие разрывов приводит к диссипации энергии, что, в свою очередь, вызывает сильное затухание волны [4].

При распространении волны по трубопроводу изменение её профиля тем больше, чем больше амплитуда колебаний плотности и протяжённость трубопровода. Эффектом изменения профиля волны можно пренебречь при описании систем с возмущениями малой амплитуды, а также систем с небольшой протяжённостью трубопроводов [5]. Однако при описании систем с турбокомпрессорами необходимо учитывать указанный эффект, поскольку возникающие в этих системах нестационарные режимы характеризуются существенными амплитудами изменения параметров, а сами системы зачастую содержат трубопроводы значительной протяжённости.

Для моделирования трубопровода удобно использовать уравнения газодинамики в дифференциальной форме. Однако разрывы значений параметров приводят к неустойчивости решения дифференциальных уравнений движения жидкости в области фронта ударной волны [6].

Одним из возможных путей решения подобных задач является отслеживание положения фронта ударной волны. При этом изменение параметров поперёк фронта волны проводится по интегральным соотношениям Гюгоню, а в области гладкости решения — по уравнениям движения в дифференциальной форме. Этот метод имеет существенный недостаток — сложность определения текущего положения фронта волны.

Другим методом моделирования течений с ударными волнами является введение искусственной вязкости в уравнения движения. Она моделирует действие реальной вязкости, то есть преобразует кинетическую энергию колебательного движения в тепловую. Наличие искусственной вязкости позволяет "размазать" скачок уплотнения на несколько пространственных узлов расчётной сетки. В результате этого параметры на фронте волны изменяются непрерывно, что позволяет проводить "сквозной" расчёт течения по дифференциальным зависимостям. При этом параметры до и после фронта ударной волны соответствуют соотношениям Гюгоню [6,7].

Искусственная вязкость может быть введена в расчётную сетку явно или неявно.

Неявная вязкость вводится выбором конечно-разностной схемы. Схема может приводить к затуханию осцилляций либо за счёт ненулевого коэффициента при вторых производных по пространственным координатам, либо в случаях, когда все собственные значения соответствующей матрицы перехода становятся по модулю меньше единицы [7]. Для стабилизации расчёта сильных ударных волн неявной вязкости, как правило, недостаточно.

Явная искусственная вязкость вводится как добавочный член в уравнения движения жидкости. Выбор искусственной вязкости производится таким образом, чтобы её влияние было существенно только в области сильного сжатия потока, то есть в области формирования скачков. На волнах разряжения, которым соответствует положительный знак производной от скорости по пространственной координате, явную искусственную вязкость часто принимают равной нулю [6].

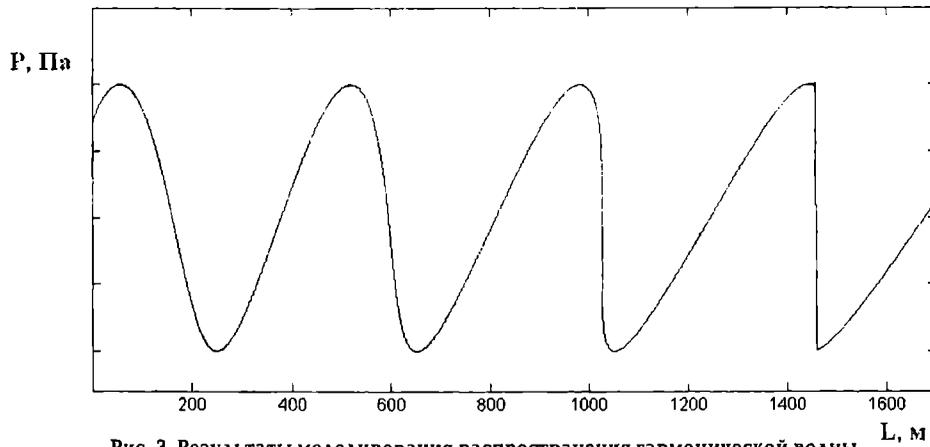


Рис. 3. Результаты моделирования распространения гармонической волны при одномерном движении идеального невязкого газа с применением искусственной вязкости Неймана-Рихтмайера

В литературе приводятся различные методы введения искусственной вязкости в расчётную схему.

Рассмотрим результаты моделирования распространения ударной волны при одномерном движении идеального невязкого газа. Систему дифференциальных уравнений для этого случая можно сокращённо представить в виде [7]:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = 0, \quad (1)$$

$$U = \begin{Bmatrix} \rho \\ \rho \cdot u \\ E_s \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

$$F = \begin{Bmatrix} \rho \cdot u \\ P + \rho \cdot u^2 \\ u \cdot (E_s + P) \end{Bmatrix}, \quad (3)$$

где E_s – удельная внутренняя энергия торможения.

$$E_s = \rho \cdot e_s = \rho \cdot \left(e + \frac{1}{2} \cdot u^2 \right). \quad (4)$$

Для идеального газа

$$e = \frac{R \cdot T}{k-1}, \quad (5)$$

$$P = \rho \cdot R \cdot T. \quad (6)$$

После введения искусственной вязкости в виде

$$q = -\alpha_B \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (7)$$

система уравнений (1-3) примет следующий вид:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F}{\partial x} = 0, \quad (8)$$

$$U = \begin{Bmatrix} \rho \\ \rho \cdot u \\ E_s \end{Bmatrix}, \quad (9)$$

$$F = \begin{Bmatrix} \rho \cdot u \\ P + \rho \cdot u^2 - \alpha_B \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ u \cdot \left[E_s + P - \alpha_B \cdot \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] \end{Bmatrix}. \quad (10)$$

Член q , как видно из системы уравнений (8-10), эквивалентен дополнительному искусственному давлению.

Ландсхоф использовал коэффициент диффузии в виде:

$$\alpha_B = \rho \cdot \frac{\Delta x}{2}, \quad (11)$$

Нейман и Рихтмайер предложили для определения коэффициента диффузии b_B следующее выражение:

$$\alpha_B = \rho \cdot (b_1 \cdot \Delta x)^2 \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right|, \quad (12)$$

где b_1 – подбираемый коэффициент; Δx – шаг сетки по пространственной переменной.

Подобную искусственную вязкость также называют квадратичной [6].

Лонгли предложил ещё две формулы для определения α_B :

$$\alpha_B = b_1 \cdot \rho \cdot u \cdot \frac{\Delta x}{2}, \quad (13)$$

$$\alpha_B = \frac{1}{2} b_1 \cdot \frac{\rho \cdot a}{P} \cdot \Delta x = \frac{1}{2} b_1 \cdot \Delta x \cdot \sqrt{\frac{k \cdot \rho}{P}}, \quad (14)$$

где a – скорость звука.

Коэффициент b_1 подбирается по результатам численных экспериментов. При малых значениях b_1 (рис. 2 а) ширина «размазывания» фронта волны незначительна, однако имеются существенные колебания давления за скачком. Увеличение b_1 (рис. 2 б) приводит к возрастанию ширины фронта волны и снижению осцилляций. При чрезмерном увеличении b_1 (рис. 2 с) отмечается появление значительных колебаний давления на «размазанном» фронте волны.

На рис. 3 показаны результаты моделирования распространения гармонических волн возмущения с применением квадратичной искусственной вязкости Неймана-Рихтмайера. Отметим изменение профиля волн по мере их продвижения с образованием скачков плотности. Природа этих явлений описывалась в начале данной статьи.

Таким образом, введение искусственной вязкости в уравнения движения жидкости обеспечивает устойчивость решения в области фронта ударной волны и позволяет проводить сквозной расчёт течения по уравнениям гидрогазодинамики в дифференциальной форме. Выбор типа искусственной вязкости зависит от конкретной задачи и целей, стоящих перед исследователем.

Предлагаемый метод расчета распространения возмущений с введением искусственной вязкости в уравнения движения жидкости может применяться при моделировании линейных участков трубо-

проводов в системах с турбокомпрессорами, например, при моделировании систем газоснабжения промышленных предприятий.

Библиографический список

1. Bifurcation Analysis of Surge and Rotating Stall in the Moore-Greitzer Compression System. // <http://www.bris.ac.uk/preprints/2002r12.pdf> - 2002.

2. Modeling and Bounded Feedback Stabilization of Centrifugal Compressor Surge by Franciscus P.T. Willems. — Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2000.

3. Jan Tommy Gravdahl, Olav Egeland, Svein Ove Vatland. Active surge control of centrifugal compressors using drive torque. - Department of Engineering Cybernetics, NTNU, N-7491 Trondheim, Norway — 2000.

4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика. — М.: Наука, 1988 — 736 с.

5. Казакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах. — М.: Машиностроение, 1974. — 264 с.

6. Разностные схемы газовой динамики / Ю.П. Попов и др. — М.: Наука, 1975. — 352 с.

7. Рочу П. Вычислительная гидродинамика. - М.: Мир, 1980. — 616 с.

БЕЗОБРАЗОВ Павел Владимирович, аспирант кафедры теплоэнергетики.

Дата поступления статьи в редакцию: 23.10.06 г.

© Безобразов П.В.

УДК 621.879

П. А. КОРЧАГИН
В. В. СТОЛЯРОВ

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ «ЭКСКАВАТОР — ЧЕЛОВЕК — ОПЕРАТОР»

В статье описывается математическая модель динамической системы «экскаватор — человек — оператор». Приведена расчетная схема одноковшового экскаватора. Даны уравнения геометрической связи и описана методика формирования уравнений динамики для системы «экскаватор — человек — оператор».

Обобщенная расчетная схема динамической системы «экскаватор — человек — оператор» показана на рис. 1. Она представляет собой систему с восемью массами: базовый трактор; передний мост экскаватора; кабина экскаватора; человек-оператор, включая массу кресла; стрела экскаватора, включая массу гидроцилиндра рукоятки стрелы; рукоять, включая массу гидроцилиндра ковша; ковш экскаватора и отвал экскаватора.

Пространственная динамическая система описана в правой инерциальной системе координат $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ (движущейся вместе с экскаватором), центр которой — точка O_0 в состоянии покоя совпадает с координатой центра масс экскаватора. Ось X_0 совпадает с направлением движения, ось Z_0 направлена вертикально вверх, а ось Y_0 является третьей осью правой ортогональной системы координат.

При описании экскаватора используются 8 локальных систем координат, соответствующих количеству сосредоточенных масс.

Для описания положений элементов системы в пространстве используются 19 обобщенных координат q_i .

Математическое описание одноковшового экскаватора как элемента сложной системы основано на следующих допущениях [1, 2]:

— экскаватор представляет собой пространственный шарнирно сочлененный многозвенник с на-

ложенными на него упруговязкими динамическими связями;

— лфты в шарнирах отсутствуют;

— элементы рабочего оборудования представлены как абсолютно жесткие стержни с сосредоточенными массами;

— силы сухого трения в гидроцилиндрах отсутствуют;

— элементы ходового оборудования имеют постоянный контакт с грунтом.

Динамические показатели виброизоляторов кабины и элементов ходового оборудования характеризуются коэффициентами жесткости C и коэффициентами вязкого трения b .

Точки центров масс S_i совпадают с точками m_i (для звеньев 1, 2, 3, 4) и с осями шарниров (для звеньев 5, 6, 7, 8). В точках центров масс приложены силы тяжести G_i . На элементы ходового оборудования действуют силы F_i : $\vec{F}_i = [F_{ix}; F_{iy}; F_{iz}; 1]^T$.

Для описания элементов экскаватора использовался метод однородных координат. Данный метод позволяет любую точку, заданную в системе координат O, X_i, Y_i, Z_i вектором R_i (рис. 2), представить в системе координат $O_{i-1}, X_{i-1}, Y_{i-1}, Z_{i-1}$ вектором R_{i-1} . Уравнение перехода в этом случае запишется в следующем виде [1]:

$$R_{i-1} = A_i \cdot R_i,$$

где A_i — блочная матрица размером 4×4 , состоящая из матриц поворота и переноса осей координат.

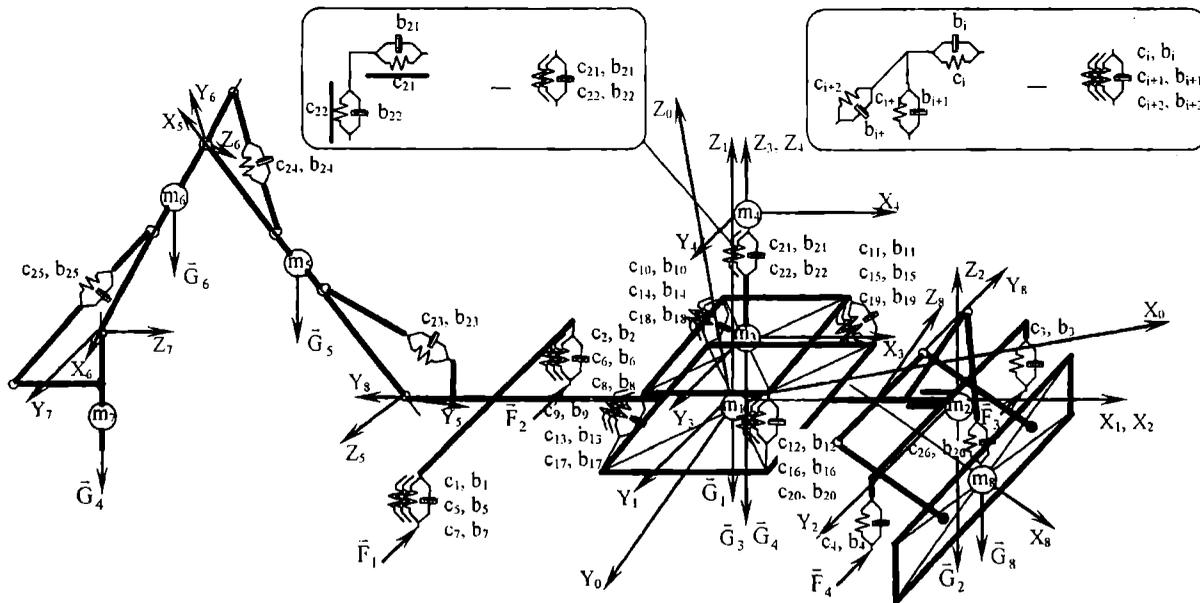


Рис. 1. Пространственная расчетная схема одноковшового экскаватора

Выражения скоростей элементов системы получены путем дифференцирования (с использованием дифференцирующих матриц) уравнений геометрических связей.

Сформированные таким образом уравнения кинематики позволяют определить положение, скорость и ускорение элементов системы в любой момент времени как в локальной, так и в инерциальной системе координат.

Известно, что любой четырехзвенный механизм может быть представлен четырьмя векторами (рис. 2): вектором \vec{R}_{0i} , соединяющим начала i и $i-1$ локальных систем координат, векторами \vec{R}_{vu} и \vec{R}_{nu} , соединяющими начала локальных систем координат с точками упруговязкого элемента, и вектором \vec{R}_n , соединяющим концы упруговязкого элемента. Отсюда вектор \vec{R}_n может быть получен следующим образом [2]:

$$\vec{R}_n = \vec{R}_{0i} + \vec{R}_{vu} - \vec{R}_{nu}$$

Для упрощения расчетов вектор подвижного конца упруговязкого элемента переведен в систему координат $i-1$ неподвижного конца.

$$\vec{R}_n = \Gamma_u \cdot \vec{R}_{vu} - \vec{R}_{nu}$$

где Γ_u — матрица перехода из системы координат i подвижного конца упруговязкого элемента в систему координат $i-1$ неподвижного конца; \vec{R}_{vu} — вектор точки координат подвижного конца упруговязкого элемента в системе координат i ; \vec{R}_{nu} — вектор точки координат неподвижного конца упруговязкого элемента в системе координат $i-1$.

Линеаризация полученных выражений проведена методом Тейлора. В результате получены уравнения подвижных концов упруговязких элементов в линеаризованной форме [1]:

$$\vec{R}_{vu} = \sum_{j=1}^l M_{uj} \cdot q_j \cdot \vec{R}_u$$

где $M_{uj} = \frac{\partial \Gamma_u}{\partial q_j}$.

Векторы скорости концов упруговязких элементов в линеаризованной форме имеют вид [1]:

$$\dot{\vec{R}}_{vu} = \frac{d\vec{R}_{vu}}{dt} = \sum_{j=1}^l M_{uj} \cdot \dot{q}_j \cdot \vec{R}_u$$

Полученные уравнения позволяют определить координаты, значение скорости подвижных концов упруговязких элементов в любой момент времени.

Принятая в работе расчетная схема позволяет составить уравнения динамики системы «экскаватор — человек — оператор». Для этого использовался метод уравнений Лагранжа второго рода. Уравнения движения будут иметь вид [2]:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} \right] - \frac{\partial K}{\partial q_j} + \frac{\partial P}{\partial q_j} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_j} = Q_j$$

Полная кинетическая энергия звеньев экскаватора получена как сумма кинетических энергий всех звеньев, обладающих инерционными свойствами [2]:

$$K = \sum_{i=1}^k K_i$$

Если представить каждое звено как совокупность множества точек с координатами \vec{R}_i , заданными в локальной системе координат данного звена и имеющими бесконечно малую массу dm , то кинетическая энергия звена определится по формуле [2]:

$$dK_i = \frac{1}{2} |\dot{\vec{R}}_{0i}|^2 dm$$

Учитывая, что

$$|\dot{\vec{R}}_{0i}|^2 = \text{tr} [\dot{\vec{R}}_{0i} \dot{\vec{R}}_{0i}^T]$$

и используя выражение

$$\dot{\vec{R}}_{0i} = \sum_{j=1}^l U_{ij} \frac{dq_j}{dt} \cdot \vec{R}_i = V_i \cdot \vec{R}_i$$

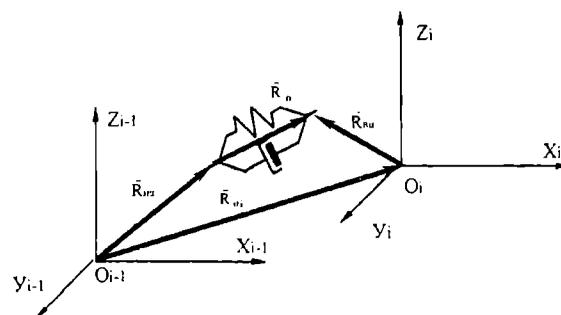


Рис. 2. Векторное описание четырехзвенного механизма /1/

получим [2]:

$$dK_i = \frac{1}{2} \text{tr} \left[V_i \bar{R}_i \bar{R}_i^T V_i^T \right] dm.$$

Полную кинетическую энергию звена определим с помощью интегрирования [2]:

$$K_i = \frac{1}{2} \text{tr} \left[V_i \left[\int_{(m)} R_i R_i^T dm \right] V_i^T \right] = \frac{1}{2} \text{tr} \left[V_i H_i V_i^T \right]$$

Определим H_i по формуле [1]:

$$H_i = \int_{(m)} R_i R_i^T dm = \begin{bmatrix} \int_{(m)} X_i^2 dm & \int_{(m)} X_i Z_i dm & \int_{(m)} X_i Y_i dm & \int_{(m)} X_i dm \\ \int_{(m)} X_i Z_i dm & \int_{(m)} Z_i^2 dm & \int_{(m)} Z_i Y_i dm & \int_{(m)} Z_i dm \\ \int_{(m)} X_i Y_i dm & \int_{(m)} Z_i Y_i dm & \int_{(m)} Y_i^2 dm & \int_{(m)} Y_i dm \\ \int_{(m)} X_i dm & \int_{(m)} Z_i dm & \int_{(m)} Y_i dm & m_i \end{bmatrix}$$

Кинетическая энергия всех звеньев динамической системы будет равна:

$$K = \sum_{i=1}^k \frac{1}{2} \text{tr} \left[V_i H_i V_i^T \right].$$

Продифференцируем это выражение и получим:

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j} \right] = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k \text{tr} \left[U_{ij} H_i U_{ij}^T \right] \dot{q}_j.$$

Потенциальную энергию системы определим как сумму потенциальных энергий звеньев в поле тяготения P_y и потенциальной энергии упругих элементов P_u [1]:

$$P = P_y + P_u.$$

Потенциальную энергию в поле сил тяготения P_y для принятой расчетной схемы определим по формуле [1]:

$$P_g = \sum_{i=1}^k m_i g G^T T_i R_i;$$

где $G = [0 \ 1 \ 0 \ 0]^T$; g — ускорение свободного падения.

Потенциальную энергию упругих элементов P_u определим из уравнения Клайперона [2]:

$$P_y = \sum_{u=1}^n C_u \lambda_u^2,$$

где C_u — коэффициент упругости u -го упругого элемента; λ_u^2 — полная деформация u -го упругого элемента.

Для принятой расчетной схемы последнее выражение запишется следующим образом [2]:

$$P_y = \sum_{u=1}^n C_u \left| \bar{R}_u \right|^2.$$

С учетом выражений $\bar{R}_0 = T_i \cdot \bar{R}_i$ и

$$\bar{R}_{vu} = \sum_{j=1}^k M_{uj} \cdot q_j \cdot \bar{R}_u \text{ можно записать:}$$

$$P_y = \sum_{u=1}^n \text{tr} \left[Q_u N_u Q_u^T \right],$$

$$\text{где } N_u = C_u \left| \bar{R}_u \bar{R}_u^T \right|; Q_u = \sum_{u=1}^n M_{uj} \cdot q_j.$$

Уравнение для полной потенциальной энергии примет вид [2]:

$$P = \sum_{i=1}^k m_i g G^T T_i \bar{R}_i + \frac{1}{2} \sum_{u=1}^n \text{tr} \left[Q_u N_u Q_u^T \right].$$

Продифференцируем данное уравнение и получим [2]:

$$\frac{\partial P}{\partial q_j} = \sum_{i=1}^k m_i g G^T U_{ij} \bar{R}_i + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \sum_{u=1}^n \text{tr} \left[M_{uj} N_u M_{uj}^T \right].$$

Диссипативная функция системы Φ представлена в виде функции Релея [1]:

$$\Phi = \sum_{u=1}^n b_u \lambda_u^2,$$

где b_u — приведенный коэффициент вязкости u -го элемента; λ_u — скорость деформации u -го элемента.

Для принятой расчетной схемы последнее выражение примет вид [2]:

$$\Phi = \sum_{u=1}^n b_u \left| \bar{R}_u \right|^2.$$

Продифференцируем это выражение и получим [2]:

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_{u=1}^n \text{tr} \left[W_u B_u W_u^T \right],$$

$$B_u = b_u \left| \bar{R}_u \bar{R}_u^T \right|,$$

$$W_u = \sum_{u=1}^n M_{uj} \cdot q_j.$$

Внешние силы, воздействующие на рабочий орган и элементы ходового оборудования, представлены в виде вектора столбца обобщенных сил Q_j , действующих по обобщенным координатам. Элементы вектора столбца определяются по формуле [1]:

$$Q_j = \sum_{r=1}^m \bar{F}_r \frac{\partial \bar{R}_{0r}}{\partial q_j},$$

где \bar{F}_r — силы, приложенные к звеньям расчетной силы; \bar{R}_{0r} — вектор координат точки приложения силы в инерциальной системе координат.

Для принятой расчетной схемы получим [2]:

$$\bar{Q}_j = \sum_{r=1}^m \bar{F}_r U_{ij} \bar{R}_{ir},$$

где \bar{R}_{ir} — вектор координат точки, приложенной в локальной системе координат.

Подставим в уравнение Лагранжа второго рода выражения кинетической и потенциальной энергий, диссипативной функции и обобщенных сил и получим систему уравнений, каждое из которых имеет вид [1]:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \text{tr} \left[U_{ij} H_i U_{ij}^T \right] \dot{q}_j + \sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^k \text{tr} \left[M_{uj} B_u M_{uj}^T \right] \dot{q}_j + \sum_{u=1}^n \sum_{j=1}^k \text{tr} \left[M_{uj} N_u M_{uj}^T \right] q_j + \sum_{i=1}^k m_i g G^T U_{ij} \bar{R}_i = \sum_{r=1}^m \bar{F}_r U_{ij} \bar{R}_{ir}.$$

Полученная система уравнений в векторно-матричной форме будет иметь вид [1]:

$$A_q \ddot{q} + B_q \dot{q} + C_q q = \bar{Q}_r,$$

где A_q , B_q , C_q — матрицы коэффициентов дифференциальных уравнений размером 19×19 ; \ddot{q} , \dot{q} , q — матрицы размером 19×1 , представляющие малые значения соответственно ускорений, скоростей и обобщенных координат; \bar{Q}_r — матрица сил размером 19×1 .

Элементы матриц A_q , B_q , C_q определяются по следующим формулам [2]:

$$a_{jv} = \sum_{i=1}^k \text{tr} \left[U_{ij} H_i U_{iv}^T \right],$$

$$b_{jv} = \sum_{u=1}^n \text{tr} \left[M_{uj} B_u M_{uv}^T \right],$$

$$c_{jv} = \sum_{u=1}^n \text{tr} [M_{uj} N_u M_{uv}^T].$$

Таким образом, получена математическая модель динамической системы «экскаватор — человек — оператор», представляющая собой систему с девятнадцатью дифференциальными уравнениями второго порядка с переменными коэффициентами, являющимися функциями конструктивных параметров и больших значений обобщенных координат.

Библиографический список

1. Вибрация в технике. Справочник в 6-ти т. /Под ред. К.В. Фролова. - М.: Машиностроение, 1981. - 456 с.

2. Снижение динамических воздействий на одноковшовый экскаватор: Монография / В.С. Щербаков, П.А. Корчагин. - Омск: Изд-во СибАДИ. 2000. - 147 с.

КОРЧАГИН Павел Александрович, кандидат технических наук, доцент, начальник учебно-методического управления.

СТОЛЯРОВ В.В., аспирант.

Дата поступления статьи в редакцию: 22.11.06 г.

© Корчагин П.А., Столяров В.В.

УДК 621.892

Н. В. ДОРОШЕНКО
С. В. ДОРОШЕНКО

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

ОСОБЕННОСТИ ПОДБОРА НОМЕНКЛАТУРЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ СМЕШАННОГО ПАРКА МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В условиях предприятий, эксплуатирующих многочисленный разномарочный парк отечественной и зарубежной техники, общепринятая методика подбора моторных масел по классификациям, разработанным в различных стандартах, а также спецификациям производителей техники, осложняется рядом факторов. К ним относятся: отсталость отечественных стандартов, многообразие сходных по своим характеристикам масел различных производителей, отличия в экологических требованиях разных стран, а также отсутствие учета влияния условий эксплуатации. В таких условиях целесообразно разработать методику подбора максимально унифицированной номенклатуры моторных масел.

В международной практике при подборе моторного масла для конкретного двигателя действуют общие правила. С учетом требований конструкции двигателя и условий эксплуатации масло подбирается по двум основным критериям:

— вязкостно-температурные свойства масла. Определяют в большинстве стран мира. Общепринятой служит классификация, разработанная Американским обществом автомобильных инженеров в стандарте SAE J300 DEC 99, введенном в действие с 08.2001;

— уровень эксплуатационных свойств и область их применения. Определяются по различным классификациям в следующих стандартах:

ГОСТ 17479.1-85 разработан Министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР;

классификация API — разработана Американским институтом нефти;

классификация ACEA — разработана Европейской ассоциацией автомобильных производителей;

классификация JASO — разработана Японской организацией автомобильных стандартов;

классификация ILSAC — разработана совместно американскими и японскими автопроизводителями в рамках Международного комитета по стандартизации и одобрению смазочных материалов (IL-SAC).

Кроме того, любой член Европейской ассоциации автомобильных производителей в дополнение к единым требованиям классификации может выдвигать свои, специфические, требования путем введения дополнительных испытаний масел в двигателе собственной конструкции или специальных испытаний на совместимость с резинотехническими изделиями, испытаниями по определению сроков замены и так далее. Такие дополнительные требования регламентируются в фирменных спецификациях на моторные масла производителями техники. Наиболее известные Daimler Chrysler (Mercedes-Benz), Volkswagen (VW), Man и другие.

Однако, несмотря на многообразие нормативных документов, классифицирующих моторные

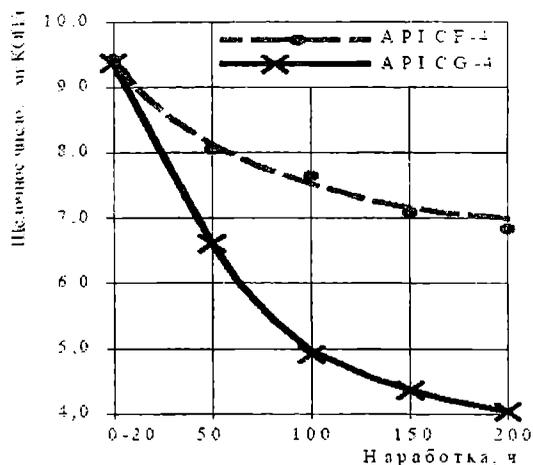


Рис. 1. Изменение щелочного числа моторного масла в зависимости от наработки при содержании серы в дизельном топливе до 0,5%, по информации [3]

масла, существует ряд факторов, затрудняющих подбор номенклатуры для предприятий, эксплуатирующих разномарочный парк как отечественной, так и зарубежной техники.

Первым фактором, осложняющим подбор, является отсталость отечественного стандарта от зарубежных. Классификация современных моторных масел по ГОСТ 17479.1-85 невозможна в силу отсутствия нескольких групп, соответствующих выпускаемой технике.

Вторым фактором является чрезмерное многообразие марок масел, выпускающихся различными фирмами, которые зачастую сходны по своим основным характеристикам.

На подбор моторных масел также влияет различие экологических требований, предъявляемых действующим законодательством стран Европы, США, Японии об ограничении содержания твердых частиц и окислов азота в отработавших газах [1].

Учет этих требований при классифицировании масел по стандартам соответствующих стран приводит к тому, что одни и те же марки масел относятся к различным эксплуатационным группам, учитывающим экологические показатели. То есть масло категории качества E4/E5/E7 может соответствовать лишь группе CF по API, и в то же время масло группы CH-4/CG-4/CF-4 по API может соответствовать лишь категории E3 по ACEA.

Еще одним фактором являются различия в требованиях к содержанию серы в топливе, что влияет на экологические показатели. Особенно это актуально для России, так как ГОСТ 305-82 регламентирует содержание серы до 0,2%, что превышает требования Европейских норм EN-590, в которых ограничение на содержание серы не более 0,05%.

Используя масла группы качества A3/V3 по ACEA, CG-4 по API (масла с увеличенным интервалом замены) и применяя дизельное топливо с

содержанием серы до 0,5% по ГОСТ 305-82 вид II при испытаниях на дизельном двигателе КамАЗ 740.50-360, были получены результаты: щелочное число, один из основных показателей, характеризующих работоспособность моторного масла, снижается до предельного значения (с 9,4 до 4,0) за 200 м/ч. [3]. Данные представлены на рисунке 1.

Аналогично по данным «Центральных лабораторий GME Engineering» при проведении испытаний, применяя топливо с высоким содержанием серы, 5000 ppm, щелочное число масла снижалось с 9,5 до 3,5 за 12000 км пробега вместо заложенных 45000 км при применении десульфированного топлива <10 ppm. [2].

Следует отметить и фактор отсутствия в вышеперечисленных классификациях учета условий применения моторных масел показателей, характеризующих устойчивость масел к действию различных процессов, обусловленных условиями применения. В частности, к таким процессам относится загрязнение механическими примесями и водой, негативно сказывающееся на эксплуатационных свойствах масел.

Таким образом, учитывая вышеизложенные факторы, осложняющие подбор моторных масел в условиях предприятий, эксплуатирующих многочисленный разномарочный парк отечественной и зарубежной техники, целесообразно разработать методику подбора максимально унифицированной номенклатуры моторных масел с учетом условий эксплуатации техники, конструктивных особенностей двигателей и качества используемого топлива. А применение на предприятиях лабораторных методов диагностирования состояния моторных масел позволит установить рациональные сроки замены смазочных материалов.

Библиографический список

1. Bengt Otterholm. Моторные масла для тяжело нагруженных дизелей/ Bengt Otterholm// Международная конференция «Производство и рынок смазочных материалов-2005»: Тез. докл. — М., 2005.
2. Edwin Leber. Значение анализа моторных масел в автомобильной промышленности/ Edwin Leber // Международная конференция «Производство и рынок смазочных материалов-2005»: Тез. докл. — М., 2005.
3. Хафизова Г.П. Моторные масла для двигателей КамАЗ уровня Евро-2, Евро-3/ Хафизова Г.П. // Международная конференция «Производство и рынок смазочных материалов-2005»: Тез. докл. — М., 2005.

ДОРОШЕНКО Николай Владимирович, аспирант кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели».

ДОРОШЕНКО Станислав Владимирович, соискатель кафедры «Теплотехника и тепловые двигатели».

Дата поступления статьи в редакцию: 23.11.06 г.
© Дорошенко Н.В., Дорошенко С.В.

Книжная полка

Вахламов В.К. Автомобили: Конструкция и элементы расчета: учебник / В.К. Вахламов. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 400 с.

В учебнике рассмотрены классификация и конструкция систем, агрегатов, механизмов различных типов автомобилей, их рабочие процессы и предъявляемые к ним требования. Изложены элементы расчета для определения нагрузок, действующих на агрегаты и механизмы.

Для студентов высших учебных заведений.

УДК 621.313

А. Н. НОВОЖИЛОВ
О. А. АНДРЕЕВА
М. П. ВОЛИКОВА
А. А. ГАСПАРЯН
Т. А. НОВОЖИЛОВ

Павлодарский государственный
университет им. С. Торайгырова,
Республика Казахстан

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ТРАНСФОРМАТОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМАХ

Предложен метод приведения математической модели трехфазной электрической машины или трансформатора к двухфазной, оси фаз которой сдвинуты на 120 электрических градусов, что позволяет сократить число уравнений модели в полтора раза и получать токи в их естественном виде.

Анализ поведения устройств релейной защиты и диагностики трехфазных электрических машин и трансформаторов осуществляют в естественных эксплуатационных и аварийных режимах работы. При этом особое внимание уделяют переходным процессам [1,2,3].

Переходные процессы эксплуатационного характера возникают при переходе от одного установившегося режима к другому при эксплуатационных переключениях. Они могут быть вызваны изменением напряжений электрических сетей, сопротивлений обмоток или нагрузки, внешнего

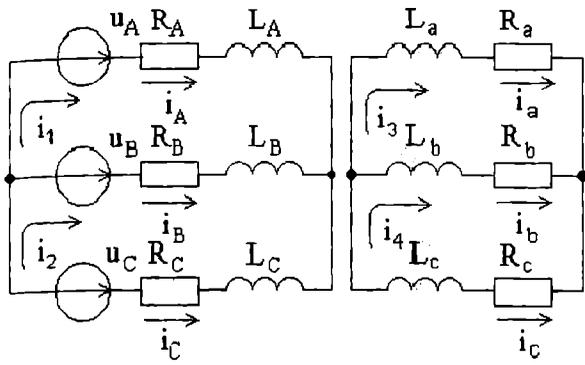


Рис. 1. Распределение токов в обмотках АД

вращающего момента, приложенного к валу. К ним относят также включение в сеть переменного тока генератора, трансформатора или асинхронного двигателя. Аварийные переходные процессы в них возникают при внезапных симметричных и несимметричных коротких замыканиях в обмотках или сети [4,5,6].

Если при переходном процессе скорости вращения роторов машин практически неизменны, то его считают электромагнитным. Электромагнитными являются также все переходные процессы в трансформаторах. При существенных изменениях скоростей роторов переходные процессы считаются электромеханическими.

Наиболее полно процесс преобразования энергии в асинхронных двигателях и трехфазных трансформаторах в переходных и стационарных процессах описывает математическая модель с фазовыми координатами [4,5]. Ее дифференциальные уравнения составляются по законам Кирхгофа для фазных напряжений. Она позволяет моделировать электрическое и электромеханическое преобразование энергии с учетом нелинейностей параметров машины и несимметрии напряжений. Ее можно использовать как для электрических машин, так и для трансформаторов. Особенности ее применения рассмотрены на примере моделирования процессов в асинхронном двигателе с короткозамкнутым и фазным ротором, а также в трехфазных трансформаторах.

На рис. 1 изображена схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Его работа при отсутствии короткого замыкания в обмотке статора описывается системой уравнений [4,5]

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt}, & 0 &= R_a i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt}, & 0 &= R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt}, & 0 &= R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

и уравнением движения вращающихся частей

$$M_s - M_c = J \frac{d\omega_r}{dt}, \quad (2)$$

где u_j, i_j — мгновенные фазные напряжения и токи обмоток статора и ротора ($j=A, B, C, a, b, c$); R_j — активные сопротивления обмоток фаз статора и ротора; ψ_j — результирующие потокоцепления; M_s и M_c — электромагнитный момент машины и момент сопротивления приводного механизма; J — момент инерции системы; ω_r — угловая скорость вращения ротора.

Потокоцепления с фазами обмоток статора и ротора по [4,5] выражаются через токи фаз и соответ-

ствующие индуктивности. Например, для фаз A и а статора и ротора

$$\psi_{AB} = i_A L_{AA} + i_B L_{BA} + i_C L_{AC} + i_a L_{Aa} + i_b L_{Ab} + i_c L_{Ac}, \quad (3)$$

$$\psi_a = i_A L_{Aa} + i_B L_{Ba} + i_C L_{Ca} + i_a L_{aa} + i_b L_{ab} + i_c L_{ac}.$$

Если магнитная цепь не насыщена, то собственные индуктивности фаз

$$L_A = L_{Am} + L_{A\delta}, \quad L_B = L_{Bm} + L_{B\delta}, \quad L_C = L_{Cm} + L_{C\delta}, \quad (4)$$

$$L_a = L_{am} + L_{a\delta}, \quad L_b = L_{bm} + L_{b\delta}, \quad L_c = L_{cm} + L_{c\delta},$$

а их взаимные индуктивности между фазами статора и ротора

$$\begin{aligned} L_{AB} &= L_{ABm} + L_{AB\delta}, \quad L_{BC} = L_{BCm} + L_{BC\delta}, \quad L_{CA} = L_{CAm} + L_{CA\delta}, \\ L_{ab} &= L_{abm} + L_{ab\delta}, \quad L_{bc} = L_{bcm} + L_{bc\delta}, \quad L_{ca} = L_{cam} + L_{ca\delta} \end{aligned} \quad (5)$$

Высшие гармонические воздушного зазора учитываются только при расчете индуктивностей (4) и взаимных индуктивностей (5) рассеяния, помеченных индексом δ [5]. Остальные индуктивности и взаимные индуктивности обозначены индексом m . Они связаны только с основной гармонической поля зазора и рассчитываются по формулам для главных и взаимных индуктивностей. В симметричной приведенной машине главные индуктивности всех фаз обмоток одинаковы и не зависят от углового положения ротора

$$L_{Am} = L_{Bm} = L_{Cm} = L_{am} = L_{bm} = L_{cm} = L_m;$$

$$L_m = \frac{4\mu_0}{p\pi^2} (w_1 k_{01})^2 \frac{\tau l_\delta}{\delta k_\delta},$$

где L_m — максимальная приведенная взаимная индуктивность между фазами статора и ротора; p — число пар полюсов; w_1 и k_{01} — число витков обмотки статора и ее обмоточный коэффициент; τ — полюсное деление; l_δ — длина воздушного зазора; δ и k_δ — величина воздушного зазора и коэффициент Картера.

Главные взаимные индуктивности между фазами статора и ротора также равны между собой

$$L_{ABm} = L_{BCm} = L_{CAm} = -L_m/2 \quad (6)$$

$$\text{и } L_{abm} = L_{bcm} = L_{cam} = -L_m/2.$$

Взаимные индуктивности между фазами статора и ротора зависят от углового положения ротора, определяемого величиной электрического угла γ между осями фаз A и a

$$\begin{aligned} L_{Aa} &= L_{Bb} = L_{Cc} = L_m \cos \alpha_{Aa}, \quad L_{Ab} = L_{Bc} = L_{Ca} = L_m \cos \alpha_{Ab}, \\ L_{Ac} &= L_{Ba} = L_{Cb} = L_m \cos \alpha_{Ac}, \end{aligned} \quad (7)$$

где электрические углы между осями фаз статора и ротора имеют значения

$$\alpha_{Aa} = p\gamma, \quad \alpha_{Ab} = p\gamma + 2p/3 \quad \text{и} \quad \alpha_{Ac} = p\gamma + 4p/3.$$

При моделировании работы асинхронного двигателя с фазным ротором в уравнения обмотки ротора следует добавить слагаемые падения напряжения на щетках и добавочных сопротивлениях. В результате система уравнений (1) примет вид

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt}, & u_a &= (R_a + R_{до\delta} + R_{щ}) i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt}, & u_b &= (R_b + R_{до\delta} + R_{щ}) i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt}, & u_c &= (R_c + R_{до\delta} + R_{щ}) i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где $R_{до\delta}$ и $R_{щ}$ — сопротивление добавочное и щеток.

Систему уравнений (1)+(3) можно использовать и для моделирования работы трехфазных трансформаторов. В результате незначительных преобразований получим

$$\left. \begin{aligned} u_A &= R_A i_A + \frac{d\psi_A}{dt}, & u_a &= R_a i_a + \frac{d\psi_a}{dt} \\ u_B &= R_B i_B + \frac{d\psi_B}{dt}, & u_b &= R_b i_b + \frac{d\psi_b}{dt} \\ u_C &= R_C i_C + \frac{d\psi_C}{dt}, & u_c &= R_c i_c + \frac{d\psi_c}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где u_a , u_b и u_c — напряжения фаз А, В и С вторичной обмотки трансформатора.

Следует добавить, что при моделировании работы трансформаторов в уравнениях (1)÷(7) математической модели сопротивления (5)÷(6) взаимной индукции между фазами в случае несимметричного сердечника не равны между собой. Фазные координаты принимают постоянными. При этом электрический угол γ между осями фаз А и а считают равным нулю, а в уравнениях (7) углы $\alpha_{Aa} = 0$, $\alpha_{Ab} = 2p/3$ и $\alpha_{Ac} = 4p/3$. Сопротивление нагрузки добавляется к активному сопротивлению ротора, а уравнение движения (2) отсутствует. В случае группы однофазных трансформаторов в уравнениях (1)÷(7) математической модели не учитывают сопротивления (5)÷(6) взаимной индукции между фаз.

Достаточно просто такая математическая модель формируется и для иной схемы соединения обмоток статора и ротора, а также других групп соединений обмоток трансформатора.

При коротких замыканиях в асинхронном двигателе переходной процесс можно считать электромагнитным, так как скорость вала от момента замыкания до момента отключения двигателя релейной защитой практически неизменна. Поэтому уравнением движения (2) пренебрегают. Поскольку время срабатывания большей части защит превышает $t_{cp} = 0,04-0,06$ с, то переходной процесс можно считать установившимся и перейти от дифференциальных уравнений к алгебраическим путем замены оператора дифференцирования d/dt на $j\omega$.

Несмотря на несомненные достоинства уравнений машины с фазовыми координатами, составляемых по законам Кирхгофа для фазных напряжений, ее использование для моделирования работы машины затруднено. Это вызвано тем, что система модели содержит большое число неизвестных [5] и периодически изменяющиеся во времени коэффициенты. Кроме того, количество уравнений возрастает, например, при некоторых других схемах соединения. Как показала практика использования математических моделей, для анализа переходных и установившихся процессов возможностей ПЭВМ [6] достаточно в том случае, если число уравнений не превышает пяти. При этом напряжения фаз с несимметрией в сети или со стороны нагрузки известны не всегда, так как могут отсутствовать выводы нулевой точки обмоток или обмотка соединена в звезду.

Решить эти проблемы можно, составляя систему дифференциальных уравнений модели для линейных напряжений с использованием метода контурных токов [6]. Но составлять их непосредственно по схеме достаточно сложно из-за большого количества магнитосвязанных элементов. В данной работе предлагается простой метод получения этих уравнений непосредственно из систем уравнений типа (1) и (8). Метод формирования системы уравнений такой математической модели рассматривается на примере трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Уравнения математической модели для междуфазных напряжений u_{AB} и u_{BC} получают из (1)÷(5) путем вычитания соответствующих строк. В результате

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= i_A R_A - i_B R_B + \frac{d\psi_{AB}}{dt}, & 0 &= i_a R_a - i_b R_b + \frac{d\psi_{ab}}{dt}, \\ u_{BC} &= i_B R_B - i_C R_C + \frac{d\psi_{BC}}{dt}, & 0 &= i_b R_b - i_c R_c + \frac{d\psi_{bc}}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где потокосцепления

$$\begin{aligned} \psi_{AB} &= i_A(L_A - L_{AB}) + i_B(L_{AB} - L_B) + i_C(L_{AC} - L_{BC}) + \\ &+ i_a(L_{Aa} - L_{Ca}) + i_b(L_{Ab} - L_{Bb}) + i_c(L_{Ac} - L_{Bc}); \\ \psi_{BC} &= i_A(L_{AB} - L_{AC}) + i_B(L_B - L_{BC}) + i_C(L_{BC} - L_C) + \\ &+ i_a(L_{Ba} - L_{Ca}) + i_b(L_{Bb} - L_{Cb}) + i_c(L_{Bc} - L_{Cc}); \\ \psi_{ab} &= i_A(L_A - L_{AB}) + i_B(L_{AB} - L_B) + i_C(L_{AC} - L_{BC}) + \\ &+ i_a(L_{Aa} - L_{Ba}) + i_b(L_{Ab} - L_{Bb}) + i_c(L_{Ac} - L_{Bc}); \\ \psi_{bc} &= i_A(L_{AB} - L_{AC}) + i_B(L_B - L_{BC}) + i_C(L_{BC} - L_C) + \\ &+ i_a(L_{Ba} - L_{Ca}) + i_b(L_{Bb} - L_{Cb}) + i_c(L_{Bc} - L_{Cc}). \end{aligned}$$

В уравнениях системы (10) с учетом рис.1 легко заменить токи фаз токами контуров, так как

$$i_A = i_1, \quad i_B = i_2 - i_1, \quad i_C = -i_2, \quad i_a = i_3, \quad i_b = i_4 - i_3, \quad i_c = -i_4. \quad (11)$$

При условии, что междуфазные напряжения в уравнениях короткозамкнутого ротора равны нулю, получим

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= i_1(R_A + R_B) - i_2 R_B + \frac{d\psi_1}{dt}, & 0 &= i_3(R_a + R_b) - i_4 R_b + \frac{d\psi_3}{dt}, \\ u_{BC} &= (i_2 - i_1)R_B + i_2 R_C + \frac{d\psi_2}{dt}, & 0 &= (i_4 - i_3)R_b + i_c R_4 + \frac{d\psi_4}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

В системе (12) потокосцепления контуров

$$\begin{aligned} \psi_1 &= i_1 L_{11} + i_2 L_{12} + i_3 L_{13} + i_4 L_{14}, \\ \psi_2 &= i_1 L_{21} + i_2 L_{22} + i_3 L_{23} + i_4 L_{24}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\psi_3 = i_1 L_{31} + i_2 L_{32} + i_3 L_{33} + i_4 L_{34},$$

$$\psi_4 = i_1 L_{41} + i_2 L_{42} + i_3 L_{43} + i_4 L_{44},$$

при этом собственные индуктивности контуров

$$L_{11} = L_A - 2L_{AB} + L_B, \quad L_{22} = L_B - 2L_{BC} + L_C,$$

$$L_{33} = L_a - 2L_{ab} + L_b, \quad L_{44} = L_b - 2L_{bc} + L_c,$$

а взаимные индуктивности контуров соответственно

$$L_{12} = L_{21} = L_{AB} - L_{AC} - L_B + L_{BC},$$

$$L_{13} = L_{31} = L_{Aa} - L_{Ab} - L_{Ba} + L_{Bb},$$

$$L_{14} = L_{41} = L_{Ab} - L_{Ac} - L_{Bb} + L_{Bc},$$

$$L_{23} = L_{32} = L_{Ba} - L_{Bb} - L_{Ca} + L_{Cb},$$

$$L_{24} = L_{42} = L_{Bb} - L_{Bc} - L_{Cb} + L_{Cc},$$

$$L_{34} = L_{43} = L_{ab} - L_{ac} - L_b + L_{bc}.$$

В этом случае уравнение моментов и движения представляют в виде

$$M_s = \sum_{k=1,2} i_k \sum_{n=3,4} i_n \frac{dL_{kn}}{d\alpha_{kn}}; \quad J \frac{d\omega_r}{dt} = M_s + M_c. \quad (14)$$

В результате трехфазная электрическая машина оказывается приведенной к двухфазной, оси фаз которой сдвинуты на 120 электрических градусов, что позволяет при моделировании получать токи в их естественном виде и облегчает прямой анализ процессов в машине.

На основе предложенного метода легко сформировать уравнения математической модели трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, например, при витковом замыкании в фазе А обмотки статора. В соответствии с рис. 2 пишутся семь уравнений для фазных напряжений, путем вычитания получают пять уравнений для

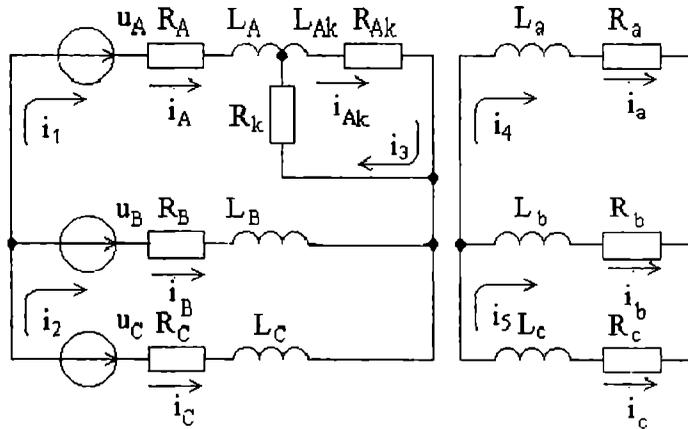


Рис. 2. Распределение токов в обмотках АД при витковом замыкании

междуфазных напряжений, а затем заменяют токи фаз в уравнениях на контурные токи.

При этом принимают

$$i_A = i_1, i_B = i_2 - i_1, i_C = -i_2, i_{Ak} = i_3, i_a = i_4, i_b = i_5 - i_4, i_c = -i_5.$$

В результате таких преобразований уравнения электромагнитного переходного процесса примут вид

$$\left. \begin{aligned} u_{AB} &= (R_A + R_B)i_1 - R_B i_2 - R_k i_3 + \frac{d\psi_1}{dt}, \\ u_{BC} &= (R_B + R_C)i_2 - R_B i_1 + \frac{d\psi_2}{dt}, \\ 0 &= (R_{Ak} + R_k i_{Ak})i_3 - R_k i_1 + \frac{d\psi_3}{dt}, \\ 0 &= (R_a + R_b)i_4 - R_b i_5 + \frac{d\psi_4}{dt}, \\ 0 &= (R_b + R_c)i_5 - R_b i_4 + \frac{d\psi_5}{dt}. \end{aligned} \right\} (15)$$

В этой системе потокосцепления контуров равны

$$\begin{aligned} \psi_1 &= i_1 L_{11} + i_2 L_{12} + i_3 L_{13} + i_4 L_{14} + i_5 L_{15}, \\ \psi_2 &= i_1 L_{21} + i_2 L_{22} + i_3 L_{23} + i_4 L_{24} + i_5 L_{25}, \\ \psi_3 &= i_1 L_{31} + i_2 L_{32} + i_3 L_{33} + i_4 L_{34} + i_5 L_{35}, \\ \psi_4 &= i_1 L_{41} + i_2 L_{42} + i_3 L_{43} + i_4 L_{44} + i_5 L_{45}, \\ \psi_5 &= i_1 L_{51} + i_2 L_{52} + i_3 L_{53} + i_4 L_{54} + i_5 L_{55}. \end{aligned}$$

В потокосцеплениях собственные индуктивности контуров

$$L_{11} = L_A - 2L_{AB} + L_B, L_{22} = L_B - 2L_{BC} + L_C, L_{33} = L_{Ak},$$

$$L_{44} = L_a - 2L_{ab} + L_b, L_{55} = L_b - 2L_{bc} + L_c,$$

а их взаимные индуктивности

$$L_{12} = L_{21} = L_{AB} - L_{AC} - L_B + L_{BC},$$

$$L_{13} = L_{31} = L_{A,Ak} - L_{B,Ak},$$

$$L_{14} = L_{41} = L_{Aa} - L_{Ab} - L_{Ba} + L_{Bb},$$

$$L_{15} = L_{51} = L_{Ab} - L_{Ac} + L_{Bc} - L_{Bb},$$

$$L_{23} = L_{32} = L_{B,Ak} - L_{C,Ak},$$

$$L_{24} = L_{42} = L_{Ba} - L_{Bb} - L_{Ca} + L_{Cb},$$

$$L_{25} = L_{52} = L_{Bb} - L_{Cb} - L_{Bc} + L_{Cc},$$

$$L_{34} = L_{43} = L_{a,Ak} - L_{b,Ak},$$

$$L_{35} = L_{53} = L_{b,Ak} - L_{c,Ak},$$

$$L_{45} = L_{54} = L_{ab} - L_{ac} - L_b + L_{bc}.$$

Аналогично составляют системы уравнений при витковых и междуфазных замыканиях во вторичной обмотке трансформатора или обмотке фазного ротора.

Полученные математические модели позволяют моделировать эксплуатационные и аварийные режимы работы АД и трансформаторов с приемлемой для релейной защиты точностью на ПЭВМ практически любого типа. Их решение может быть выполнено на ЭВМ любым численным методом. Например, для моделирования процессов на их основе авторы применяли «Турбо-Бейсик» и рассчитывали матрицы методом Гаусса с выбором главного члена.

Следует добавить, что между предлагаемой моделью и уравнениями Р.Парка — А.А.Горева просматривается некоторое внешнее сходство. Однако в полученных моделях значения переменных (токов, напряжений, потокосцеплений) имеют реальный физический смысл и не требуют дополнительных преобразований.

Выводы

1) Моделированию процесса преобразования энергии в трансформаторах и электрических машинах в переходных и стационарных режимах работы на ПЭВМ с помощью математической модели, дифференциальные уравнения которой составляют по законам Кирхгофа для фазных напряжений, препятствует большое число неизвестных и периодически изменяющиеся во времени коэффициенты.

2) Предложен метод преобразования трехфазной математической модели с фазовыми координатами в двухфазную, оси фаз которой сдвинуты на 120 электрических градусов. Это позволяет моделировать витковые и междуфазные замыкания в обмотках статора и ротора асинхронных двигателей, а также в первичной и вторичной обмотках трансформатора при несимметрии питающего напряжения на ПЭВМ, когда неизвестны величины фазных напряжений, получая при этом токи в их естественном виде.

Библиографический список

1. Федосеев А.М. Релейная защита электрических систем. - М.: Энергия, 1976. - 559 с.
2. Корогодский В.И., Кужеков С.П., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1000 В. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 248 с.
3. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. М. Энергоатомиздат. 1989 г. - 240 с.

4. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. -М.: Высшая школа, 1994. - 218 с.
5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. -М.: Энергия, 1980. - 909 с.
6. Новожилов А.Н. Моделирование процессов в системе защиты асинхронных двигателей от витковых замыканий // Электричество. — 1998. - №1. - С. 56-59.

НОВОЖИЛОВ Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ.

АНДРЕЕВА Оксана Александровна, старший преподаватель кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ.

ВОЛИКОВА Марина Павловна, старший преподаватель кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ.

ГАСПАРЯН Александр Александрович, аспирант ПГУ.

НОВОЖИЛОВ Тимофей Александрович, студент ПГУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 19.11.06 г.
© Новожилов А.Н., Андреева О.А., Воликова М.П., Гаспарян А.А., Новожилов Т.А.

УДК 621.317

П. В. РЫСЕВ
Д. В. РЫСЕВ

Омский государственный
технический университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ ДИССИПАТИВНОЙ СИСТЕМЕ ДУХ АВТОНОМНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СВЯЗИ

В статье исследуются процессы в системе связанных автономных генераторов. Рассматривается динамика системы с различными типами связи — резистивной и емкостной. Показано, что тип связи оказывает существенное влияние на поведение системы в целом.

Введение

Известно, что взаимодействие идентичных динамических систем, способных демонстрировать типичные переходы к хаосу, приводит к появлению новых колебательных режимов и существенно более сложной картине бифуркационных переходов по сравнению с поведением используемой индивидуальной системы. Набор наблюдаемых колебательных режимов и виды бифуркационных переходов во многом определяются типом связи между подсистемами.

В статье рассматриваются простые нелинейные электрические диссипативные системы. В качестве таких систем используются системы, состоящие из идентичных автономных нелинейных генераторов Чуа. Исследуется динамика системы двух идентичных генераторов Чуа с различными типами связи между генераторами (резистивной и емкостной). Приведены результаты моделирования данных систем в программах MicroCap и MathCAD.

Система двух генераторов Чуа, соединенных посредством резистивной связи

Схема для моделирования системы генераторов Чуа с резистивной связью, составленная в программе MicroCap, приведена на рис 1.

В программе MicroCap было проведено исследование данной системы. В ходе моделирования

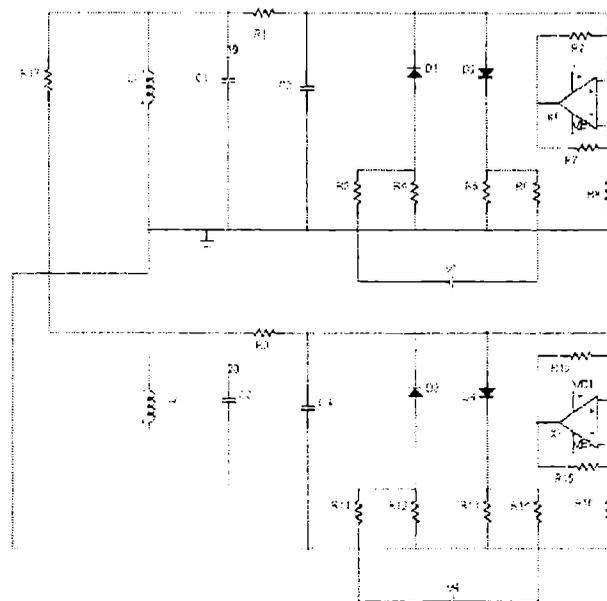


Рис. 1. Схема для моделирования процессов в системе двух идентичных генераторов Чуа с резистивной связью

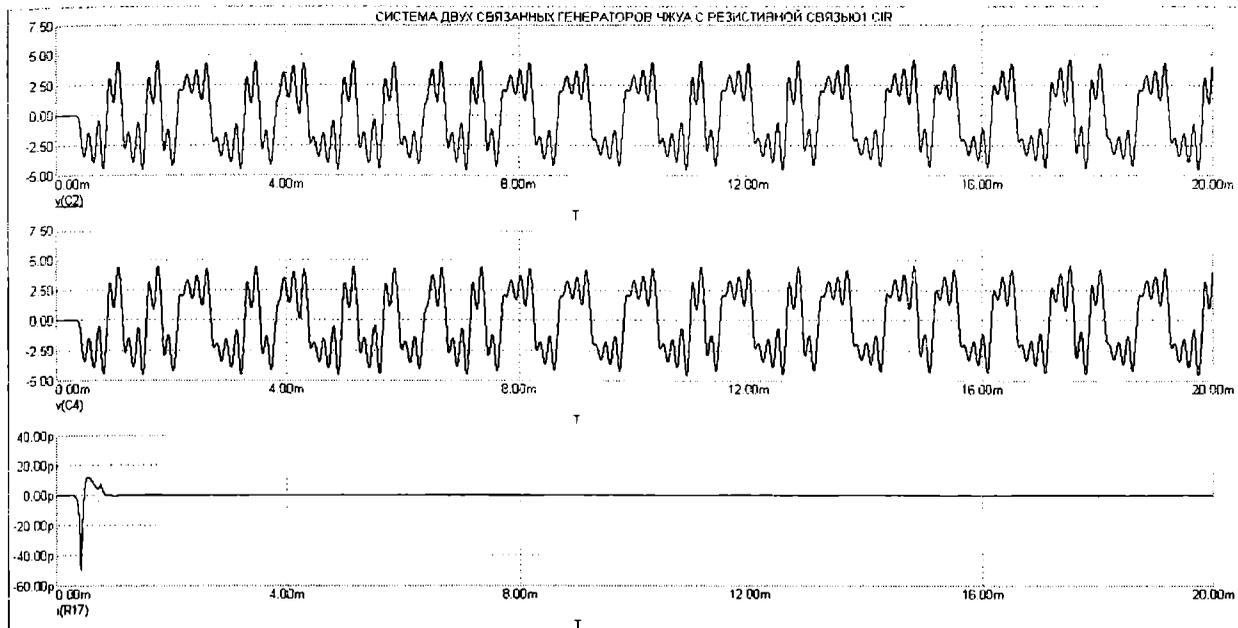


Рис. 2. Осциллограммы напряжений и токов на элементах системы при резистивной связи

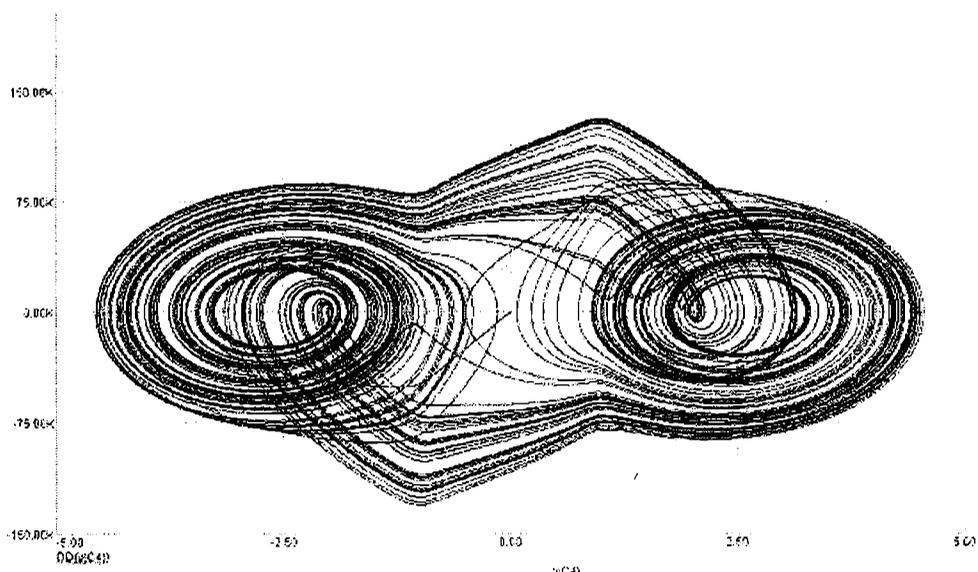


Рис. 3. Странный аттрактор типа «double scroll» в системе резистивно связанных генераторов Чуа

были получены осциллограммы напряжений и токов в элементах системы.

Из осциллограмм видно, что в случае резистивной связи между генераторами в элементах генераторов будут возникать хаотические колебания напряжений и токов. Кроме того, хаотические колебания на одноименных элементах генераторов будут являться синхронными (рис. 2). Это обстоятельство подтверждается тем, что ток через соединяющий генераторы резистор в установившемся режиме будет равен нулю, следовательно, фазовый сдвиг между колебаниями на одноименных элементах отсутствует.

Фазовый портрет колебаний в элементах системы является странным аттрактором типа «double scroll» (рис. 3), который является одним из основных типов притягивающих множеств, характерных для режима детерминированного хаоса. Фазовый портрет, подобный представленному на рис. 3, характерен и для одиночной цепи Чуа.

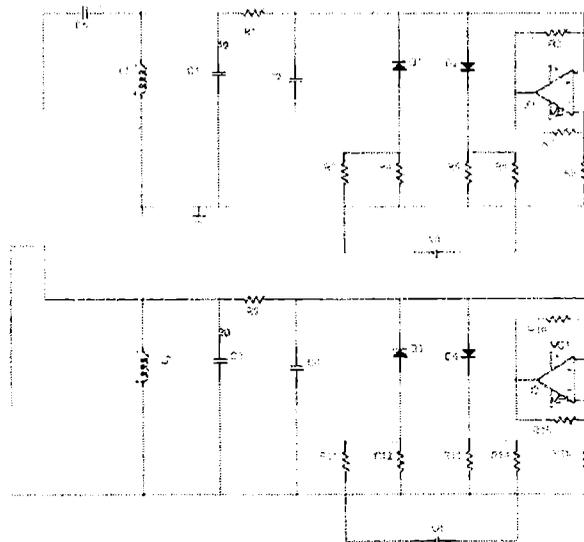


Рис. 4. Схема для моделирования системы двух идентичных генераторов Чуа с емкостной связью

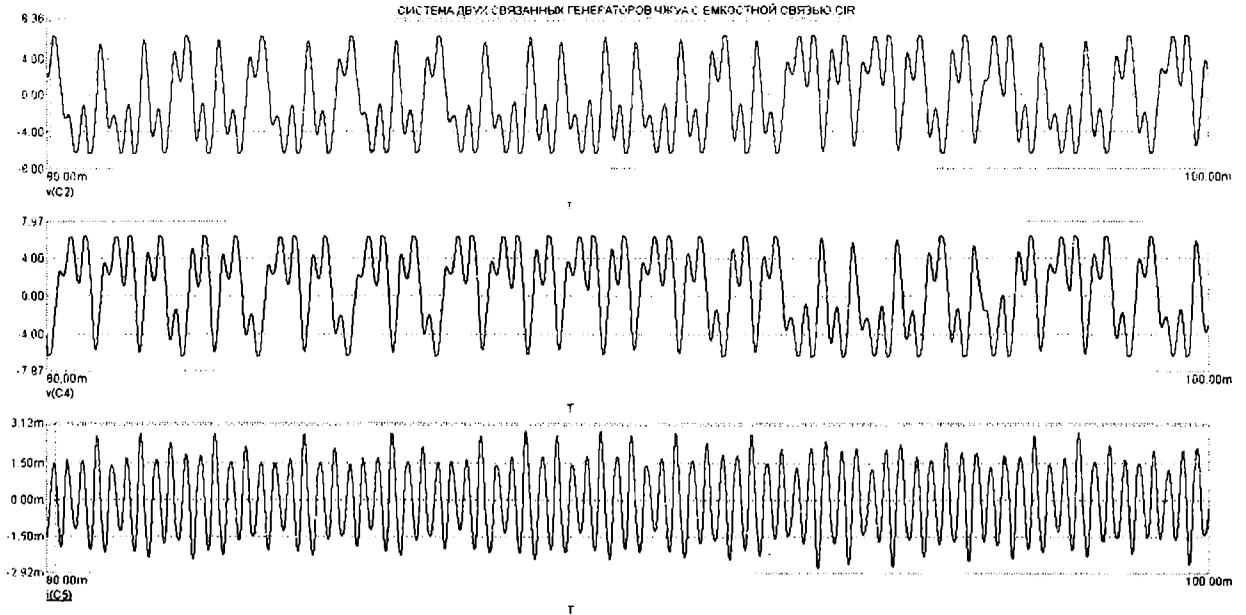


Рис. 5. Осциллограммы напряжений и тока в элементах системы (режим противофазных колебаний)

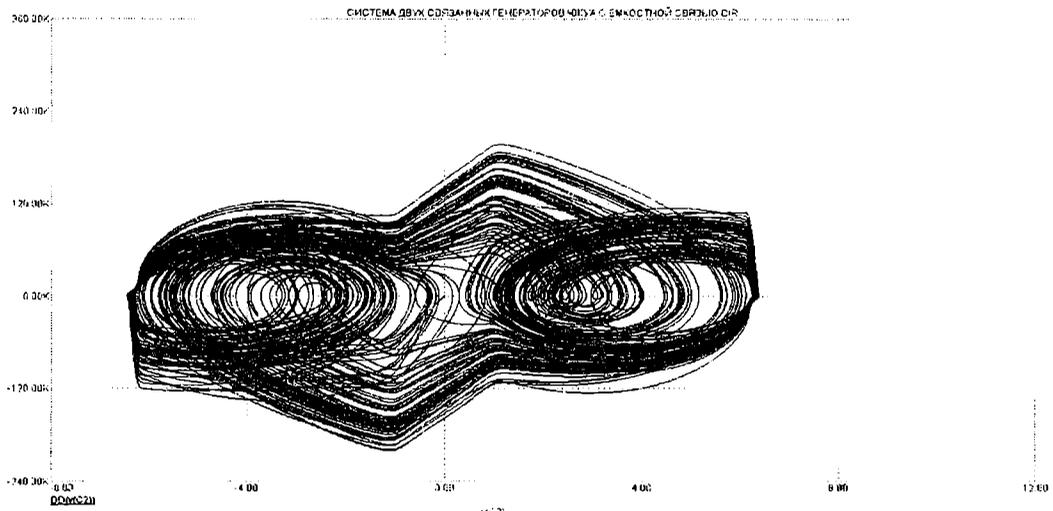


Рис. 6. Странный аттрактор типа «double scroll»

Система двух идентичных генераторов Чуа с емкостной связью

Схема для моделирования системы двух идентичных генераторов Чуа с емкостной связью, составленная в программе MicroCap, приведена на рис. 4.

Динамика этой схемы описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases}
 (1.a) \quad \frac{dx_1}{dt} = \alpha(y_1 - x_1 - h(x_1)), \\
 (1.b) \quad \frac{dy_1}{dt} = x_1 - y_1 + z_1 + \\
 \quad \quad \quad + \gamma((x_2 - x_1) - (y_2 - y_1) + (z_2 - z_1)), \\
 (1.c) \quad \frac{dz_1}{dt} = -\beta y_1, \\
 (1.d) \quad \frac{dx_2}{dt} = \alpha(y_2 - x_2 - h(x_2)), \\
 (1.e) \quad \frac{dy_2}{dt} = x_2 - y_2 + z_2 + \\
 \quad \quad \quad + \gamma((x_1 - x_2) - (y_1 - y_2) + (z_1 - z_2)), \\
 (1.f) \quad \frac{dz_2}{dt} = -\beta y_2,
 \end{cases}
 \quad (1)$$

$$\text{где } h(x) = \begin{cases} bx - a + b, & \text{если } x < -1, \\ ax, & \text{если } |x| \leq 1, \\ bx + a - b, & \text{если } x > 1. \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{C_2}{C_1}, \quad \beta = \frac{C_2}{LG^2}, \quad \gamma = \frac{C_3}{C_2}, \quad a = \frac{m_1}{G}, \quad b = \frac{m_0}{G},$$

$$x_{1,2} = \frac{(V_{c1})_{1,2}}{B_p}, \quad y_{1,2} = \frac{(V_{c2})_{1,2}}{B_p}, \quad z_{1,2} = \frac{(I_L)_{1,2}}{GB_p},$$

$$\dot{x} = \frac{dx}{d\tau}, \quad \tau = \frac{tG}{C_2}, \quad G = \frac{1}{R_1}.$$

Отметим, что система (1) является симметричной по отношению к замене переменных

$$x_1 = (x_1, y_1, z_1) \Leftrightarrow x_2 = (x_2, y_2, z_2),$$

$$x_1 = (x_1, y_1, z_1) \Leftrightarrow x_2 = (-x_2, -y_2, -z_2).$$

При $\gamma = 0$ получаем уравнение одиночной цепи Чуа, динамика которой детально исследована и широко описана [1]. Основным параметром, от изменения которого в наибольшей степени зависит динамика системы (1), является α . При изменении значений α и γ с фиксированными значениями a ,

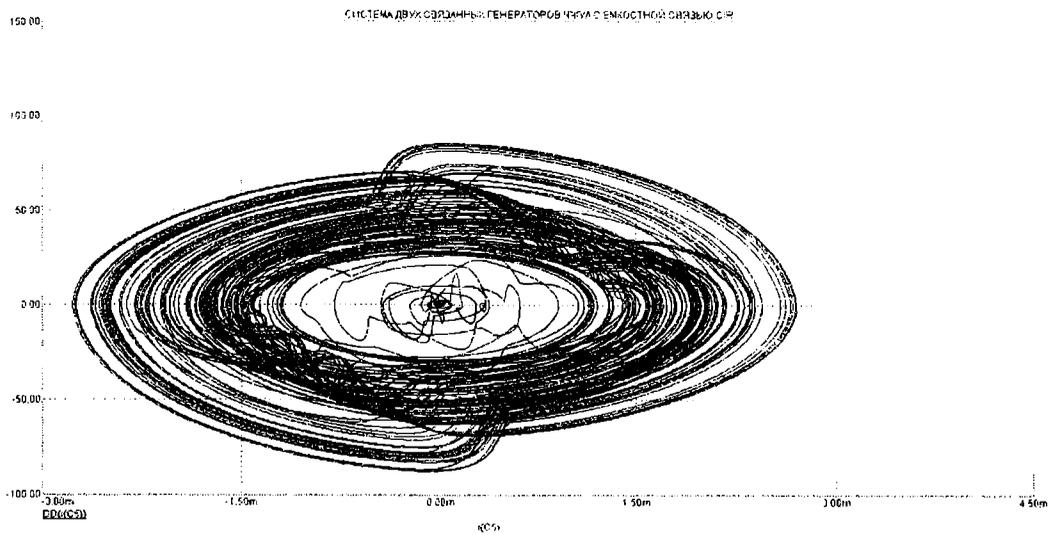


Рис. 7. Фазовый портрет колебаний в соединительной емкости

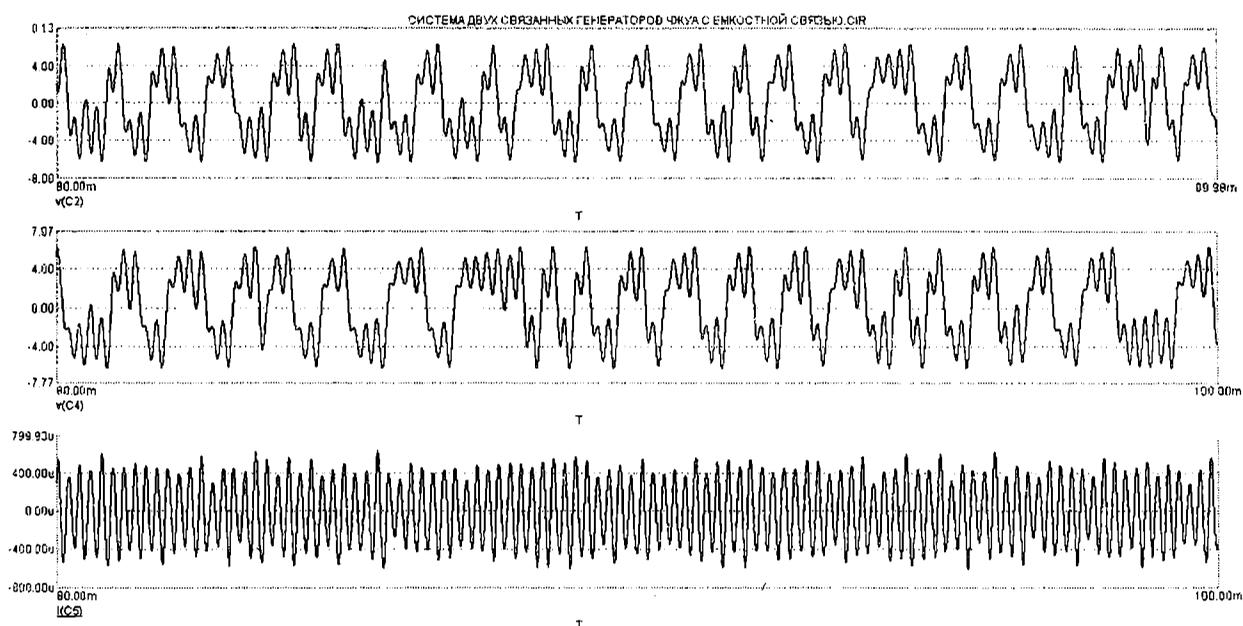


Рис. 8. Осциллограммы напряжений и тока в элементах системы

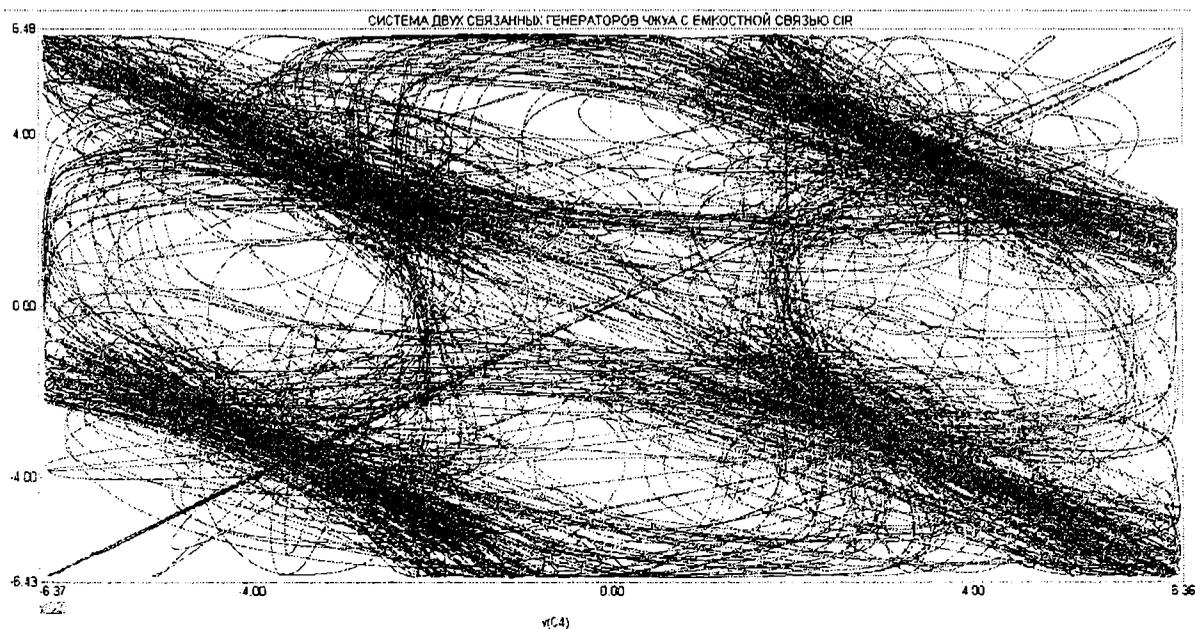


Рис. 9. Странный аттрактор типа «double double scroll» в системе двух генераторов Чуа с емкостной связью

α , β в системе (1) помимо бифуркаций удвоения периода циклов происходят бифуркации потери симметрии, рождения тора и образования хаоса через разрушение квазипериодических движений. Наблюдается ряд глобальных бифуркаций, в результате которых происходит объединение различных хаотических множеств. Возбуждение автоколебаний и переход к хаосу в связанных системах происходит при меньших значениях α , чем в парциальном генераторе. Поэтому при значениях α , соответствующих регулярным режимам в индивидуальном генераторе, в связанной системе при определенных γ может существовать развитый хаос с встроенными в аттрактор седловыми симметричными ($x_1 = x_2$) циклами. Динамика этой системы демонстрирует сложный характер, показывая сильную зависимость от начальных условий, что является одним из признаков хаоса.

В процессе моделирования были получены осциллограммы колебаний в элементах системы.

В случае емкостной связи динамика системы усложняется по сравнению с процессами в системе с резистивной связью.

В парциальных генераторах, так же, как и в случае резистивной связи, происходят хаотические колебания, однако явления синхронности колебаний на одноименных элементах, характерного для системы генераторов с резистивной связью, уже не наблюдается. Появляется ток в соединительной емкости, кроме того, колебания тока и напряжения в этом элементе имеют сложный непериодический характер.

В зависимости от значений параметра β , изменение которого производится варьированием сопротивлений R_1 и R_9 , колебания в системе емкостно связанных генераторов Чуа в установившемся режиме либо стабилизируются и становятся периодическими, либо имеют хаотический характер, находясь в противофазе с колебаниями на одноименном элементе другого генератора (рис. 5).

Однако при уменьшении параметра γ , осуществляемого уменьшением емкости C_5 , колебания на одноименных элементах генераторов системы в установившемся режиме перестают находиться

в противофазе (рис. 8), еще больше усложняя динамику системы.

В данной системе становится возможным новый тип странного аттрактора, имеющего четыре области притяжения, — «double double scroll», или «DDS» (рис. 9). Такой тип аттрактора невозможен в системе генераторов с резистивной связью из-за синхронности колебаний на одноименных элементах цепей.

В результате моделирования выявлен ряд закономерностей.

Установлено, что динамика системы заметно усложняется по сравнению с процессами в одиночной схеме, становятся возможными новые режимы работы. Кроме того, динамика системы обнаруживает сильную зависимость от типа связи между подсистемами. Так, например, при емкостной связи между генераторами в системе возникает новый, более сложный тип странного аттрактора — так называемый «double double scroll», или «DDS».

Библиографический список

1. Мун Ф. Введение в хаотическую динамику. — М.: Наука, 1990. — 140 с.
2. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах: механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиопизических системах. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 312 с.
3. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования MicroCap 6. — М.: Горячая линия — Телеком, 2001. — 344 с.
4. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой: Лекции сороковского профессора: Учеб. пособие. — Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. — 144 с.
5. Федоров В.К., Рысев П.В. Хаос в нелинейных электрических цепях // Омский научный вестник, № 1(22). — Омск 2003. — С. 59–63.

РЫСЕВ Павел Валерьевич, аспирант кафедры ЭСПП ОмГТУ.

РЫСЕВ Дмитрий Валерьевич, студент 4-го курса специальности «Промышленная электроника» ОмГТУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 30.09.06 г.
© Рысев П.В., Рысев Д.В.

Книжная полка

Данилов Н. Д. Тепловая защита зданий в условиях криолитозоны / Н. Д. Данилов; Якут. гос. ун-т им. М. К. Аммосова. — Новосибирск: Наука, 2006. — 10 л.

В монографии проанализировано влияние теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ограждающих конструкций на температурный режим и теплотери. Представлена методика расчета неоднородных ограждений с применением двухмерной программы расчета. Рассмотрены типы наружных ограждений, применяемых в условиях низких отрицательных температур. Предложены теплоэффективные типы наружных ограждений.

Для научных работников, занимающихся вопросами тепловой защиты зданий, проектировщиков, строителей, студентов строительных специальностей.

Проблемы нетрадиционной энергетики: Материалы научной сессии Президиума Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск, 13 декабря 2005 г. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. - 201 с.

Экономика энергетики: основы теории. Меламед А.Б., Сулов Н.И. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. - 180 с.

В книге во взаимосвязи истории и современного состояния рассматриваются проблемы развития энергетики и общества. Освещаются место отрасли в экономике, влияние транзакционных издержек и институциональной структуры. Много внимания уделено анализу энергетических проблем с позиций теории фирмы и экономического равновесия, совершенной и несовершенной конкуренции. Не оставлены без внимания вопросы энергопотребления, ценообразования и эффективности.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ПОДСТАНЦИЙ С ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

На основе анализа первичных процессов предложены алгоритмы функционирования органа выявления потери питания для противоаварийной автоматики подстанций с электродвигателями. Разработано устройство, характеризующееся высокой степенью использования составляющих компонентов при любом составе нагрузки потребителя и перестраиваемой в функции состава нагрузки выдержкой времени.

На подстанциях с синхронными (СД) и мощными асинхронными электродвигателями стандартные средства противоаварийной автоматики (ПА) не способны своевременно отличить режим потери питания от нормального режима, поскольку при потере питания электродвигатели (ЭД) выбегают, длительно генерируя на шинах остаточное напряжение. Как следствие не предотвращается образование ударных токов и моментов при подаче рабочего или резервного напряжения на выбегающие электродвигатели. Контроль специальных признаков потери питания (уровня частоты напряжения, направления активной мощности на вводе и т.п.) требует сложных промежуточных преобразований или увеличенного числа первичных датчиков и дополнительных связей, в силу чего средства ПА усложняются, затрудняются их унификация, проектирование и эксплуатация. Причинами сложившегося положения являются интуитивные методы выбора признаков аварии и построения ПА, а также использование неэффективных закономерностей, связывающих параметры, характеризующие различные режимы.

Поэтому актуальна разработка принципиально новых устройств ПА на основе более глубокого изучения процессов на подстанции с электродвигателями и выявления новых закономерностей и информативных связей с употреблением (а при необходимости развитием) математического аппарата алгебры логики, обычно используемого при синтезе дискретных автоматов, но не нашедшего пока широкого применения для построения ПА электроэнергетических систем.

Обзор мероприятий, выполняемых на подстанциях с электродвигателями для обеспечения их самозапуска и предотвращения ударных токов и моментов при подаче рабочего или резервного напряжения, позволяет свести их в две группы [1].

Для рабочей секции рекомендуются ускоренная ликвидация причин перерыва в электроснабжении (отключение КЗ) автоматическими устройствами релейной защиты (АУРЗ); максимальное быстрое действие органов выявления потери питания и ускоренное отключение основного ввода; автоматическая быстрая разгрузка самозапускаемого агрегата по технологии, перевод его на пониженную скорость вращения; отключение конденсаторных батарей, неответственной нагрузки и агрегатов, не

допускающих самозапуск по требованиям технологии или техники безопасности, временное отключение части ответственной двигательной нагрузки с тяжелыми условиями самозапуска; гашение возбуждения СД с последующей их ресинхронизацией; блокировка действия средств ПА, например, АЧР, допускающих ложное срабатывание в режиме выбега ЭД; автоматическое замещение питающего источника – АВР.

С резервным источником связаны задержка подачи резервного питания по уровню остаточного напряжения секции или по времени; синфазная подача резервного питания на выбегающие возбужденные СД; повышение напряжения резервирующей секции перед замещением вводов – подключением конденсаторных батарей или форсировкой возбуждения работающих СД, переключением отпаек обмоток питающего трансформатора; предварительная или ускоренная автоматическая разгрузка резервирующего трансформатора; автоматическое повторное подключение потребителей к источнику в функции тока, напряжения, времени или по заданной программе.

Указанные мероприятия выполняются выявительным органом ПА либо по его команде, поэтому столь важен выбор принципов построения пусковых органов автоматики. Хотя к автоматике подстанций относятся защита от потери питания (ЗПП), автоматика повторного включения (АПВ) и АВР, последний вид характеризуется наиболее полным набором функций и может быть взят за основу при построении централизованных устройств ПА.

Для подобных устройств предложен универсальный (пригодный для выявления потери питающего источника как при наличии, так и при отсутствии двигательной нагрузки) комбинированный (позволяющий как указать неисправную секцию, так и контролировать нормальное состояние резервирующей секции) признак потери питания [2]. Он основан на сопоставлении логических переменных, отражающих наличие $x_1(x_2)$ и отсутствие $\bar{x}_1(\bar{x}_2)$ однополярных полуоволн рабочего и резервного напряжений. В нормальном режиме набор 11 не образуется (рис. 1, а). На выбеге потерявших питание СД первой секции до наступления 180° образуется по два набора 11 после наборов 10 (рис. 1, б), после прохождения противофазы напряжений – соответственно два набора 11 после наборов 01 (рис. 1, в).

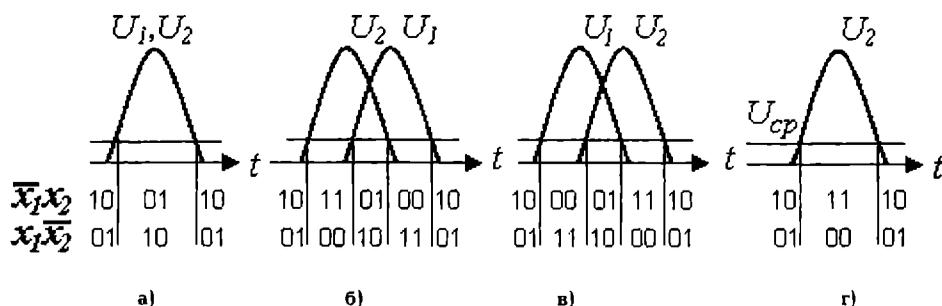


Рис. 1. Универсальный способ выявления потери питания

Провал напряжения первой секции сопровождается периодическим формированием единственного набора 11 с опережением комбинации 10 (рис. 1, г), указывающей на неисправный источник; неисправности второй секции соответствует симметричная картина 01-11. Алгоритм, использующий указанный признак, должен содержать задержку t_3 на появление сигнала — для отстройки от рассогласования параметров напряжений источников в режимах, не соответствующих потере питания, и задержку t_4 на исчезновение сигнала — для преобразования импульсного сигнала в непрерывный.

На основе высказанных положений разработано универсальное централизованное устройство ПА двустороннего действия с неперестраиваемой структурой для подстанций с произвольным составом нагрузки и неявным резервом (рис. 2). Измерительная часть устройства сводится к двум формирователям импульсов длительностью до полупериода из полуоволн напряжений рабочего и резервного источников.

К трансформатору напряжения $TV1$ и собственных нужд $TU1$ первого источника подключены формирователи импульсов длительностью до полупериода с прямым и инверсным выходами 1, 2, аналогично к трансформаторам напряжения и собственных нужд $TV2$ и $TU2$ подключены формирователи импульсов длительностью до полупериода с прямым и инверсным выходами 3, 4. Прямые и инверсные выходы формирователей через схемы И 5-8 связаны с входами последовательностных схем совпадения И 10, 11, контролирующих порядок образования заданных значений входных переменных.

Временные элементы 12-15 имеют задержку порядка 0,5-1,0 мс на срабатывание (t_3) и около 0,3 с (t_4) — на возврат. Цепь выявления выбега двигателей образована третьей последовательностной схемой совпадения И 20, выходы которой соединены с блоками отключения вводов первой 24 и второй 25 секций. Цепь выявления потери питания потребителей без двигателей составлена элементом ИЛИ 17, элементом времени 19 с задержкой t_1 и конечными логическими схемами И 21, 22. Элементы ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 16, И 18, ЗАПРЕТ 23 в совокупности осуществляют дополнительное управление работой логической части и выходных элементов пускового органа. Блок 26 может быть использован для отключения ввода при несимметрии рабочего напряжения. Блок 27 при необходимости производит подачу разрешающего сигнала на включение секционного выключателя, если уровень остаточного напряжения секции снизился до допустимого значения.

Вспомогательные воздействия y_1, y_2, y_3, y_4 формируются в зависимости от порядка образования

входных сигналов $x_{11}, \overline{x_{11}}, x_{22}, \overline{x_{22}}$ в их конъюнкциях

$$y_1 = y_1' D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (\overline{x_{11} x_{22}}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (\overline{x_1' x_2' x_1' x_2'}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow,$$

$$y_2 = y_2' D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (\overline{x_{11} x_{22}}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (\overline{x_1' x_2' x_1' x_2'}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow,$$

$$y_3 = y_3' D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (x_{11} \overline{x_{22}}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (x_1' x_2' \overline{x_1' x_2'}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow,$$

$$y_4 = y_4' D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (\overline{x_{11} x_{22}}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow = (\overline{x_1' x_2' x_1' x_2'}) D_3^\uparrow D_4^\downarrow.$$

Здесь $x_1(x_2)$ и $\overline{x_1}(\overline{x_2})$ — сигналы о наличии и отсутствии полуоволн напряжений на выходе ТН (ТСН), верхний индекс указывает на номер источника питания (секции), $D_3^\uparrow(D_4^\downarrow)$ — операторы задержки сигнала на появление (исчезновение), стрелка над переменной — оператор ОПЕРЕЖЕНИЕ, отображающий порядок формирования переменных при их совпадении.

Условия отключения ввода первой (второй) секции при потере питания с выбегом двигательной нагрузки определяются последовательностью образования вспомогательных сигналов y_1, y_3 при их совпадении

$$Q_1^{(1)} = \overline{y_1} y_3, \quad Q_2^{(1)} = y_1 \overline{y_3}.$$

Отключение основного ввода при посадке напряжения и отсутствии генерирующей нагрузки определяется единственностью такого сигнала в течение времени t_1

$$Q_1^{(2)} = y_1 z D_1^\uparrow, \quad Q_2^{(2)} = y_3 z D_1^\uparrow.$$

На режим неисправности ТН или ТСН одного направления, сопровождающийся сдвигом вторичных напряжений по фазе, разработанное устройство не реагирует, равно как и на полное исчезновение напряжения на одном из ТН или ТСН. Отрицание симметричной логической функции $z = S_4^1(y_1, y_2, y_3, y_4)$ используется для контроля появления несимметрии в питающей сети за время t_2 по логическому выражению

$$A_1 = (y_1 + y_3) \overline{z} D_2^\uparrow,$$

отключение ввода по этому признаку может выполняться блоком 26.

Устройство реализовано на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС) фирмы Altera семейства MAX 7000S, выполненной по технологии ПЗУ с электрическим стиранием (EEPROM) и допускающей возможность программирования в системе (непосредственно на плате устройства). Синтез устройства выполнялся с использованием системы автоматизированного проектирования MAX+plus II. Последовательность разработки проекта включает описание устройства, компиляцию, программирование микросхемы (про-

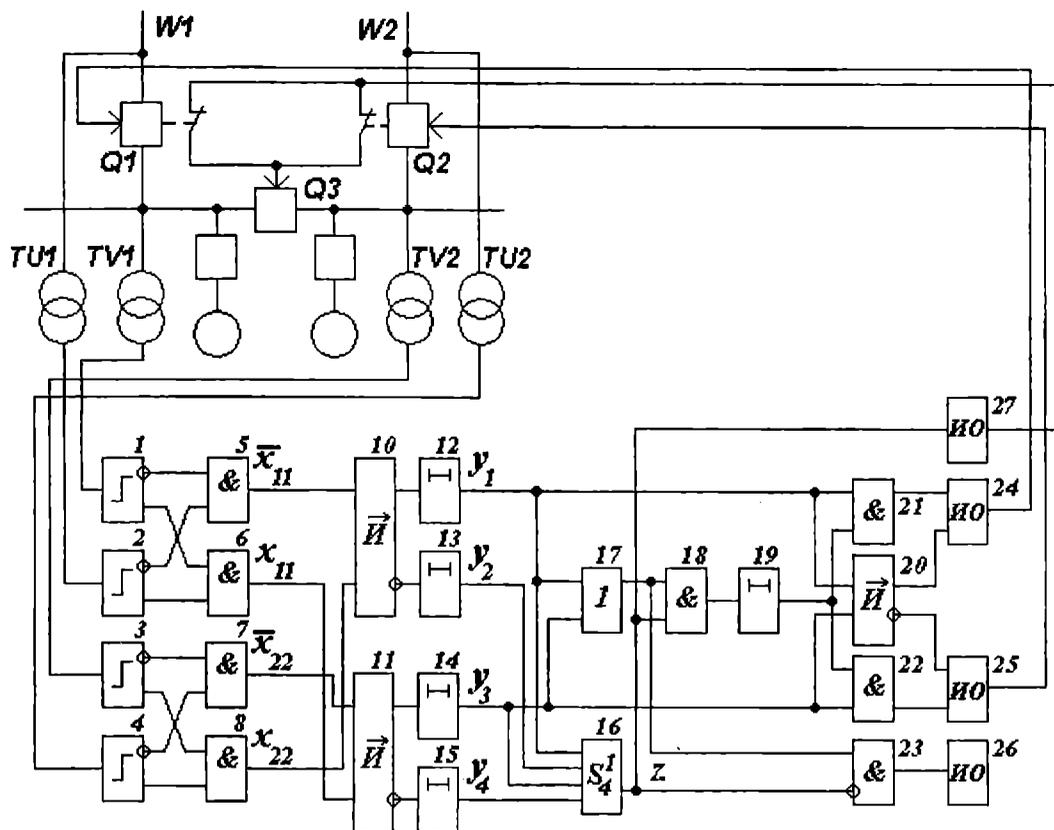


Рис. 2. Универсальное централизованное устройство ПА

шивку) [3]. При наличии описания возможны симуляция (моделирование в реальном или модельном времени) работы устройства, проверка правильности функционирования логики.

Рассмотрим работу устройства.

В нормальном режиме работы потребителя выключатели вводов $Q1, Q2$ включены, секционный выключатель $Q3$ отключен, напряжения секций U_1 и U_2 , как правило, близки по фазе и амплитуде и равны напряжениям питающих линий $W1$ и $W2$. Сигналы x_{11}, x_{22} и x_{11}, x_{22} не совпадают во времени, управляющие воздействия на входе и выходе временных элементов 12-15 отсутствуют.

В случае потери питания первой секции без двигателей $U_1 = 0$, на входе схемы 10 периодически совпадают сигналы $x_{11}, x_{22} = 1$, причем появление $x_{11} = 1$ опережает во времени появление сигнала $x_{22} = 1$. Благодаря этому формируется непрерывный сигнал $y_1 = 1$, в то время как $y_2, y_3, y_4 = 0$. По единственному сигналу на входе схема ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ 16, реализующая логическую функцию z , разрешает отсчет заданной выдержки t_1 времени срабатывания устройства элементом 19 и включение блока 27, запрещает подачу сигнала о несимметрии в питающей сети блоком 26. Спустя установленную задержку элемент И 21 действует на блок отключения ввода первой секции 24, блок 27 через замкнувшийся блок-контакт отключившегося рабочего выключателя $Q1$ даст команду на включение выключателя $Q3$. Если отсутствие напряжения на входе устройства вызвано отключением автомата вторичных цепей ТН или ТСН, отсутствует совпадение сигналов на входах элементов И 5-8 и устройство не реагирует.

В начале выбега потерявшей питание двигательной нагрузки первой секции совпадение во времени сигналов x_{11}, x_{22} и x_{11}, x_{22} на входах схем 10, 11 происходит с опережением $x_{11}, x_{11} = 1$ (рис. 3).

Последовательность импульсов возрастающей длительности на выходах схем 10, 11 преобразуется элементами задержки 12, 15 в непрерывные сигналы $y_1, y_4 = 1$, тогда как $y_2, y_3 = 0$. В связи с неравенством числа входных воздействий единице сигнал на выходе схемы 16 отсутствует – разрешается пуск отсчета времени в блоке контроля несимметрии 26, запрещается работа элемента выдержки времени АВР 19 и блока включения выключателя резерва 27. Если длительность существования данного режима превысит установленную в блоке 26 задержку t_2 , что говорит о несимметрии входных напряжений по обоим датчикам одного направления, выходным сигналом блока 26 может быть отключен рабочий ввод или подан предупредительный сигнал.

Обычный процесс выбега двигательной нагрузки характеризуется обязательным наступлением противофазы напряжений U_1 и U_2 , после чего в момент совпадения сигналов x_{11}, x_{22} и x_{11}, x_{22} порядок их образования изменяется на противоположный ($x_{22}, x_{22} = 1$ появляется прежде $x_{11}, x_{11} = 1$). Последовательность импульсов убывающей длительности появляется на иных выходах схем 10, 11 и преобразуется элементами задержки 13, 14 в непрерывные сигналы $y_2, y_3 = 1$, сигнал y_1 продолжает удерживаться в течение времени t_4 (0,3 с). Поскольку на обоих входах схемы 20 совпадают сигналы $y_1, y_3 = 1$, причем $y_1 = 1$ образовался раньше, схема 20 действует на отключение ввода первой секции блоком 24. Следовательно, при перерыве питания двигателей устройство формирует команду по расхождению векторов сравниваемых напряжений на угол 180° без дополнительной выдержки времени, с учетом последовательности смены знака разности фаз.

Работа универсального устройства ПА в случае неисправности второй секции отличается от описанного выше процесса только очередностью об-

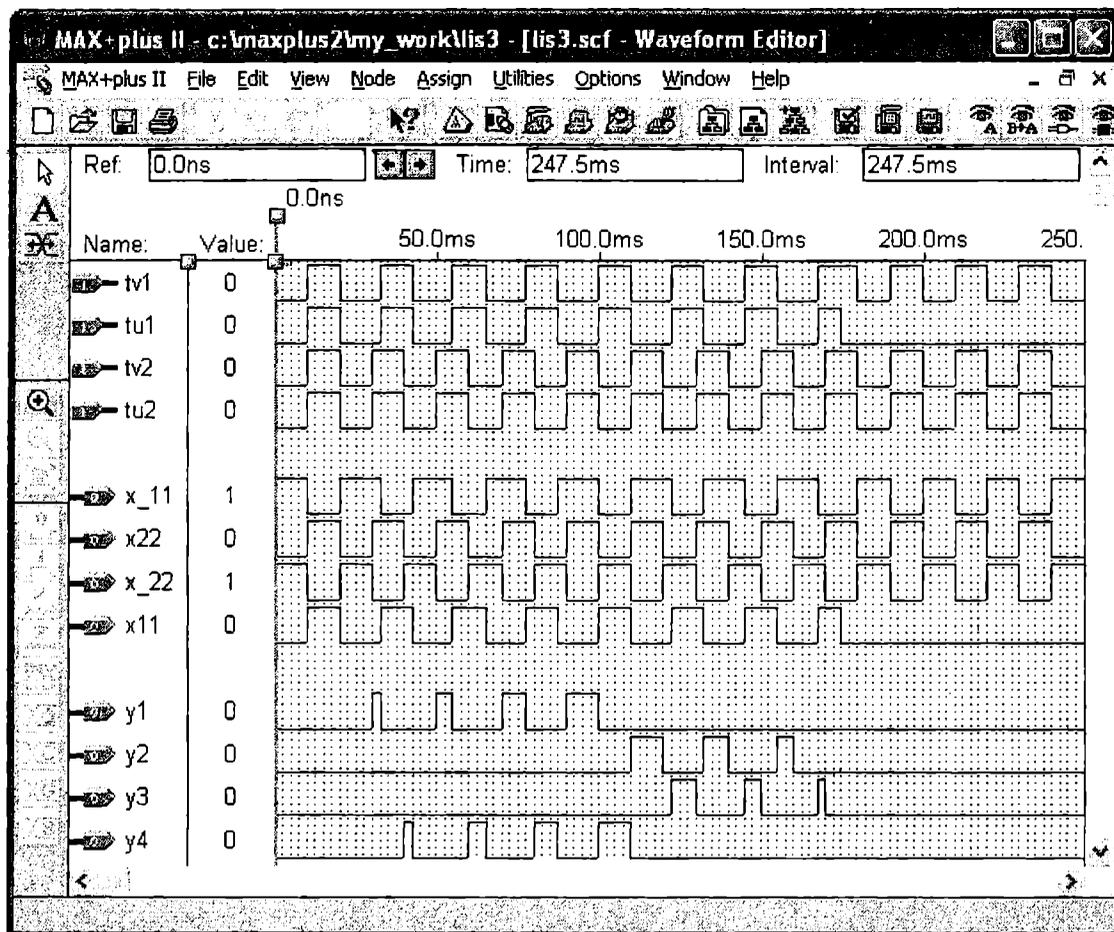


Рис. 3. Симуляция поведения устройства в САПР MAX+plus II

разования сигналов y_i , y_n , а следовательно, действием блока 25 на отключение второго питающего ввода. Возврат устройства в исходное состояние происходит после восстановления нормального электропитания потребителя автоматически, на общесистемное понижение частоты оно не реагирует. Ограничение длительности команды на включение резервного выключателя (однократность действия) обеспечивается следующим образом. В момент отключения рабочего ввода на выходе ТН остается напряжение, соответствующее остаточному напряжению выбегающих ЭД, которое при переключении на резервный источник сменяется резервным напряжением, а на втором датчике (ТСН) напряжение исчезает. Поэтому с выдержкой времени t_4 (0,3 с) исчезают все сигналы y_i , y_n и команда на включение резерва снимается.

Оценим быстродействие устройства. Время распознавания t_5 устройством факта потери питания электродвигателей (время ожидания) зависит от длительности расхождения векторов напряжений на угол 180° , определяемой, в свою очередь, действительными механическими характеристиками подключенной к секции нагрузки. Так, для агрегата с приводом от синхронного двигателя с суммарной постоянной инерции $T_j = 5$ с, коэффициентом загрузки $k_s = 0,7$, номинальным углом нагрузки $\delta_0 = 30^\circ$ время t_5 составит 0,345 с в соответствии с выражением

$$t_5 = \sqrt{\frac{(\delta_{sp} - \delta_0) \cdot T_j}{9000 \cdot k_s}}$$

Напомним, что в зависимости от характеристик двигательной нагрузки ее переключение на резервный источник производится с несинхронной или

синфазной подачей питания на возбужденные СД либо с ожиданием затухания остаточной ЭДС двигателей до допустимого значения. Рассмотрим возможности реализации перечисленных способов разработанным органом.

Считая в пределах первых трех периодов биений напряжений выражение для t_5 пригодным для описания процесса выбега нагрузки с любым моментом сопротивления, получаем, что повторное совпадение напряжений двигателей и резерва по фазе (720°) наступает через $2t_5$ с момента исчезновения питания. Следовательно, можно ожидать близкое к синфазному включение синхронных двигателей в цикле быстрогодействующего АВР при втором совпадении напряжений по фазе, если выполняется условие $t_5 = t_{откл. в} + t_{вкл. р. в.}$, где t_5 — время изменения угла сдвига фаз от начального значения до угла срабатывания органа (180°), $t_{откл. в}$ и $t_{вкл. р. в.}$ — собственные времена отключения вводного и включения резервирующего выключателей.

На обследованном промышленном предприятии с СД 320-1600 кВт и асинхронными двигателями 1000 кВт были получены значения $t_5 = 0,24-0,32$ с. При стандартных масляных выключателях 6-10 кВ ($t_{откл. в}$ не более 0,1 с, $t_{вкл. р. в.}$ не более 0,2 с) выявительный орган обеспечивает подачу напряжения на агрегаты, имеющие меньшие значения T_j , с некоторым запазданием, а на агрегаты, имеющие большие значения T_j , — с некоторым опережением относительно момента совпадения напряжений по фазе.

Для реализации метода задержки переключения по уровню остаточного напряжения двигателей блок 24 одновременно с отключением рабочего ввода действует на гашение возбуждения переключаемых СД, схема 16 продолжает блокировать включение

секционного выключателя. По мере снижения напряжения двигателей наступает момент, когда независимо от изменения разности фаз напряжений величина остаточного напряжения двигателей становится недостаточной для срабатывания входного порогового элемента и его переключение прекращается. При таком значении входного сигнала, равном $(0,25-0,4)U_{ном}$, устройство разрешает подачу напряжения на выбегающие двигатели: сигналы y_2, y_3, y_4 становятся равными нулю, сигнал $y_1 = 1$, схема ИСКЛЮЧАЮЩЕ ИЛИ 16 воздействует на блок 27.

Если контроль уровня остаточной ЭДС двигателей на секции не предусматривается, контакты блока 27 из цепи включения секционного выключателя могут быть исключены.

Разработанное устройство сохраняет повышенную устойчивость функционирования при восстановлении на секции напряжения выбегающих двигателей в произвольной фазе после отделения нагрузки от источника с КЗ быстродействующей защитой: посадка напряжения от близкого КЗ вызывает формирование сигнала $y_1 (y_3)$, соответствующего дефектной секции. После восстановления остаточной ЭДС выбегающих двигателей до

уровня срабатывания входных формирователей импульсов устройства воздействие $y_3 (y_1)$, соответствующее здоровой секции, появляется вторым независимо от знака фазового угла между сравниваемыми напряжениями, что обеспечивает правильную работу вывального органа.

Библиографический список

1. Бороденко В. А. Повышение эффективности автоматики подстанций с двигательной нагрузкой: Аналитический обзор. – Павлодар, ЦНТИ, 2005. – 88 с.
2. Бороденко В.А., Поляков В.Е. Пусковой орган автоматического ввода резерва для комплексной нагрузки // Электричество. – 1982. – № 5. – С. 13-18.
3. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы «Алтера»: элементная база, система проектирования и язык описания аппаратуры. – М.: Додека-XXI, 2002. – 576 с.

БОРОДЕНКО Виталий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 21.11.06 г.
© Бороденко В.А.

УДК 621.316.9

**М. Я. КЛЕЦЕЛЬ
К. И. НИКИТИН
А. С. СТИНСКИЙ**

Павлодарский государственный
университет им. С. Торайгырова,
Республика Казахстан

Омский государственный
технический университет

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ

Предлагается алгоритм функционирования защиты двух параллельных линий, позволяющий отстраивать её только от токов небаланса и исключить присущие традиционным защитах использование «блок - контактов» выключателей и излишнее срабатывание при обрыве фазы с односторонним коротким замыканием на землю. Алгоритм записан в символах алгебры логики и представлен в программном виде для реализации на микропроцессорах.

Чувствительность рассматриваемой защиты в традиционном исполнении в ряде случаев оказывается недостаточной из-за необходимости отстраивать пусковые органы (реле тока) от максимального тока нагрузки и токов, протекающих в неповреждённых фазах в режимах каскадного отключения [1]. Известно несколько способов повышения чувствительности защиты [1, 2, 3]. Однако органические недостатки, присущие ей, – отклю-

чение неповреждённой линии при обрыве фазы с односторонним коротким замыканием (КЗ) на землю и использование «блок-контактов» выключателей для вывода защиты из работы при отключении одной из линий, при этом не исключаются.

В данной статье предлагается алгоритм функционирования защиты, обладающей повышенной чувствительностью и не имеющей указанных недостатков. Алгоритм строится на основе анализа

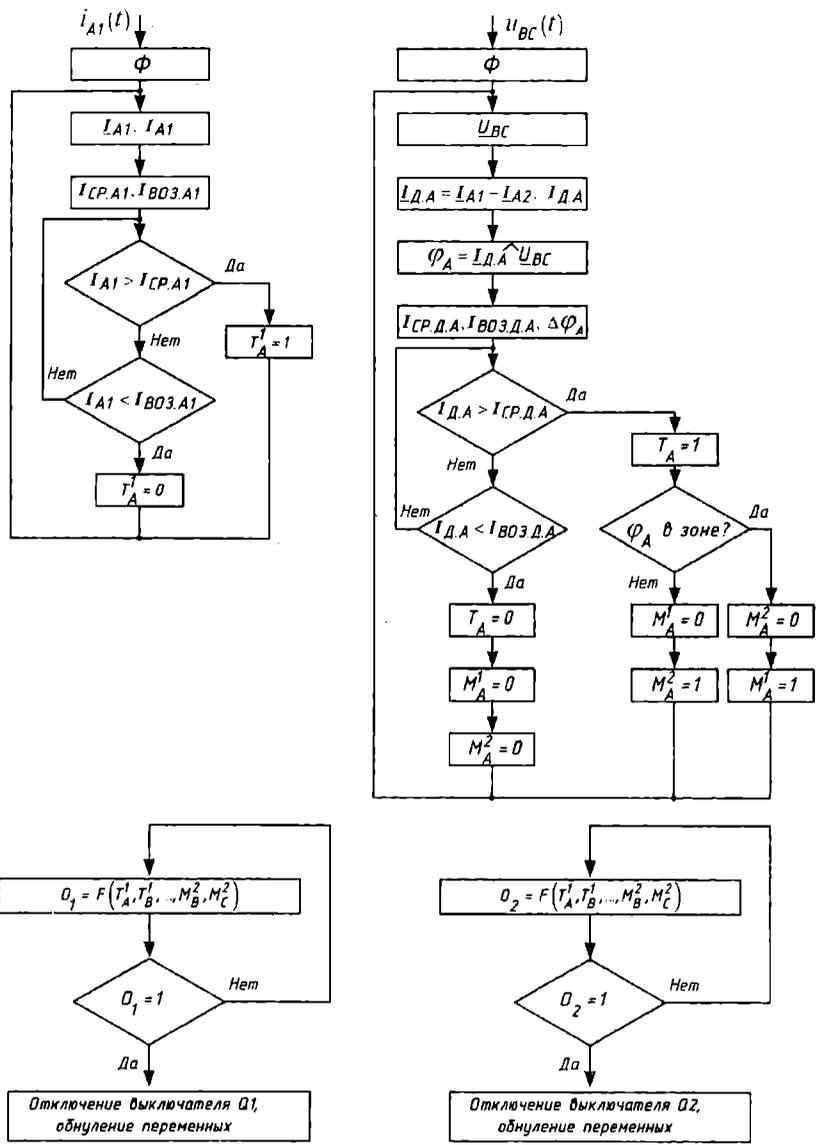


Рис. 1.

информации, получаемой от реле традиционной защиты, которая дополняется реле тока, отстраиваемых от токов холостого хода линии и предназначенных для контроля тока в каждой фазе. При построении алгоритма имеется в виду, что для значительного повышения чувствительности пусковые органы должны отстраиваться только от токов небаланса.

Условия срабатывания (алгоритм функционирования логической части защиты) формулируется аналогично тому, как это сделано в [4]: защита должна сработать на отключение первой линии, если есть сигнал о срабатывании пускового органа И реле направления мощности (включенного на разность токов фаз А обеих линий и междуфазное напряжение U_{BC}), что КЗ произошло на первой линии, И есть сигнал от контрольных органов тока второй линии, что хотя бы в одной фазе второй линии имеется ток, И есть сигнал от контрольных органов тока, что ток проходит в трёх фазах второй линии ИЛИ ток одновременно отсутствует хотя бы в одной из фаз А, В, С первой и второй линии; ИЛИ если есть сигнал о срабатывании пускового органа И реле направления мощности (включенного на разность токов фаз В обеих линий и междуфазное напряжение U_{CA})... Далее формулировка полностью совпадает с условиями срабатывания для фазы А, затем повторяет-

ся для фазы С). В соответствии с формулировкой условия срабатывания записываются аналитически в символах алгебры логики:

$$O_1 = T_A M_A^1 Y_3 Y_4 + T_B M_B^1 Y_3 Y_4 + T_C M_C^1 Y_3 Y_4; \quad (1)$$

$$O_2 = T_A M_A^2 Y_2 Y_1 + T_B M_B^2 Y_2 Y_1 + T_C M_C^2 Y_2 Y_1, \quad (2)$$

где O_1 (O_2) – сигналы на запуск выходного реле, действующего на отключение первой (второй) линии; T_A, T_B, T_C – сигналы о срабатывании пусковых реле тока фаз А, В, С соответственно; M_A^1, M_B^1, M_C^1 (M_A^2, M_B^2, M_C^2) – сигналы о повреждении на первой (второй) линии, выдаваемые органами направления мощности, включенными на разность токов фаз А, фаз В, фаз С и напряжения U_{BC}, U_{CA}, U_{AB} соответственно; Y_3 (Y_2) – сигнал от контрольных органов тока, что ток проходит в трёх фазах второй (первой) линии ИЛИ ток одновременно отсутствует хотя бы в одной из фаз А (В, С) первой и второй линии; Y_4 (Y_1) – сигнал о наличии тока хотя бы в одной из фаз второй (первой) линии.

$$Y_1 = T_A^1 + T_B^1 + T_C^1;$$

$$Y_2 = \overline{T_A^1} \cdot \overline{T_A^2} + \overline{T_B^1} \cdot \overline{T_B^2} + \overline{T_C^1} \cdot \overline{T_C^2} + T_A^1 T_B^1 T_C^1;$$

$$Y_3 = \overline{T_A^1} \cdot \overline{T_A^2} + \overline{T_B^1} \cdot \overline{T_B^2} + \overline{T_C^1} \cdot \overline{T_C^2} + T_A^1 T_B^1 T_C^2;$$

$$Y_A = T_A^2 + T_B^2 + T_C^2,$$

где $T_A^1, T_B^1, T_C^1, T_A^2, T_B^2, T_C^2$ - сигналы от контрольных токовых реле о наличии тока в фазах А, В, С первой и второй линии соответственно. Они, как и все остальные символы, принимают значение логической 1 при наличии соответствующего сигнала и значение логического 0 - при отсутствии.

Предложенный алгоритм может быть реализован на любых логических элементах, например, в виде программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС) или на микропроцессорах. В программном виде структура алгоритма (рис. 1) строится аналогично тому, как это сделано в [5]. Первыми параллельно обрабатываются мгновенные значения шести фазных токов первой и второй линии $i_{A1}(t), i_{B1}(t)$ и т.д.; после цифровой фильтрации находятся соответствующие мгновенным значениям вектора I (например I_{A1} для $i_{A1}(t)$ в фазе А первой линии, I_{A2} для $i_{A2}(t)$ в фазе А второй линии). Абсолютные значения полученных векторов I (например I_{A1} для I_{A1}, I_{A2} для I_{A2}) сравниваются с контрольными токами срабатывания I_{CP} и возврата $I_{ВОЗ}$ (соответственно I_{CPA1} и $I_{ВОЗ.A1}$ для фазы А первой линии), хранящимися в энергонезависимой памяти микропроцессора. Так выполняются функции реле тока, контролирующего ток в каждой фазе (в традиционных защитах эти токи не контролируются). По результатам сравнения переменным $T_A^1, T_B^1, T_C^1, T_A^2, T_B^2, T_C^2$ присваиваются их двоичные значения. Далее находятся вектора междуфазных напряжений U_{BC}, U_{CA}, U_{AB} , соответствующие мгновенным напряжениям $u_{BC}(t), u_{CA}(t), u_{AB}(t)$.

Выполнение функций пусковых реле осуществляется путём расчёта дифференциальных токов $I_{ДА}, I_{ДВ}, I_{ДС}$ (например $I_{ДА} = I_{A1} - I_{A2}$, где I_{A1}, I_{A2} - вектора токов в фазах А первой и второй линии). Между векторами $I_{ДА}$ и $U_{BC}, I_{ДВ}$ и $U_{CA}, I_{ДС}$ и U_{AB} находятся углы j_A, j_B, j_C (по этим углам определяют, на какой линии произошло КЗ, то есть они выполняют функции реле направления традиционной защиты). После этого происходит сравнение абсолютных значений дифференциальных токов ($I_{ДА}, I_{ДВ}, I_{ДС}$) с токами срабатывания $I_{CP.A}$ и возврата $I_{ВОЗ.A}$ (например $I_{CP.A}, I_{ВОЗ.A}$ для фаз А). Если ток $I_{ДА} (I_{ДВ}, I_{ДС}) > I_{CP.A} (I_{CP.B}, I_{CP.C})$, то $T_A (T_B, T_C)$ принимает значение 1, после чего происходит присвоение двоичных значений переменным M_A^1 и $M_A^2 (M_B^1$ и M_B^2, M_C^1 и $M_C^2)$ по результатам проверки по углу; если же ток $I_{ДА} (I_{ДВ}, I_{ДС})$ окажется меньше тока возврата, соответствующие значения переменных обнуляются. Защита действует на отключение выключателя первой или второй линии, если выполняются условия срабатывания по (1) - $O_1 = 1$ или (2) - $O_2 = 1$.

Рассмотрим работу защиты по предложенному алгоритму при каскадном отключении КЗ, например, между фазами В и С на первой линии. В данном режиме ток в фазе А первой линии отсутствует. Поэтому $I_{A1} < I_{ВОЗ.A1}$, выбранного с учётом отстройки от тока холостого хода линии. В результате $T_A^1 = 0$.

В других фазах ток протекает. Поэтому переменные $T_B^1, T_C^1, T_A^2, T_B^2, T_C^2$ имеют значение 1. Величины дифференциальных токов в каждой из трёх фаз превышают токи срабатывания $I_{CP.A}$. Следовательно, переменные T_A, T_B, T_C принимают значение 1. Угол φ_A будет соответствовать направлению мощности на второй линии (под воздействием тока нагрузки), а углы φ_B и φ_C - на первой. В результате M_A^2, M_B^1, M_C^1 принимают значение 1, а $M_A^1, M_B^2, M_C^2 = 0$. Далее вычисляются логические выражения (1) и (2). В данном случае $O_1 = 1, O_2 = 0$. Поэтому формируются команды на отключение первой линии.

При обрыве, например, фазы А на второй линии с коротким замыканием на землю с противоположной стороны переменные $T_A^1, T_B^1, T_C^1, T_B^2, T_C^2, M_A^1, T_A^2, T_B^2, T_C^2, M_A^2, M_B^1, M_C^1, M_B^2, M_C^2 = 0$. В результате согласно (1, 2) $O_1 = 0, O_2 = 0$, и команды на отключение первой или второй линии не последует.

Аналогично анализируется работа защиты в других режимах.

Вывод

Разработанный алгоритм даёт возможность выполнить поперечную дифференциальную направленную защиту двух параллельных линий так, чтобы не отстраиваться от токов нагрузки и от токов в неповреждённых фазах при каскадных отключениях и не отключать неповреждённую линию при обрыве фазы с односторонним заземлением.

Библиографический список

1. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 528 с.: ил.
2. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учеб. для вузов по спец. «Электроснабжение». - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1991. - 496 с.: ил.
3. А.с. 591982 СССР. Устройство для дифференциальной поперечной направленной защиты двух параллельных линий / В. Е. Поляков, М. Я. Клецель // Бюл. изобр. - 1975. - №5.
4. Клецель М. Я., Поляков В. Е. Релейная защита электрических систем. Алгоритмы логической части автономных защит. - Алма-Ата, 1985. - 77 с.
5. Басс Э. И., Дорогунцев В. Г. Релейная защита электроэнергетических систем.: Учебное пособие/ Под ред. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательство МЭИ, 2002. - 296 с.

КЛЕЦЕЛЬ Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление», г. Павлодар.

НИКИТИН Константин Иванович, кандидат технических наук, доцент ОмГТУ.

СТИНСКИЙ Александр Сергеевич, аспирант, инженер, г. Павлодар.

Дата поступления статьи в редакцию: 28.10.06 г.
© Клецель М.Я., Никитин К.И., Стинский А.С.

Книжная полка

Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины: Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2007. - 320 с.: ил. (Учебник для вузов)

Кобылин В.П. Повышение надежности электросетевого хозяйства на Севере / Отв. ред. Н.И. Воропай. - Новосибирск: Наука, 2006. - 223 с.

Панфилов В.А. Электрические измерения: Учебник для сред. проф. образования. - 3-е изд., испр. - М.: Изд. центр «Академия», 2006. - 288 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМОВ ТЯГИ И ТОРМОЖЕНИЯ ТРОЛЛЕЙБУСОВ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований. Данные экспериментов обработаны методами математической статистики. Получены числовые характеристики и обоснованы модели законов распределения вероятностей потребления электрической энергии в режиме тяги и рекуперации её в режиме торможения. Модели проверены по критериям согласия.

Повышение конкурентной способности электрической тяги по отношению к другим ее видам невозможно без снижения энергопотребления подвижным составом. Одним из путей экономии электроэнергии является, как известно, применение в электрических цепях тягового привода электронных ключей, обеспечивающих уменьшение потребления энергии при пусках, вторым — возврат части ее в источник питания в процессе электрического торможения транспортного средства. Широкое применение в последнее время силовой полупроводниковой техники позволяет реализовать возврат энергии (рекуперацию) подвижным составом любого вида электрического транспорта практически до полной остановки [1]. Наибольшего эффекта при рекуперации энергии удастся достичь на сравнительно коротких перегонах, которые присущи наземному городскому транспорту. Существующие методы определения энергетических характеристик троллейбусов на основе проведения тяговых расчетов не отражают реального процесса движения, так как не учитывают случайные факторы, существенно изменяющие эти характеристики. Учет влияния этих факторов на энергетические характеристики возможен только на основе проведения экспериментальных исследований, обработки опытных данных и определения коррелирующих закономерностей. Аналитическое выражение баланса энергии, затраченной на движение без учета потерь в приводе, имеет вид

$$A_{ист} = A_{кин} + A_{т} = (1 + \gamma)G_{пс}v_0^2/2g + \int_0^{s_{пер}} G_{пс}w \, dl, \quad (1)$$

где $A_{ист} = \int_0^{t_n} u i dt$ — потребленная подвижным составом за время пуска t_n энергия, Дж;

$A_{кин}$ — кинетическая энергия подвижного состава, накопленная к моменту перехода на выбег, Дж;

γ — коэффициент инерции вращающихся масс подвижного состава;

$G_{пс}$ — вес подвижного состава, Н;

v_0 — скорость начала выбега, м/с,

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения;

$w = a + bv + cv^2 + w_1$ — удельное сопротивление движению подвижного состава, Н/кН;

a, b, c — коэффициенты, зависящие как от типа подвижного состава, так и от режима движения (под током или без тока);

w_1 — удельное сопротивление движению подвижного состава от уклона;

$l_{пер}$ — длина перегона, м.

Поскольку величина тока i , потребляемого из сети, зависит от электромеханических характеристик двигателя и представление его в аналитическом виде затруднительно, используемые в настоящее время методы расчета основаны на замене подынтегральных зависимостей эквивалентными их значениями по длине перегона [2].

Для количественной оценки теоретически возможного возврата энергии в источник воспользуемся статистическими данными по величинам длин перегонов. При оптимальной длине перегона для мегаполисов в 500...600 метров [3] минимальная его длина составляет 200...250 метров, а максимальная — 800 и более. Проведенные тягово-энергетические расчеты показывают, что, например, для троллейбуса, оснащенного тяговым двигателем ДК 210 А-3, для перегонов более 250 метров в процессе пуска скорость не поднимается выше 60 км/ч, а величина скорости начала торможения незначительно зависит от длины перегона и может быть принята равной 30 км/ч (см. рис.1). При исполнении классической

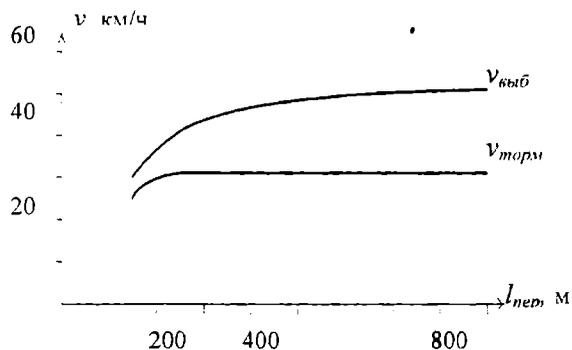


Рис. 1. Зависимости $v_{выб} = f(l)$ и $v_{торм} = \varphi(l)$

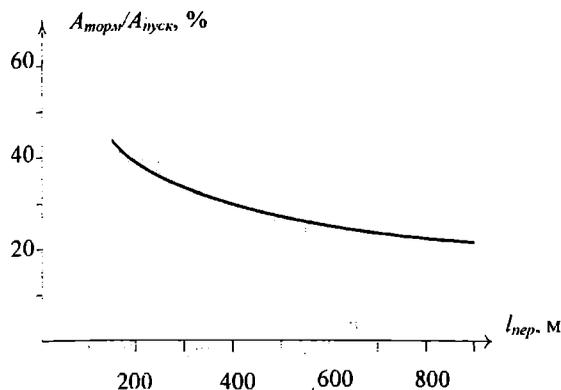


Рис. 2. Зависимость $A_{\text{торм}}/A_{\text{пуск}} = f(l_{\text{пер}})$

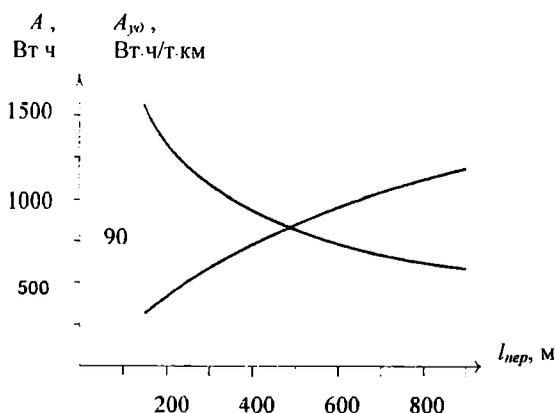


Рис. 3. Зависимости $A = f(l_{\text{пер}})$ и $A_{\text{уд}} = \varphi(l_{\text{пер}})$

схемы движения на перегоне оптимальной длины к моменту начала торможения подвижной состав сохраняет лишь 25% кинетической энергии от накопленной к моменту начала выбега. Часть этой энергии (до 10%) расходуется на преодоление сопротивления движению при выбеге и торможении до полной остановки, а часть — до 3% — в механических тормозах при дотормаживании со скоростью 5...7 км/ч. Таким образом, в классическом варианте движения теоретически возможна рекуперация до 20% (а с учетом КПД импульсного регулятора и мотора — до 17%) энергии от накопленной экипажем кинетической при разгоне до 60 км/ч.

На рис. 2 приведена кривая процентного отношения энергии рекуперативного торможения $A_{\text{торм}}$ к потребленной при пуске $A_{\text{пуск}}$ в функции длины перегона для того же троллейбуса. Приведенная зависимость показывает, что с уменьшением длины перегона $l_{\text{пер}}$ доля рекуперированной энергии возрастает. Кроме того, с уменьшением длины перегона, как следует из рис. 3, снижается и расход энергии на движение. Однако при этом:

- существенно снижается скорость сообщения;
- резко возрастает удельный расход энергии на движение, который выступает обычно как универсальный показатель экономичности транспортного средства.

Аналитическое выражение (1) описывает классическую схему движения транспортного средства, выполненного в режиме «пуск-выбег-торможение», которому соответствует движение на обособленном полотне. В реальных условиях из-за влияния случайных факторов схема движения, как правило, содержит повторные пуски, подтормаживания и т.д., что приводит к увеличению затрат энергии на движение. В этом случае аналитическое (1) приобретает вид

$$A_{\text{учт}} = (1 + \gamma) G_{\text{nc}} v_{\text{ак}}^2 / 2g + G_{\text{nc}} \sum_1^k \left(\int_{l_{k1}}^{l_{k2}} w_n dl + \int_{l_{k2}}^{l_{(k+1)1}} w_a dl + \int_{l_{(k+1)1}}^{l_{\text{пер}}} w_a dl \right),$$

где l_{k1} и l_{k2} — положение экипажа на перегоне в начале и конце k -того пуска, м;
 w_n — удельное сопротивление движению при пуске, Н/кН;
 w_a — удельное сопротивление движению при выбеге, Н/кН.

Целью экспериментальных исследований явилось определение количества энергии, потребляемой в режиме тяги и возвращаемой в режиме торможения. Опыты проведены на базе одного из депо горо-

да Новосибирска с троллейбусом типа ЗиУ-682Г. В электрическую цепь тягового двигателя были включены два счетчика, схема подключения которых приведена на рис. 4.

Для проведения экспериментов был выбран маршрут протяженностью 11,8 км по оси улиц. Маршрут имеет 41 перегон с длинами от 300 до 1000 м с максимальными уклонами до 67 ‰, проходит по улицам с большой и средней интенсивностями движения транспортных средств, имеет несколько сложных транспортных развязок, светофорное регулирование движения.

Опыты состояли в фиксации наблюдателями количества пассажиров в салоне, потребляемой и возвращаемой энергии на каждом перегоне, времени остановок и т.д. и проводились в различные периоды суток.

В качестве исследуемой величины рассматривалась удельная энергия в режимах тяги и торможения, определявшаяся по формуле:

$$A_{\text{уд}} = \frac{A}{l_{\text{пер}} \cdot (G_T + g \cdot n)}, \quad (2)$$

где A — энергия тяги или торможения, фиксируемая счетчиками на перегоне;

$l_{\text{пер}}$ — длина перегона, км;

G_T — вес тары снаряженного троллейбуса (для ЗиУ-682Г $G_T = 103,35$ кН);

$g = 700$ — среднестатистический вес пассажира, Н;

n — количество пассажиров в салоне, чел.

В результате проведения эксперимента выяснилось, что удельная энергия изменяется случайным образом, различаясь по перегонам и от рейса к рейсу. Таким образом, удельная энергия могла рассматриваться как случайная величина, обработка выборки которой была выполнена методами математической статистики. Обработка выборки включала выполнение следующих операций [4]: упорядочение и группирование ряда; определение числовых характеристик, оценка их надежности и точности; подбор выравнивающей функции и проверка ее по критериям согласия; построение гистограмм статистической и выравнивающей функций.

Числовые характеристики определялись по формулам [5,6]:

— начальные и центральные моменты

$$\alpha_s[X] = \sum_{i=1}^n x_i^s \cdot P_i;$$

$$\mu_s[X] = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^s \cdot P_i;$$

— математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение

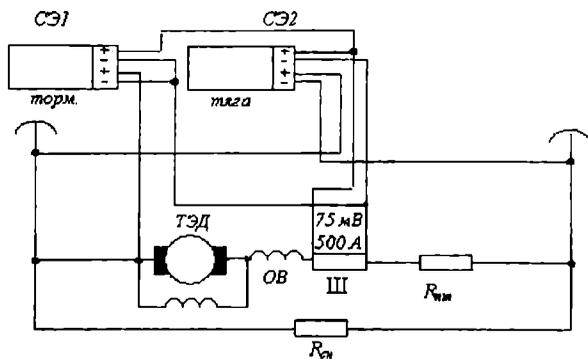


Рис. 4. Схема включения счетчиков СЭЭПТ-1

$$M[X] = m_x = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P_i;$$

$$D[X] = \mu_2(X) = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2 \cdot P_i;$$

$$\sigma[X] = \sqrt{D[X]}.$$

Точность оценок числовых характеристик (ЧХ) определялась по формулам [4]:

$$P(|\tilde{m} - m| < \xi_\beta) = 2 \cdot \Phi\left(\frac{\xi_\beta}{\sigma_{\tilde{m}}}\right) - 1 = \beta;$$

$$\xi_\beta = \sigma_{\tilde{m}} \cdot \arg \Phi\left(\frac{1 + \beta}{2}\right);$$

$$I_\beta = (\tilde{m} - \xi_\beta; \tilde{m} + \xi_\beta),$$

где X — случайная величина, соответствующая удельному расходу электрической энергии; m — ЧХ,

а \tilde{m} — ее оценка; ξ_β — точность оценки ЧХ; $\beta \approx 0,9 \div 0,95$ — доверительная вероятность попадания ЧХ в интервал I_β ; $\sigma_{\tilde{m}}$ — среднее квадратичное отклонение оценок ЧХ; $\Phi^*(\cdot)$ — функция Лапласа [4].

Величина $\sigma_{\tilde{m}}$ для оценок математического ожидания и дисперсии определяются по формулам:

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{\tilde{D}_x}{n}}, \quad \sigma_{\tilde{D}} = \sqrt{\frac{2}{n-1}} \cdot \tilde{D}_x. \quad (6)$$

Соответствие статистических данных выравнивающей функции проверялось по критериям Пирсона χ^2 и Колмогорова А. Н. на основе формул:

$$\chi^2 = n \cdot \sum_{i=1}^k \frac{(P_i^* - P_i)^2}{P_i}, \quad D \cdot \sqrt{n} \geq \lambda, \quad (7)$$

где: P_i^* , P_i — вероятности статистическая и теоретическая;

n , k — число членов выборки и разрядов группирования;

D — максимальное расхождение функций статистической и теоретической.

По χ^2 и λ определялись вероятности соответствия теоретических функций статистическим данным.

Выборка величин удельной энергии при торможении составила 327 членов, которые были сгруппированы в 16 разрядов с шагом интервала 5 Втч/ткм, а в 17-м разряде определена средняя плотность для интервала от 80 до 140 Втч/ткм. Сгруппированный статистический ряд показан в табл. 1, в которой удельная энергия торможения приведена в именованных $A_{уд\ торм}$ (Втч/ткм) и относительных ($A'_{уд\ торм} = A_{уд\ торм} / m_x$) единицах. Здесь же показано число попаданий значений $A_{уд\ торм}$ в i -тый разряд (m_i), статистические плотности ($P_i^* = m_i / n$) и функция ($F_i^* = \sum_{j=1}^i P_j^*$).

Таблица 1
Упорядоченный статистический ряд величин удельной энергии при торможении

№	$A'_{уд\ торм}$	$A_{уд\ торм}$	m_i	P_i^*	P_i	F_i^*	F_i
1	5	0,4	11	0,034	0,012	0,034	0,012
2	10	0,8	6	0,018	0,051	0,052	0,063
3	15	1,2	39	0,119	0,088	0,171	0,151
4	20	1,6	37	0,113	0,107	0,284	0,258
5	25	2,0	43	0,132	0,113	0,416	0,372
6	30	2,4	35	0,107	0,109	0,523	0,481
7	35	2,8	27	0,083	0,099	0,606	0,579
8	40	3,2	36	0,110	0,086	0,716	0,665
9	45	3,6	23	0,070	0,0721	0,786	0,737
10	50	4,0	19	0,058	0,059	0,844	0,796
11	55	4,4	11	0,033	0,047	0,877	0,844
12	60	4,8	14	0,043	0,037	0,92	0,881
13	65	5,2	9	0,028	0,029	0,948	0,911
14	70	5,6	4	0,012	0,022	0,96	0,933
15	75	6,0	3	0,009	0,017	0,969	0,950
16	80	6,38	1	0,003	0,013	0,972	0,963
17	140	11,16	9	0,028	0,037	1	1

Таблица 2

Обозначение ЧХ		$m^*[X]$	$D^*[X]$	$\sigma^*[X]$	$\alpha_2^*[X]$
Значения ЧХ	имен. ед.	35,3	443	21,0	1662
	относит. ед.	1	0,354	0,595	1,34

Таблица 3

Упорядоченный статистический ряд удельной энергии тяги

№	$A_{уг\ торм}$	$A_{уг\ торм}$	m_i	P_i	P_i Гамма-функция	P_i Норм	F_i	F_i Гамма-функция	F_i Норм
1	10	0,090	2	0,006	0,00002	0,0031	0,006	0,000	0,000
2	20	0,181	1	0,003	0,000797	0,0091	0,009	0,001	0,001
3	30	0,271	12	0,036	0,005136	0,0153	0,046	0,006	0,039
4	40	0,361	11	0,035	0,016047	0,0226	0,079	0,022	0,062
5	50	0,452	21	0,064	0,031	0,0316	0,143	0,053	0,093
6	60	0,542	20	0,061	0,051	0,0401	0,204	0,104	0,135
7	70	0,632	17	0,052	0,069	0,0532	0,256	0,173	0,187
8	80	0,723	31	0,095	0,083	0,0647	0,351	0,256	0,251
9	90	0,813	19	0,058	0,091	0,075	0,408	0,347	0,326
10	100	0,903	18	0,055	0,093	0,0826	0,463	0,440	0,409
11	110	0,994	18	0,055	0,09	0,087	0,518	0,530	0,496
12	120	1,084	23	0,070	0,084	0,0865	0,588	0,614	0,579
13	130	1,174	28	0,085	0,074	0,0835	0,674	0,688	0,663
14	140	1,265	18	0,055	0,065	0,0761	0,729	0,753	0,739
15	150	1,355	25	0,076	0,054	0,0662	0,805	0,807	0,805
16	160	1,445	27	0,082	0,044	0,0548	0,887	0,851	0,860
17	170	1,536	10	0,031	0,0343	0,0416	0,918	0,877	0,902
18	180	1,626	9	0,027	0,026	0,033	0,945	0,915	0,935
19	190	1,716	10	0,031	0,0208	0,0237	0,976	0,937	0,958
20	260	2,349	8	0,024	0,0195	0,0206	1,000	1,000	1,000

Таблица 4

Оценка ЧХ удельной энергии тяги

Обозначение ЧХ		$m^*[X]$	$D^*[X]$	$\sigma^*[X]$	$\alpha_2^*[X]$
Значения ЧХ	имен. ед.	110,7	2106	45	14543
	относит. ед.	1	0,186	0,41	1,18

Из ряда табл.1 по формулам (3,4) определены числовые характеристики, показанные в табл.2.

Точность оценок числовых характеристик определена по формулам (5, 6) при доверительной вероятности $\beta = 0,95$. Получены интервалы для математического ожидания и дисперсии: $I_{0,95} = (35,3 - 2,3; 35,3 + 2,3)$.

Выборка величин удельной энергии в режиме тяги приведена в табл.3.

Результаты расчетов числовых характеристик показаны в табл.4.

Точность оценок при доверительной вероятности $\beta = 0,95$ составит для математического ожидания и дисперсии: $I_{0,95} = (110,7 - 4,97; 110,7 + 4,97)$.

В качестве модели закона распределения энергий в режимах тяги и торможения рассмотрено гамма-распределение, плотность вероятностей которого имеет вид [4,5,6]:

$$f_k(x) = \frac{\lambda^k}{\Gamma(k)} \cdot x^{k-1} \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad (7)$$

В системе относительных единиц $m_x = 1$,

$$k = \lambda = m = \frac{1}{\sigma_x^2} \quad (8)$$

тогда выражение (7) примет вид:

$$f_k(x_*) = \frac{m^m}{\Gamma(m)} \cdot x_*^{m-1} \cdot e^{-m \cdot x_*} \quad (9)$$

где $\Gamma(m)$ – полная гамма-функция с параметром "m".

Таблица 5

Соответствие статистических данных моделям законов распределения

Режим	Вероятности по критериям			
	Колмогорова		Пирсона	
	Норм. расп.	Г- расп.	Норм. расп.	Г- расп.
тяга	0,964	0,964	0,42	0,42
торможения	— — —	0,99	— — —	0,41

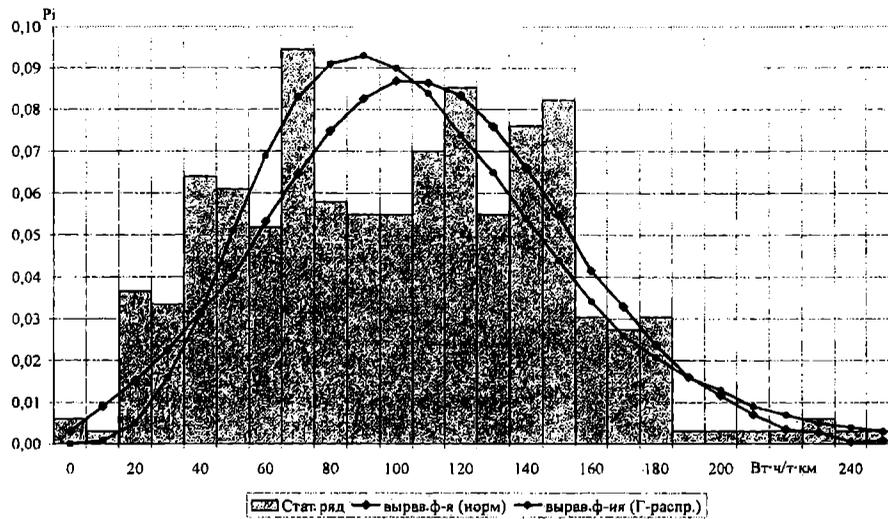


Рис. 5. Гистограмма и графики моделей законов распределения энергии тяги

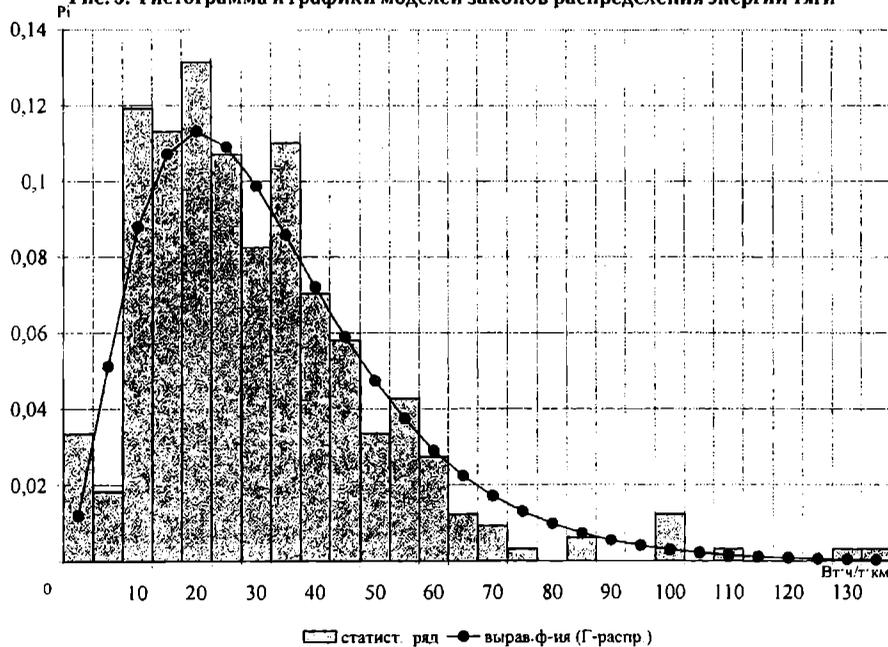


Рис. 6. Гистограмма и график модели закона распределения энергии торможения

Функцию гамма-распределения при этом можно представить в форме:

$$F(x_*) = \frac{m^m}{\Gamma(m)} \int_0^{x_*} x_*^{m-1} \cdot e^{-mx_*} dx_* \quad (10)$$

На основе данных о ЧХ параметры моделирующих функций будут иметь значения: в режиме тяги — $m = 5,8$; в режиме торможения — $m = 2,8$.

Дополнительно в качестве модели для режима тяги рассмотрено нормальное распределение:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2 \cdot \sigma^2}} dt, \quad t = \frac{x-m}{\sigma} \quad (11)$$

Оценка соответствия статистических данных и выравнивающих функций выполнена по критериям А.Н.Колмогорова и Пирсона χ^2 .

Сравнение гистограмм и моделей законов распределений величины энергии в режимах тяги и торможения показано на рис. 5, 6.

Выводы

1. Величины удельных значений электрической энергии в режимах торможения и тяги могут представляться как случайные величины, что обусловлено наличием значительного числа случайных факторов, влияющих на процессы движения.

2. Основным законом распределения вероятностей удельных значений электрической энергии в режимах тяги и торможения является гамма-распределение. При $m \geq 6$ целесообразно переходить от гамма-распределения к нормальному закону.

3. В условиях значительных помех при движении подвижного состава в общем потоке преобладают фазы тяги и торможения. Длительность фазы выбега существенно уменьшается, что и приводит к росту величины энергии торможения, которая может достигать 33% от энергии, израсходованной на тягу.

Библиографический список

1. Розенфельд В.Е. Тиристорное управление электрическим подвижным составом постоянного тока [Текст]: / В.Е. Розенфельд [и др.] — М.: Транспорт, 1970. — 240 с.

2. Розенфельд В.Е. Теория электрической тяги: Учебник для вузов ж.-д. трансп. [Текст]: / В.Е. Розенфельд [и др.] — 2-е изд. перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983 — 328 с.

3. Бирюков В.В., Ворфоломеев Г.Н. Определение оптимальной длины перегона по критерию минимума удельных энергозатрат [Текст]: / Бирюков В.В., Ворфоломеев Г.Н. // «Электроэнергия и будущее цивилизации». Междунар. научно-техн. конф. Россия, Томск, 2004. - С. 257-259.

4. ГОСТ 11.006. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим [Текст]. М.: Госком. стандартов Сов. мин. СССР 74. — 29 с.

5. ГОСТ Р 50779.10 — 2000 (ИСО 3534.1 - 93) Вероятность и основы статистики [Текст]. М.: Госстандарт России 2000. — 37с.

6. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики [Текст]: / Большев Л.Н., Смирнов Н.В. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. — 416 с.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: Учеб. для вузов [Текст] — 7-е изд. стер. — М.: Высш. шк., 2001. — 575 с.: ил.

8. Пагурова В.И. Таблицы неполной гамма-функции [Текст]. М.: ВЦ АН СССР, 1968. — 236 с.

БИРЮКОВ Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические комплексы».

СОПОВ Валентин Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические комплексы»

ПРОКУШЕВ Юрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические комплексы».

ШТАНГ Александр Александрович, инженер, ассистент кафедры «Электрические комплексы».

СПИРИДОНОВ Егор Александрович, магистр технических наук, аспирант кафедры «Электрические комплексы»

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.

© Бирюков В.В., Сопов В.И., Прокушев Ю.А., Штанг А.А., Спиридонов Е.А.

УДК 621.184.82.

В. П. БЕЛОГЛАЗОВ

Омский государственный
технический университет

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ПОПЕРЕЧНО-СТРУЙНОГО АЭРОФИЛЬТРА

В работе рассматриваются различные подходы к описанию процесса очистки газа в поперечно-струйном аэроfiltре и предлагаются математическая модель процесса течения запыленного газа и основы расчета поперечно-струйного аэроfiltра.

Проблема улавливания золы частиц из топочных газов актуальна до тех пор, пока КПД аппарата меньше 99,99%, что дает рукавный фильтр. Но установка и эксплуатация рукавного фильтра весьма дороги для российской энергетики. Если нет материальных средств для установки новых котлов взамен полностью изношенных, то на систему золоочистки в ее современном виде их и не предвидится. Экологические штрафы со временем только растут, и выход видится в создании аппаратов менее материалоемких, чем рукавные фильтры, более дешевых в эксплуатации и по возможности по степени улавливания близких к «четырем девяткам».

На сегодняшний день аппаратов, улавливающих золы частицы из дымовых газов, создано довольно большое количество, это трубы вентури, мокрые скруббера, батарейные циклоны, электроfiltры.

В настоящее время появились градиентные сепараторы, поперечно-струйные аэроfiltры и

многие другие конструкции. Большой обзор по указанным аппаратам можно найти в литературе [3-6].

«Нужен совершенно универсальный и эффективный абсолютный пылеуловитель, сокращенно АПУ. Он должен не бояться высокой температуры, иметь ничтожное сопротивление воздуху, не требовать больших затрат электроэнергии, не загрязнять водоемы пульпой, иметь удобное устройство для извлечения уловленной пыли. Задача такого АПУ — ловить, ловить и ловить пыль. Магнитную и немагнитную, грубую и тонкую, электропроводную и изоляционную, гладкую и пушистую. АПУ ждут. На него надежда проектировщиков домен, конвертеров и химических реакторов» [3].

Предлагаемая работа посвящена разработке аппарата расчета поперечно-струйного аэроfiltра, предложенного Ю. Агаповым [1, 2] и другими, среди которых и автор данной работы.

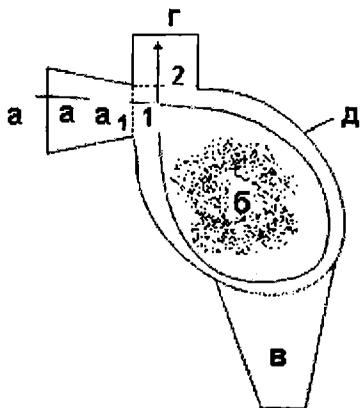


Рис. 1. Схема установки

а – вход запыленного потока; б – аэродинамическая ловушка; в – сборная камера; г – выход потока, очищенного от пылевых частиц; д – образующая

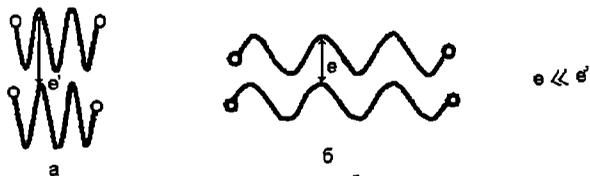


Рис. 2.

Принцип работы аппарата, предложенный Ю. Агаповым, предполагает существование только волновой структуры вещества, что переключается с работами Ю.Иванова [7] о понимании любого вещества как волны. Схема установки достаточно проста и выглядит следующим образом:

Запыленный поток входит в аппарат в сечение 1 со скоростью большей, чем уходящий поток в сечение 2. Далее предполагается, что на участке $a - a_1$ поток «растягивается» и искусственно ламинаризуется (что визуально отмечается на многочисленных экспериментальных данных). При этом молекулы располагаются относительно друг друга на молекулярном расстоянии $e - e'$, которое в окончательном состоянии и является как бы ячейкой рукавного фильтра. Рис.2 (б).

В месте пересечения струи (1) и струи (2) предполагается, на основании работы Жолондковского [3], что частицы всегда захватываются струей, скорость которой больше, а струя (2) проходит через струю (1) насквозь, не возмущая ни ее, ни себя.

Такое объяснение хорошо иллюстрирует потенциальные возможности устройства с КПД ничуть не хуже, чем у рукавных фильтров, но математического аппарата, описывающего процесс, согласно представленной выше гипотезе, на сегодняшний день не существует. Не существует и строгого доказательства, что струи ведут себя именно так, а не иначе. Молекулярно-кинетическая теория при такой гипотезе не позволяет решить задачу традиционным способом, а между тем аппарат работает, но его эффективность приходится подбирать экспериментальным путем чаще всего интуитивно.

Чтобы получить математический аппарат для расчета подобных агрегатов, предлагается альтернативное видение процесса, которое заключается в следующем:

Запыленный поток (рис. 3), проходя через сечение (1), имеет скорость больше, чем поток в сечении (2). Но большую скорость имеют и частицы в этом потоке, а значит, и большую кинетическую энергию,

которая позволяет им преодолеть сечение (2) по касательной и устремиться вдоль образующей д. По мере движения скорость частиц и несущего их потока падает, и в области сборной камеры, где градиенты давления в сборной камере и в ловушке выравниваются, образуются условия выпадения частиц в саму камеру. Оставшиеся частицы (незначительная часть) попадают в аэродинамическую ловушку, накапливаются в ней и за счет гравитационной силы в конечном итоге проваливаются в сборную камеру б.

При этом расстояние $S' - S''$ определяет место выпадения частицы определенного размера.

Наблюдение выпадения частиц в сборную камеру подтверждает вышесказанное. Лишь незначительная часть (менее 2-3%) частиц увлекается потоком и переносит частицы обратно в аэродинамическую ловушку.

При такой постановке задача является принципиально решаемой с привлечением уравнений Навье-Стокса, описывающих течение потока, с добавлением к нему транспортных уравнений (по работам Бувевича, Деревича и др. [11-13]) для движущихся частиц, граничными условиями которых на стенке являются граничные условия третьего рода [13].

Проблема теории турбулентности, на первый взгляд, здесь не должна мешать разработке метода расчета. Но скорости потока и геометрические (граничные условия) таковы, что, по определению, приходится иметь дело с потоками, число Re для которых уже лежит в области турбулентного течения.

Таким образом, выбор математической модели течения является также немаловажным.

На сегодняшний день в литературе имеется достаточно большое количество математических моделей, хорошо зарекомендовавших себя в различных областях знаний, для различных течений при разнообразных граничных условиях.

Наибольшее распространение получила $k-\epsilon$ модель течения вязкой жидкости [10].

$$\left\{ \begin{aligned} & \rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial u}{\partial z} = \\ & = -\frac{\partial p}{\partial x} + g_x(\rho - \rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_z \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_z \frac{\partial u}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_z \frac{\partial u}{\partial z}); \\ & \rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial v}{\partial z} = \\ & = -\frac{\partial p}{\partial y} + g_y(\rho - \rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_z \frac{\partial v}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_z \frac{\partial v}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_z \frac{\partial v}{\partial z}); \\ & \rho u \frac{\partial \omega}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} = \\ & = -\frac{\partial p}{\partial z} + g_z(\rho - \rho_0) + \frac{\partial}{\partial x}(\mu_z \frac{\partial \omega}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_z \frac{\partial \omega}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_z \frac{\partial \omega}{\partial z}); \\ & \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial z} = 0; \\ & \rho u \frac{\partial k}{\partial x} + \rho v \frac{\partial k}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial k}{\partial z} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_z \frac{\partial k}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_z \frac{\partial k}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_z \frac{\partial k}{\partial z}) + G_{\mu_m} - \rho \epsilon; \\ & \rho u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \rho \omega \frac{\partial \epsilon}{\partial z} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x}(\mu_z \frac{\partial \epsilon}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\mu_z \frac{\partial \epsilon}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\mu_z \frac{\partial \epsilon}{\partial z}) + C_1 \frac{G_{\epsilon}}{k} - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \end{aligned} \right.$$

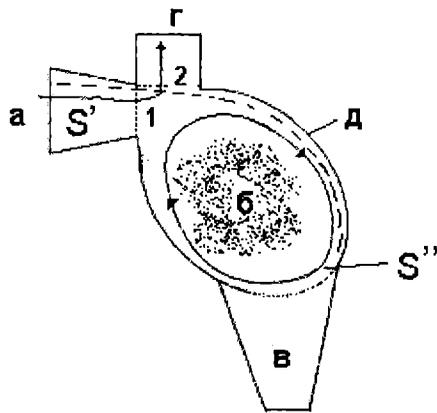


Рис. 3. Схема установки

Программа расчета движущегося потока, разработанная Б. Сполдингом, PHOENICS-3.5, построенная на базе вышеприведенных уравнений, на сегодняшний день является одной из лучших в своей области с точки зрения удобства пользования, качества расчетов, мобильности к встраиваемым моделям других разработчиков, количественных расчетных результатов.

Последние свойства оказались решающими при выборе программы. Автором данной работы разработана $k-l$ модель [9], для которой вместо уравнения по диссипации турбулентной кинетической энергии решается дифференциальное уравнение по масштабу турбулентности l .

$$\rho u \frac{\partial l}{\partial x} + \rho v \frac{\partial l}{\partial y} + \rho \omega \frac{\partial l}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_T \frac{\partial l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_T \frac{\partial l}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_T \frac{\partial l}{\partial z} \right) + \frac{\partial u}{\partial x} l \rho + \frac{\partial v}{\partial y} l \rho + \frac{\partial \omega}{\partial z} l \rho$$

Данная модель представлена отдельной программой "TECHENIE" и может быть встроена в вычислительный комплекс PHOENICS-3.5 [8] (что и было сделано).

Произведено тестирование программы, и результаты экспериментальных данных различных авторов, модели Б. Сполдинга и результатов работы программы хорошо коррелируются.

Таким образом, предлагаемая математическая модель течения вязкой жидкости, программы "TECHENIE" и PHOENICS-3.5 и транспортные уравнения Бувевича для частиц, геометрические размеры аппарата, граничные условия являются основой для

создания метода расчета поперечно-струйного аэрофильтра. Именно этот подход в настоящее время находится в стадии завершения и будет представлен по мере готовности.

Библиографический список

1. Агапов Ю.Е., Сафарбаков А.М. Поперечно-струйный аэрофильтр. Предварительный патент № 3810. Алматы. — 1996.
2. Агапов Ю.Е., Белоглазов В.П., Маковицкая С. Л., Музыка Л.П., Оришевская Е. В. Исследование теплообмена в аппаратах с закрученным течением теплоносителя. Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы комплексного развития регионов Казахстана». Алматы — 1996 г. — с. 158 — 163.
3. Жолондковский О. И., Внимание, воздух! М.: Моск. рабочий, 1985. — 159 с.
4. Белоглазов В.П., Оришевская Е.В. Разработка математической модели течения в проточной части поперечно-струйного отсека пыля. Материалы республиканской научно-практической конференции «Наука и образование в стратегии регионального развития». — Павлодар — 1999 г.
5. Белоглазов В.П., Оришевская Е.В. Численное моделирование растянутого потока в проточной части аэрофильтра. Сб. Статей «Ученые записки ПГУ». — Павлодар — 1999 г.
6. В. Н. Ужова, А. Ю. Вальдберга, Б. И. Мягкова и И.К. Решидова. Очистка промышленных газов от пыли. — Москва, «Химия» — 1981.
7. Иванов Ю.Н. Ритмодинамика. - Москва: Новый Центр, 1997. -312 с.
8. В. Spalding, Simultaneous Prediction of Solid stress, Heat transfer and Fluid flow by a Single Algorithm, Lecture presented at XIII School-Seminar of Young Scientists and Specialists under the leadership of the Academician, Professor A.I.Leontiev May 20-25, 2001, Saint Petersburg, Russia.
9. Белоглазов В.П. К вопросу о К-Л модели, Вестник ПГУ №4, 2004 г.
10. Мотулевич В.П., Жубрин С.В. Численные методы расчета теплообменного оборудования. МЭИ. — 1989. — 78 с.
11. Бувевич Ю.А., Каган И.Б., Лисин Ф.Н. О распределении взвешенных частиц в турбулентном потоке, ИФЖ, 1989, т.58, № 4. — с. 546-554.
12. Бувевич Ю.А., Зубарев А. Ю., Исаев А.М. О гидродинамике суспензий, ИФЖ, 1989, т. 57, № 3 — с. 402-412.
13. Деревич И.В., Зайчик Л.И. Граничное условие для уравнения диффузии частиц в неоднородном потоке, ИФЖ, 1989, т.59, №5 — с. 735-739.

БЕЛОГЛАЗОВ Владимир Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика».

Дата поступления статьи в редакцию: 01.11.06 г.
© Белоглазов В.П.

Книжная полка

Белов М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие / М.П. Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козьярук; ред.: В.А. Новикова, Л.М. Чернигов. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 368 с.

В учебном пособии рассмотрены основные виды инжиниринговой деятельности, направленные на создание и эксплуатацию электроприводов и систем автоматизации производственных машин и технологических комплексов. Последовательно рассматривается вся цепочка деятельности, определяемая понятием «работа под ключ»: от бизнес-плана и технического задания до монтажа, наладки и сервисного обслуживания. На уровне пользователя даны основные приёмы применения современных компьютерных и информационных технологий. Особое внимание уделено расчету и выбору средств и систем программной документации. Даны сведения о нормативно-технических документах, определяющих условия установки и эксплуатации электрооборудования, а также об оформлении организационно-правовых отношений сторон, участвующих в создании новых объектов.

Для высшего профессионального образования. Допущено УМО.

Институт социальной реабилитации
Новосибирского государственного
технического университета

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЙ АСПЕКТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Предлагается метод расчета параметров качества окружающей среды для целей проектирования (и/или прогнозирования) промышленных объектов, входящих в межгосударственную энергетическую структуру. В соответствии с вводимой аксиоматикой и методологией гибких вычислений могут быть рассчитаны и установлены в законодательном порядке перспективные значения параметров качества окружающей среды.

1. Введение

Макро- и региональная интеграция является одним из основных уровней сотрудничества между государствами, основными секторами общества и людьми в установлении нового равноправного, глобального партнерства и выступает в качестве одной из главных целей концепции перехода к устойчивому развитию. В новых условиях хозяйственных и экономических отношений, особенно при формировании межгосударственной энергетической структуры (МЭС), составляющей суть энергетики устойчивого развития, могут возникнуть проблемы, которые требуют коренного переосмысления и корректировки [1]. Одной из таких проблем является нормирование качества окружающей среды.

2. Терминология

Нормирование качества окружающей среды (воды, воздуха, почв) [2] — «установление пределов, в которых допускается изменение ее естественных свойств. Обычно норма определяется по реакции самого чувствительного к изменениям среды вида организмов (организма-индикатора), но могут устанавливаться также санитарно-гигиенические и экономические целесообразные нормативы».

Концентрация загрязнителей [2] — «их количество в определенном объеме или весовой единице воздуха, воды, почвы или другой среды».

Предельно допустимая концентрация (ПДК) [2] — «количество вредного вещества в окружающей среде, при постоянном контакте или при воздействии за определенный промежуток времени практически не влияющее на здоровье человека и не вызывающее неблагоприятных последствий у его потомства. Устанавливается в законодательном порядке или рекомендуется компетентными органами».

Стандарты качества окружающей среды [3] — «совокупность единых, соответствующих достигнутому уровню научно-технического прогресса требований, предъявляемых государством и его органами к состоянию природных объектов, деятельности предприятий и граждан в целях обе-

спечения оптимального качества окружающей среды. Состоят из технических, экономических и организационных норм, определяющих параметры качественного состояния окружающей среды».

Нормативы содержания вредных веществ [3] — «пороговые величины допустимой концентрации загрязнителей в природной среде, определенные стандартами ее качества».

Гибкие вычисления [4] — научное направление, основу которого составляют теория нечетких множеств, нечеткая логика, нейронные вычисления, генетические, вероятностные и, по нашему мнению, интервальные вычисления.

Концепция устойчивого развития [5] — «конструктивная реакция общества на поступающую массивную информацию (включая космические исследования) о деградации под непомерным антропогенным давлением всех природных систем жизнеобеспечения, что при продолжении современных тенденций развития угрожает выживанию человечества и существованию Земли как "живой системы"».

Энергетика устойчивого развития — методология, в основе которой лежит система взглядов научного коллектива Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН [6].

3. Факторы, определяющие необходимость пересмотра параметров качества окружающей среды

Экологическое благополучие как состояние экосистемы, при котором обеспечивается необходимый уровень ее социально-экологических и социально-экономических функций, должно определяться в первую очередь экологической политикой государств-субъектов МЭС, основанной на общечеловеческом подходе к решению практических проблем экологии и охраны природы. Решению большинства проблем способствуют юридические положения природоохранительных документов, выполняющих социальную функцию правового регулирования охраны окружающей среды. Кроме того, они устанавливают показатели качества

природной среды наряду с ПДК и физическими воздействиями на среду, определяя нормирование в охране природы. При этом стандарты качества окружающей среды задаются нормированием в охране природы и в соответствии с достигнутым уровнем научно-технического прогресса определяют параметры качества окружающей среды, например нормативы содержания вредных веществ. Однако представление о тех или иных порогах или стандартах является временным отражением нашего интеллекта, самой эволюции, научно-технического и геополитического прогресса. Именно поэтому постепенно зреет неудовлетворенность пороговыми принципами современной экологии и формируется идея беспороговой экологии, в которую должны включаться все ресурсы и все элементы жизни человека для достижения экологического благополучия [7].

При формировании МЭС следует учитывать и то, что загрязнение природной среды охватывает территорию нескольких государств или целые континенты за счет трансграничного переноса загрязнителей. Решение проблемы достижения экологического благополучия на глобальном уровне или уровне МЭС требует не только и не столько национальных, сколько международных усилий: политических, юридических, экономических [5]. Недостаточная проработанность правовых и нормативных вопросов при определении параметров качества окружающей среды может усложнить взаимоотношения субъектов МЭС. Нормативно-правовой аспект определения стандартов качества окружающей среды для субъектов МЭС диктует необходимость применения новых методов и моделей обоснования нормативов содержания вредных веществ, ПДК вредных веществ, ориентировочных безопасных уровней взаимодействия загрязняющих окружающую среду веществ и других параметров. В основе предлагаемого в данной работе метода расчета количественных показателей качества окружающей среды для целей проектирования (и/или прогнозирования) промышленных объектов, входящих в МЭС, лежат базовые понятия интервальных вычислений [8] и теории нечетких множеств [9] – основных компонентов методологии гибких вычислений.

4. Аксиоматика пересмотра параметров качества окружающей среды

Аксиоматика пересмотра параметров качества окружающей среды опирается на тенденцию приобретения природной средой и ее компонентами новых количественных и качественных свойств под влиянием антропогенных факторов. Большинство из них рассматривается как неоспоримые факты, учитываемые, например, экологическими стандартами Еуго, концепцией устойчивого развития человечества, концепцией беспороговой экологии, которые можно распространить и на проблемы, связанные с системными исследованиями в энергетике. В этом случае, по нашему мнению, во всех прогнозных расчетах (в проектировании, прогнозировании, управлении) нужно иметь в виду следующие аксиомы.

Аксиома 1. Невозможно обеспечить экологическое благополучие и устойчивое развитие на одной отдельно взятой территории – будь то страна в целом или ее отдельный регион.

Аксиома 2. Любой порог, любая принятая и утвержденная законом норма (как экологический

стандарт) оказывается лишь временной, транзитной.

Аксиома 3. Экологические нормативы двух соседних регионов или стран-субъектов МЭС могут определять законодательно установленный интервал предельнодопустимой концентрации вредных веществ (MPPC – *maximum permissible pollutants concentration*) на их территориях:

$$MPPC = [es_1, es_2] = \{n | es_1 \leq n \leq es_2, n \in \mathfrak{R}\}, \quad (1)$$

где es_1, es_2 – нормативы содержания вредных веществ в регионах $R1$ и $R2$ соответственно; n – текущее значение концентрации загрязнителей окружающей среды на данный момент времени, моль/м³.

Лемма. На интервале MPPC (1) можно определить согласованное и приемлемое для регионов-субъектов МЭС значение экологического ограничения N , которое соответствовало бы более высокому уровню научно-технического прогресса и состоянию энергетических технологий.

С учетом вводимых аксиом и леммы далее приводится алгоритм установления в законодательном порядке перспективных значений параметров качества окружающей среды на примере концентрации загрязнителей. Приведем только используемые в этой работе понятия интервальных вычислений и теории нечетких множеств. Заметим, что в дальнейшем интервальные оценки предполагается использовать в целях формирования квот, установления потенциально возможных пропорций хозяйственного использования экологических ресурсов и допустимых величин антропогенного воздействия. Поэтому эти оценки будут рассматриваться как самостоятельные объекты, а не как способ задания вещественных чисел, которые известны лишь в некотором интервале (как, например, доверительные интервалы в математической статистике).

Интервал A – это замкнутое ограниченное подмножество множества всех вещественных чисел \mathfrak{R} [8]:

$$A = [a_1, a_2] = \{x | a_1 \leq x \leq a_2, x \in \mathfrak{R}\},$$

где a_1, a_2 – соответственно левая и правая границы интервала.

Ширина $\omega(A)$ интервала A [8]:

$$\omega(A) = a_2 - a_1.$$

Нечеткое множество или подмножество \tilde{A} множества всех вещественных чисел \mathfrak{R} характеризуется функцией принадлежности ($\mu_{\tilde{A}}: \mathfrak{R} \rightarrow [0, 1]$), которая ставит в соответствие каждому элементу $x \in \mathfrak{R}$ число $\mu_{\tilde{A}}(x)$ из единичного интервала, представляющее степень принадлежности элемента подмножеству \tilde{A} [9].

$$\tilde{A} = \{ \langle \mu_{\tilde{A}}(x), x \rangle | x \in \mathfrak{R} \}.$$

В качестве основной бинарной операции над нечеткими числами как нечеткими множествами выбрана в этой статье операция пересечения множеств A и B :

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \min \{ \mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x) \}. \quad (2)$$

Высотой нечеткого множества называется величина, представляющая собой наибольшее значение степени принадлежности:

$$\sup_x \mu_{\tilde{A}}(x). \quad (3)$$

Множеством α -уровня множества \tilde{A} , заданного в полном множестве \mathfrak{R} , является строго определенное

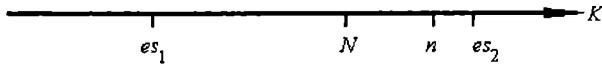


Рис. 1. Возможная ситуация приемлемого значения экологического ограничения N

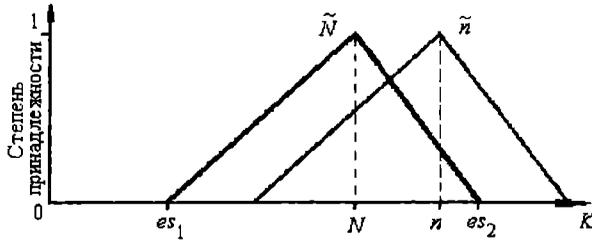


Рис. 2. Функции принадлежности нечетких чисел

(четкое) множество A_α , полученное из множества \tilde{A} для каждого α из интервала $[0, 1]$, вида:

$$A_\alpha = \{x \in \mathfrak{R} \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}. \quad (4)$$

5. Определение перспективных значений параметров качества окружающей среды

Первый шаг. В связи с тем, что экологическая политика, нормативные предписания в охране природы, технологические стандарты выбросов загрязняющих веществ в сопредельных регионах отличаются друг от друга, возникает необходимость в определении и согласовании между регионами единого, приемлемого значения экологического ограничения N на долгосрочную перспективу (рис. 1). Здесь и далее на рисунках буквой K обозначается концентрация загрязнителей, $мол/м^3$.

Второй шаг. Приемлемое для регионов значение экологического ограничения N моделируется треугольной функцией принадлежности как нечеткое число «приблизительно N» — $\tilde{N} = (N, c_l, c_r)$, где $c_l = N - es_1$, $c_r = es_2 - N$ — это величины нечеткости слева и справа соответственно. Пусть текущее значение концентрации загрязнителей окружающей среды n моделируется подобной N функцией принадлежности, как нечеткое число «приблизительно n» — $\tilde{n} = (n, c_l, c_r)$. Допускаем, что текущее значение концентрации загрязнителей n на территории сопредельных регионов будет отличаться от значения экологического ограничения N (рис. 2).

Согласно принятым в [5] условиям и положениям, предельные значения отклонений нечеткого числа \tilde{n} от \tilde{N} в большую или меньшую стороны интерпретируются нами как перспективные нормативы ПДК с выделением первого временного интервала, например, в 25 лет. Сначала предложим правило вычисления границ интервала текущего значения концентрации загрязнителей окружающей среды. Для этого используем понятия (2), (3) и (4).

Третий шаг. Высота (3) множества $\tilde{n} \cap \tilde{N}$ (2) определяет множество α -уровня (4) нечеткого числа \tilde{n} (интервал α -уровня): $n_\alpha = [n_1, n_2]_\alpha$, где n_1, n_2 интерпретируются как левая и правая границы интервала текущего значения концентрации загрязнителей окружающей среды (рис. 3).

Четвертый шаг. Потребуем соблюдения условий включения интервала текущего значения концентрации загрязнителей в интервал MPPC (1) при $n < N$:

$$\begin{cases} [n_1, n_2]_\alpha \subseteq [es_1, es_2], \\ n_1 = es_1 \end{cases} \quad (5)$$

и соблюдение при $n > N$ условий

$$\begin{cases} [n_1, n_2]_\alpha \subseteq [es_1, es_2] \\ n_2 = es_2 \end{cases} \quad (6)$$

для того, чтобы вычислить предельные значения отклонений нечеткого числа \tilde{n} от \tilde{N} . Перспективные нормативы ПДК или законодательно установленный интервал предельнодопустимой концентрации вредных веществ для первого временного интервала можно вычислить с помощью выражения:

$$MPPC^{New} = [n'_-, n'_+] = \left[\frac{es_1 + k_l N}{1 + k_l}, \frac{es_2 + k_r N}{1 + k_r} \right], \quad (7)$$

где $k_l = c_l/\omega$ и $k_r = c_r/\omega$ — это коэффициенты нечеткости (слева и справа) интервала MPPC, $\omega = es_2 - es_1$ — это первоначальная ширина интервала в соответствии с (1).

Таким образом, от интервала $[es_1, es_2]$ можно перейти к интервалу $[n'_-, n'_+]$ (7), соблюдая условие $[es_1, es_2] \supseteq [n'_-, n'_+]$. Нами предполагается, что n'_- будет законодательно определять допустимую концентрацию загрязнителей для региона R1, а n'_+ — для региона R2. В качестве возможных индексов достоверности предлагаемых границ полученного интервала предельно допустимой концентрации вредных веществ могут быть приняты соответствующие α -уровни: α_- и α_+ (рис. 4).

Пятый шаг. Чтобы законодательно установить допустимую концентрацию загрязнителей на следующий (второй) период времени, экологические нормативы двух соседних регионов или субъектов МЭС предлагаем определять с помощью вычисленного для предыдущего периода интервала предельнодопустимой концентрации загрязнителей. То есть интервалу MPPC присваивается значение:

$$[n'_-, n'_+] = \{n \mid es_1 < n'_- \leq n \leq n'_+ < es_2, n \in \mathfrak{R}\}.$$

В этих условиях приемлемое для регионов значение экологического ограничения снова представляется нечетким числом, фиксированным в точке N, но определенным уже на интервале $[n'_-, n'_+]$. Далее в зависимости от принимаемого странами субъектами МЭС значения экологического ограничения N вычисляем концентрацию загрязните-

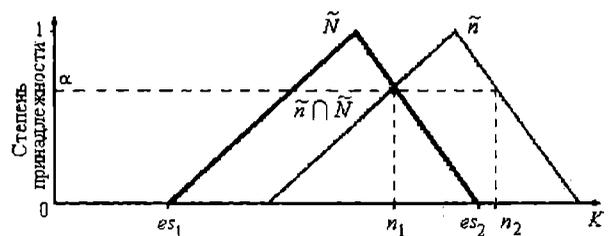


Рис. 3. Интервальное представление нечеткого числа

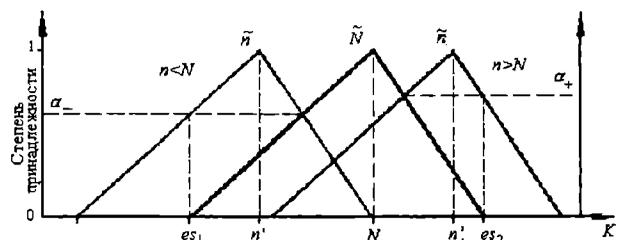


Рис. 4. Общий случай определения допустимой концентрации загрязнителей окружающей среды

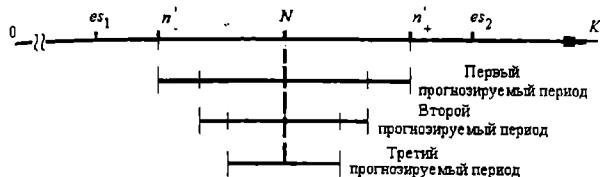


Рис. 5. Определение допустимой концентрации загрязнителей окружающей среды на первый и последующие прогнозируемые периоды

лей как один из параметров качества окружающей среды на следующий прогнозируемый период. Для упрощения рассмотрим случай равенства коэффициентов нечеткости $k_i = k_r$ интервала $MPPC$ и принятое ранее значение N (рис. 5). Тогда желаемую концентрацию загрязнителей в соответствии с (5) – (7) можно вычислить с помощью выражения:

$$\omega' = n'_+ - n'_- = \frac{2}{3} \omega.$$

Здесь ω' – ширина интервала расчетной предельно допустимой концентрации загрязнителей на территории стран-субъектов МЭС.

6. Числовые примеры

6.1. Согласованное и приемлемое для регионов, входящих в состав МЭС, значение экологического ограничения N представим нечетким числом с симметричной функцией принадлежности треугольной, колоколообразной или пикообразной формы [10]:

$$\mu_N(x) = 1 - \left| \frac{x - N}{c_l} \right|, \quad x \in [N - c_l, N + c_l];$$

$$\mu_N(x) = 1 - \left| \frac{x - N}{c_l} \right|^2, \quad x \in [N - c_l, N + c_l];$$

$$\mu_N(x) = 1 - \left| \frac{x - N}{c_l} \right|^{1/2}, \quad x \in [N - c_l, N + c_l]$$

В этих случаях перспективные значения любого из оцениваемых параметров качества окружающей среды можно вычислить из (7) с помощью выражения:

$$MPPC^{New} = [n'_-, n'_+] = \left[\frac{2es_1 + N}{3}, \frac{2es_2 + N}{3} \right]. \quad (8)$$

Ширина интервала расчетной предельно допустимой концентрации загрязнителей на территории стран-субъектов МЭС и в этих случаях будет определяться с помощью выражения

$$\omega' = n'_+ - n'_- = \frac{2}{3} \omega.$$

6.2. Идею беспороговой экологии можно рассмотреть в условиях, когда нечеткое число \tilde{N} моделируется функциями принадлежности вида:

$$\mu_N(x) = \left| \frac{x - N}{c_r} \right|, \quad x \in [N, N + c_r]$$

или

$$\mu_N(x) = \left| \frac{x - N}{c_r} \right|^2, \quad x \in [N, N + c_r]$$

при $N \rightarrow es_1$, $c_l \rightarrow 0$, $c_r \rightarrow 1$, $\omega = es_2 - N$.

Соблюдение приведенных выше допущений и условий позволяет из (7) получить выражение для определения перспективных нормативов:

$$\lim_{N \rightarrow es_1} MPPC = [n'_-, n'_+] = \left[N, \frac{es_2 + N}{2} \right]. \quad (9)$$

Очевидно, что $\omega' = n'_+ - n'_- = \frac{1}{2} \omega$. В этом частном случае n'_+ интерпретируется нами как принимаемый в законодательном порядке перспективный экологический норматив для региона R2. Экологический стандарт es_1 , установленный для региона R1, принимается за тот ориентир, к которому должен стремиться также в законодательном порядке регион R2.

Обоснованием применения данной методологии в разработке стандартов качества окружающей среды являются: существующая объективная и субъективная неопределенность информации о многих факторах, точное познание которых невозможно даже на каком-либо заданном отрезке времени; отсутствие свойства статистической устойчивости; недостаточность информации для априорного суждения о результатах проводимых акций по преобразованиям природы, неизбежных при формировании МЭС.

7. Заключение

При решении проблем, поставленных в [6], получить количественную оценку какого-либо параметра качества окружающей среды на следующий прогнозируемый период можно с помощью выражений (8) и (9). Исследования показали, что разность $\Delta\omega = \omega - \omega'$ всегда составляет от 33% до 50%. В этом случае для прогноза на любой временной интервал (25, 50, 75 лет и более) будут получены конкретные значения экологических нормативов. Интерпретация интервалов, ассоциируемых с финансовой (или технологической) помощью, α -уровней как индексов достоверности предлагаемых рекомендаций может привести к неожиданным обобщениям процессов нормирования качества окружающей среды на этапе формирования межгосударственных энергетических структур.

Библиографический список

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Энергетическая безопасность. (Проблемы функционирования и развития электроэнергетики). – М.: Знание, 2001. – 480 с.
2. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. – Москва: «Мысль», 1990. – 637 с.
3. Вишнякова С.М., Вишняков Г.А., Алешукин В.И., Бочарова Н.Г. Экология и охрана окружающей среды: Толковый терминологический словарь. – М.: Всемирный следопыт, 1998. – 480 с.
4. Zadeh L.A. Computing with words // The 3rd European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, "EUFIT'95", vol. 2, August, 28 – 31, Aachen, Germany, 1995. – P. 7.
5. Переход к устойчивому развитию: глобальный, региональный и локальный уровни. Зарубежный опыт и проблемы России. – М.: КМК, 2002. – 444 с.
6. Беляев А.С., Марченко О.В., Филиппов С.П. и др. Мировая энергетика и переход к устойчивому развитию. – Новосибирск: Наука, 2000. – 269 с.
7. Казначеев В.П. Проблемы человековедения. – М.: Исслед. центр проблем качества подготовки спец., 1997. – 352 с.
8. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987. – 360 с.

9. Трухаев Р.Н. Модели принятия решений в условиях неопределенности. — М.: Наука, 1981. — 258 с.

10. Патрушев С.Б. Повышение точности интервальных оценок отклонений напряжения в электрических сетях общего назначения // Вычислительные технологии. — 1997. — Т. 2. — № 1. — С. 45–51.

ПАТРУШЕВ Сергей Борисович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по учебной работе Института социальной реабилитации Новосибирского государственного технического университета.

Дата поступления статьи в редакцию: 27.02.06 г.
© Патрушев С.Б.

Информация

Перечень

ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по энергетике на 2007 год

Вестник Воронежского государственного технического университета
Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева *
Вестник Московского государственного авиационного института (технического университета) *
Вестник Московского энергетического института *
Вестник Российской академии наук
Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. С.П. Королева *
Вестник Саратовского государственного технического университета
Вестник Чувашского университета
Двигателестроение *
Двигатель *
Журнал технической физики *
Известия Волгоградского государственного технического университета
Известия высших учебных заведений. Машиностроение *
Известия высших учебных заведений. Приборостроение *
Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики *
Известия высших учебных заведений. Электромеханика *
Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика *
Известия РАН. Механика жидкости и газа *
Известия РАН. Энергетика *
Кабели и провода *
Механизация и электрификация сельского хозяйства
Научно-технические ведомости СПбГТУ
Научный вестник Новосибирского государственного технического университета
Письма в «Журнал технической физики» *
Приборы и техника эксперимента *
Проблемы прочности и пластичности
Промышленная энергетика *
Теплофизика высоких температур
Теплофизика и аэромеханика *
Теплоэнергетика *
Технологии ТЭК (топливно-энергетического комплекса)
Технологии электромагнитной совместимости (ЭМС)
Тяжелое машиностроение *
Холодильная техника *
Электрические станции *
Электричество *
Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность
Электроника и электрооборудование транспорта
Электротехника *
Ядерная и радиационная безопасность

Примечание: издания, помеченные звездочкой, публикуют результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 519.68

С. В. НОПИН
В. Г. ШАХОВ

Омский государственный
технический университет
Омский государственный
университет путей сообщения

РАЗРАБОТКА ЗАЩИЩЕННЫХ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА СИСТЕМ IP-ТЕЛЕФОНИИ НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ WINDOWS

В статье рассматриваются особенности разработки систем передачи речи через компьютерные сети в защищенном режиме на основе криптографических интерфейсов и аудиомодулей, встроенных в операционную систему Windows. Получены данные об особенностях реализации и разработки защищенных от несанкционированного доступа систем IP-телефонии, использующих функциональные возможности операционной системы Windows.

В современной жизни информация уже перестала быть только абстрактным понятием и превратилась в одну из главных ценностей. Во многих случаях информация является товаром. По этой причине возможны попытки злоумышленников получить несанкционированный доступ (НСД) к информации, циркулирующей в компьютерных системах, в частности к оцифрованной речи, передающейся через общедоступные вычислительные сети. Необходи-

мость сохранности этой информации делает актуальным разработку способов ее защиты от НСД. Использование IP-сетей для организации речевых переговоров в защищенном режиме предъявляет особые требования как к организации сжатия и передачи речи, так и к системам ее защиты. В научной литературе в последние годы вышли десятки статей, книг и монографий, посвященных защите информации с помощью криптографических механизмов

и компрессии речевого сигнала. Однако, в основном, это работы теоретического характера, и использование их результатов на практике затруднено. Остается слабо освещенным вопрос использования и анализа современных встроенных в операционные системы (ОС) криптографических и аудиоинтерфейсов. Также недостаточно информации об особенностях криптографических и кодирующих звук библиотек, на основе которых реализуются указанные выше интерфейсы операционных систем. Для исследования аудио- и криптоинтерфейсов была выбрана ОС Windows, так как эта ОС является одной из наиболее перспективных, развивающихся и используемых на подавляющем большинстве компьютеров планеты.

Современные IBM-совместимые компьютеры, как правило, обладают аппаратной возможностью вводить-выводить звук с помощью стандартной звуковой карты [5]. Во всех версиях ОС Windows (начиная с Windows 95) присутствует специальный интерфейс, предназначенный как для ввода-вывода звука, так и для преобразования форматов звуковых данных. Одним из интерфейсов ввода-вывода звука является DirectSound ОС Windows [3]. Основным преимуществом данной технологии над технологиями по воспроизведению записи звука базовыми методами, появившимися еще в Windows 3.1, является концепция абстракции и эмуляции оборудования. Ее наличие гарантирует, что вне зависимости от типа используемого оборудования все действия при работе с DirectSound будут иметь одинаковый результат на любой ЭВМ (электронной вычислительной машине). Независимо от возможностей установленной звуковой карты программе доступны все возможности DirectSound. При отсутствии какой-либо функции (ее аппаратной поддержки) у данной звуковой карты эта функция автоматически эмулируется программным путем, на что расходуются вычислительные мощности центрального процессора. Таким образом, все возможности по воспроизведению или записи обязательно будут реализованы на любой ЭВМ, оборудованной устройствами воспроизведения/записи именно в том виде, в каком они нужны программисту, а не оборудованию данной ЭВМ. Это означает в том числе, что при использовании DirectSound будет обеспечена максимальная производительность, возможная для данной ЭВМ, и максимальная вероятность того, что программа, использующая данный интерфейс, будет корректно работать на всех компьютерах с любыми звуковыми картами. Интерфейс преобразования форматов звуковых данных называется (ACM) **Audio Compression Manager** (диспетчер сжатия звука) [3]. Интерфейс позволяет изменять частоту, разрядность, количество каналов, а также тип сжатия звуковых данных. При достаточной мощности процессора преобразование может выполняться в реальном времени, что позволяет использовать эти аудиоинтерфейсы для реализации систем IP-телефонии. ACM включает в себя набор кодеков, выполняющих необходимые преобразования. Как правило, кодек позволяет осуществить не только сжатие, но и распаковку звуковых данных, то есть восстановление исходного сигнала. Пользователь ОС Windows может самостоятельно удалять не нужные ему кодеки и устанавливать новые, что придает системе гибкость. После установки кодека все программы, пользующиеся системой ACM, получают возможность работать с этим форматом звуковых данных.

Кроме аудиоинтерфейсов современные ОС Microsoft (Windows 95, Windows 98, Windows ME, Windows 2000, Windows 2003, Windows XP) содержат множество криптографических подсистем различного назначения как прикладного уровня, так и уровня ядра, и ключевую роль в реализации этих подсистем играет интерфейс Microsoft Cryptographic Application Programming Interface (CryptoAPI) [7]. На уровне ядра системы базовые криптографические преобразования (шифрование, хеширование, цифровая подпись и несимметричный обмен ключами) происходят непосредственно в драйверах, реализующих основные подсистемы ОС Windows. Такие драйверы называются криптопровайдерами. Криптопровайдеры имеют стандартный набор функций, который состоит из 23 обязательных и 2 необязательных процедур. Функции CryptoAPI в таких случаях используются для вспомогательных операций на прикладном уровне. Набор базовых криптографических функций называют также интерфейсом CryptoAPI версии 1.0. Кроме стандартных (входящих в поставку ОС Windows) криптопровайдеров система позволяет установить дополнительные криптопровайдеры (разработанные сторонними разработчиками). В качестве примера можно привести криптопровайдер Signal-COM CSP (Сертификат ФСБ России СФ/114-0868 от 23.04.2006 г.) компании «Сигнал-КОМ» [10], который реализует сертифицированные российские криптографические алгоритмы и обеспечивает к ним доступ из пользовательских приложений через стандартный криптографический интерфейс компании Microsoft-CryptoAPI.

Базовые криптографические функции, оцифровка, компрессия / декомпрессия, реализация сетевых протоколов TCP/IP, UDP и воспроизведение звука на уровне функций и процедур управляются с помощью средств application programming interface (API) ОС Windows. Современные среды программирования C++ Builder, Delphi, Visual C++ и др. обладают возможностью использования интерфейсов CryptoAPI, DirectSound и ACM [1,3,6,7] и, соответственно, могут применяться для создания защищенных от несанкционированного доступа систем IP-телефонии, использующих функциональные возможности операционных систем Windows. При грамотном выборе алгоритма криптопреобразования и способа распределения ключей несанкционированный доступ к защищенной системе IP-телефонии превратится в тяжелую задачу.

Целью исследования явился анализ возможностей разработки систем передачи речи через компьютерные сети в защищенном режиме, используя криптографические интерфейсы и аудиомодули, встроенные в ОС Windows.

Для реализации системы передачи речи через компьютерные сети в защищенном режиме предлагается алгоритм, представленный на рис. 1. Поясним некоторые детали алгоритма. Абонент А и абонент Б желают общаться с помощью голоса через компьютерную сеть в защищенном от несанкционированного доступа режиме. Для этого центр распределения ключей генерирует для них сессионный секретный пароль (ключ) и передает им по секретному каналу связи. Далее программное обеспечение на стороне абонента А и Б в автоматическом или полуавтоматическом режиме выбирает одну из установленных звуковых карт, настраивает параметры ввода-вывода звука (разрядность, частоту дискретизации, количество

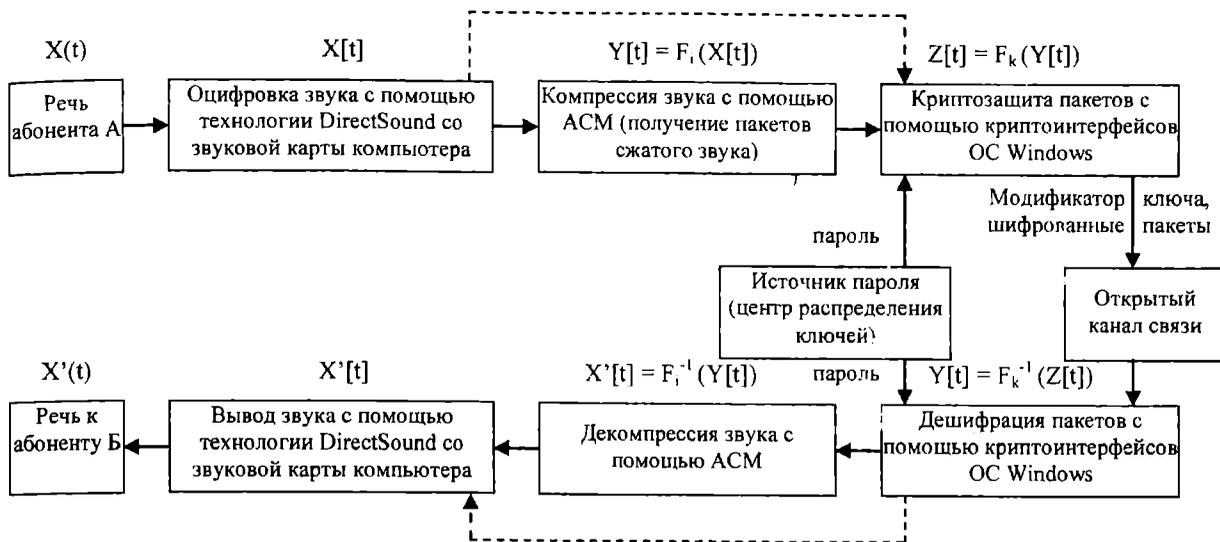


Рис. 1. Обобщенная схема защищенной от несанкционированного доступа системы IP-телефонии на основе операционной системы Windows

звуковых каналов), алгоритм компрессии (декомпрессии) речи, параметры используемого криптопреобразования (алгоритм шифрации, алгоритм хеширования, длину ключа, режим шифрования). Генерация ключа на основе пароля реализуется согласно рекомендациям, приведенным в [8]. Текстовый пароль относительно небольшой произвольной длины с помощью хеш-функции (SHA-1) отображается в вектор фиксированной длины. Для улучшения качества этой схемы введен модификатор ключа (случайное число длиной 12 байт), который замешивается в функцию хеш-преобразования вместе с паролем. Это позволяет получить разный ключ при одинаковых паролях и усложняет атаку перебором паролей. Кроме того, введен счетчик итераций – количество раз, которое должна повториться функция преобразования, участвующая в генерации ключа. Например, 10 000 итераций почти не скажется на скорости вычисления ключа для легальных пользователей, однако для нарушителя при переборе паролей потребуются огромные вычислительные мощности. Шифрование может производиться в одном из четырех режимов: а) режим гаммирования с обратной связью (Cipher Feedback Mode, CFB), б) шифр простой замены с зацеплением (Cipher Block Chaining Mode, CBC), в) шифр простой замены (Electronic CodeBook Mode, ECB), г) режим гаммирования (Output Feedback Mode, OFB).

Кратко рассмотрим основные этапы преобразования речи на пути от абонента А к абоненту Б. Низкоуровневый ввод-вывод звука реализуется через интерфейсы DirectSound ОС Windows. После оцифровки звук может быть сжат с помощью ACM, например стандартным в ОС Windows кодеком GSM 6.10, что уменьшит требуемую полосу частот в канале связи в пять раз (требуемая скорость передачи данных сократится с 64 000 бит/сек до 13 000 бит/сек):

$$Y[t] = F_i(X[t]), \quad (1)$$

где $Y[t]$ – пакеты сжатой речи; $X[t]$ – пакеты несжатой речи; F_i – алгоритм компрессии речи.

В то же время возможен вариант алгоритма без использования сжатия речи. В этом случае на этап шифрования будут попадать относительно большие пакеты данных либо пакетов с данными будет больше. После компрессии пакеты звука могут быть зашифрованы с помощью криптоинтерфейсов ОС Windows одним из криптографических алгоритмов:

$$Z[t] = F_k(Y[t]), \quad (2)$$

где $Y[t]$ – пакеты сжатой речи; $Z[t]$ – зашифрованные пакеты; F_k – криптографическая функция, которая может включать алгоритм шифрации и/или алгоритм хеширования.

Зашифрованные пакеты данных $Z[t]$ через открытую IP-сеть (например, Ethernet или Internet) по протоколу UDP (user datagram protocol - протокол без обязательного установления логического соединения) передаются на сторону абонента Б. После приема абонентом Б пакетов данных $Z[t]$ они дешифрируются с помощью криптоинтерфейсов ОС Windows обратной криптографической функцией:

$$Y[t] = F_k^{-1}(Z[t]), \quad (3)$$

где $Y[t]$ – пакеты сжатой речи; $Z[t]$ – зашифрованные пакеты; F_k^{-1} – обратная криптографическая функция, такая, что

$$Y[t] = F_k^{-1}(F_k(Y[t])).$$

Затем пакеты сжатой речи обрабатываются (разжимаются) с помощью ACM ОС Windows тем же кодеком с теми же параметрами, что и на стороне абонента А:

$$X'[t] = F_i^{-1}(Y[t]), \quad (4)$$

где $Y[t]$ – пакеты сжатой речи; $X'[t]$ – пакеты восстановленной речи; F_i^{-1} – алгоритм декомпрессии речи.

В общем случае при сжатии речи с потерями пакеты восстановленной речи $X'[t]$ не равны исходным пакетам $X[t]$. Качество восстановленной речи зависит от алгоритма компрессии (кодека), битовой скорости трафика данных и количества потерянных пакетов. После восстановления речи на стороне абонента Б выводится через интерфейсы DirectSound ОС Windows в одну из звуковых карт ЭВМ. Одной из проблем передачи мультимедийного трафика, изохронного по своей природе (видеоконференция, телефония, аудиотрансляция), в сетях с протоколом TCP/IP является уменьшение разброса задержки (джиттера), вызванного очередями пакетов в компьютерных сетях. Механизм приоритизации, предусмотренный в протоколах IP, принципиально не позволяет полностью исключить джиттер, т.к. всегда существует вероятность, что очередной пакет с мультимедийной информацией должен ждать освобождения нужного порта, занятого передачей ранее поступившего пакета с данными. Чтобы компенсировать возможный джиттер на приемной стороне, пакеты с данными буфе-

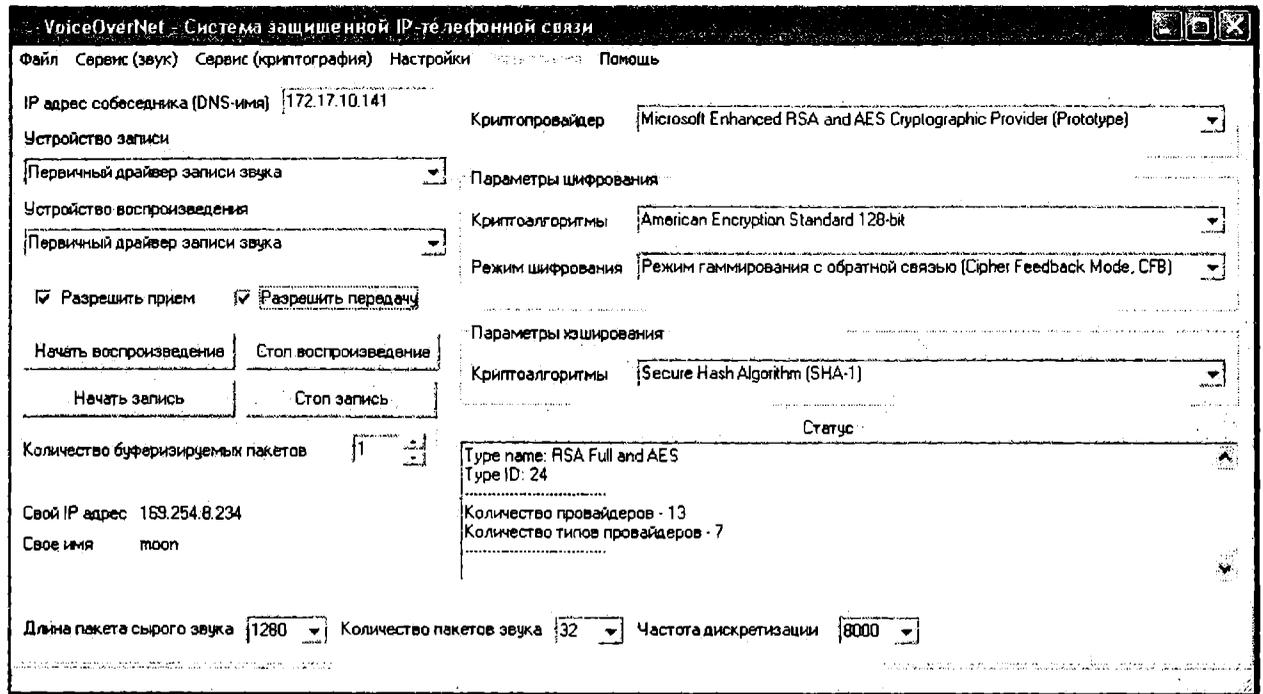


Рис. 2. Главное окно программы VoiceOverNet

ризируются и буфер воспроизведения заполняется в соответствии с простым адаптивным алгоритмом (AA). Суть AA состоит в следующем. Известно, что потеря до 5 % звукового потока не сказывается на разборчивости речи, потеря 20% пакетов оставляет разговор понятным. Таким образом, если нужный при воспроизведении пакет еще не готов для воспроизведения, то считаем, что он потерян и воспроизводится тишина, если пакет пришел позже момента начала его воспроизведения, то он отбрасывается. Дополнительно проблема джиттера может решаться с помощью увеличения времени задержки перед воспроизведением полученного из сети пакета (в программе параметр регулируется с помощью поля "Количество буферизуемых пакетов"). Однако увеличение времени задержки отрицательно сказывается на качестве дуплексных телефонных переговоров, так, в соответствии с рекомендацией ITU-T G. 114 для большинства абонентов задержка речевого сигнала на 150 мс приемлема, а на 400 мс — недопустима [2].

Предложенный выше алгоритм передачи речи через компьютерные сети в защищенном режиме, использующий возможности криптографических интерфейсов и аудиомодулей, встроенных в ОС Windows, был реализован в программе VoiceOverNet — Система защищенной IP-телефонной связи (рис. 2). Для разработки программы использовалась среда C++ Builder 6.0 [1].

Программа функционирует следующим образом. Через интерфейсы CryptoAPI 1.0, содержащиеся в системной библиотеке Windows\system32\advapi32.dll, программа последовательно вызывает все установленные в системе криптопровайдеры, непосредственно выполняющие криптографические преобразования. У каждого криптопровайдера запрашивается подробная информация о криптографических стандартах, которые он реализует. Полученные данные выводятся в текстовый редактор на главной форме программы. Далее может быть выбран интересующий нас криптопровайдер и криптографические алгоритмы криптопровайдера для шифрации и/или для хеширования данных. Кроме

того, может быть выбран один из четырех режимов шифрования. После этого необходимо задать длину ключа шифрования (в битах), задать пароль шифрования и количество хеширований пароля шифрования, смешанного с модификатором пароля шифрования. Для звука можно задать следующие параметры: длина пакета "сырого" звука, объем буфера записи/воспроизведения (количество пакетов звука, длина пакета "сырого" звука), алгоритм компрессии/декомпрессии. После выбора алгоритма компрессии/декомпрессии программой автоматически вычисляется длина пакета исходного звука, наиболее близкая к заданной в поле "длина пакета сырого звука", после чего вычисляется длина пакета сжатого звука. Например, при выборе длины пакета 1000 байт и алгоритме компрессии GSM 6.10 (частота дискретизации 8000 Гц, моно, 8 бит на отсчет) будет получена длина исходного звука 1280 байт, длина сжатого звука — 260 байт. Также можно указать IP-адрес или DNS-имя (при работе в локальной сети) получателя звука (собеседника). Разные программы могут использовать для передачи через IP-сеть одинаковые порты. Чтобы избежать конкуренции с разными приложениями за конкретный порт, в программе можно менять значение порта, используемое для приема и передачи пакетов. После нажатия клавиши "Начать запись" начинается оцифровка звука, его компрессия, шифрование и передача через IP-сеть в соответствии с рассмотренным выше алгоритмом. После получения программой через IP-сеть по протоколу UDP числа пакетов, заданных в поле "Количество буферизируемых пакетов", инициализируется поток воспроизведения и начинаются дешифрование, декомпрессия и воспроизведение полученных пакетов. Потоки воспроизведения и записи работают автономно друг от друга, криптографические функции реализованы внутри этих потоков. Для завершения сеанса связи пользователю необходимо нажать клавиши "Стоп запись" и "Стоп воспроизведение". Во время сеанса связи программа выводит статистическую информацию о процессе записи, воспроизведении звука и получении пакетов

Таблица

Тип локальной сети	100 Мбит				10 Мбит		
	200	400	800	1600	400	800	1600
Длина пакета, байт							
Среднее время передачи пакета данных от абонента А к абоненту Б, мс	0,48	1,12	0,79	0,66	0,75	1,22	1,21
Среднее квадратическое отклонение, мс	1,81	2,71	2,38	2,16	2,23	2,88	2,81

с данными через сетевые интерфейсы в соответствующие текстовые файлы с расширением csv – файл Microsoft Excel с разделителями-запятыми. Это позволяет провести статистический анализ процесса приема/передачи и записи/воспроизведения во время сеанса связи.

Исследование возможностей программы VoiceOverNet проводилось в следующем порядке.

Для организации сеанса связи через компьютерную сеть в защищенном от НСД режиме были использованы компьютеры Pentium IV Celeron 1700 МГц, ОЗУ 256 Мб, ОС Windows XP/2003/98, гарнитуры Sven AP-830, локальная сеть Ethernet 10/100 Мбит и указанная выше программа. Дополнительно к стандартным криптопровайдерам был установлен свободно распространяемый криптопровайдер ООО "Мегасофт" [9], который поддерживает российские стандарты криптопреобразований: 1) цифровая подпись – ГОСТ Р 34.10-94; 2) хэш – ГОСТ Р 34.11-94; 3) шифрование – ГОСТ Р 28147-89.

Были получены следующие результаты: в режиме дуплексной связи было получено хорошее качество речи (разборчивость звуков по требованиям ГОСТ 16600-72 [4] больше 90 %) в следующих режимах: 1) без компрессии, без шифрации и хеширования; 2) с компрессией, с шифрацией и хешированием; 3) с компрессией, с шифрацией, без хеширования; 4) с компрессией, без шифрации, с хешированием; 4) без компрессии, с шифрацией и хешированием; 5) без компрессии, с шифрацией, без хеширования; 6) без компрессии, без шифрации, с хешированием. Среди алгоритмов компрессии звука были успешно применены в составе программы следующие кодеки (в скобках битовая скорость, кбит/сек): GSM 6.10 (13), DSP Group TrueSpeech™ (8,5), IMA ADPCM (32,4), Microsoft ADPCM (32,7), Alex AC3 Audio (4,9; 5,9; 7,9). Также были успешно использованы следующие алгоритмы шифрования (в скобках указана длина ключа в битах): RC2 (40-128), RC4 (40-128), DES (56), Two Key Triple DES (112), Three Key Triple DES (168), American Encryption Standard (128, 192, 256), ГОСТ Р 28147-89 (256). Среди алгоритмов хеширования были работоспособны алгоритмы SHA-1, MD2, MD4, MD5, HMAC, ГОСТ Р 34.11-94. Шифрование успешно было протестировано в трех из четырех режимов: а) режим гаммирования с обратной связью (Cipher Feedback Mode, CFB), б) шифр простой замены с сцеплением (Cipher Block Chaining Mode, CBC), в) шифр простой замены (Electronic CodeBook Mode, ECB).

Особенностью применения как кодеков, так и криптоалгоритмов в ОС Windows является необходимость подбора длины пакета с исходными данными из некоторого ряда значений. Например, кодек GSM 6.10 использует для компрессии пакеты длиной 640, 960, 1280, ... байт. После компрессии получают пакеты длиной 130, 195, 260, ... байт соответственно. Это означает, что уже на этапе кодирования звука получают задержки, например, при исполь-

зовании кодека GSM 5.10 минимальная задержка $640/8000 = 80$ мс. Дальнейшее увеличение длин пакетов со звуком ведет к ухудшению качества телефонных переговоров [2]. В то же время большое количество криптомодулей используют пакеты длиной ровно 160 байт. Таким образом, при криптопреобразованиях сжатых пакетов звука появляются дополнительные байты данных (в примере это 30, 125, 60 байт на один сжатый пакет), что уменьшает эффективность компрессии речи кодеками перед шифрацией. Была получена статистическая информация о вкладе в задержку пакетов с звуковыми данными разных составляющих. Результаты обработки данных о времени передачи пакетов по локальной сети приведены в таблице. Сопоставляя эту составляющую с функциональной задержкой кодека либо с обычной буферизацией перед передачей пакета ($> = 80$ мс), можно сделать вывод, что для высокоскоростных локальных сетей она не играет особой роли (ее вклад менее 2 %). Кроме того, были получены данные о необходимом времени на компрессию и шифрацию пакетов звука. Даже для самых медленных алгоритмов вклад обеих этих составляющих также не превышал 1 мс для пакета длиной 1000 байт.

Анализ полученных данных о работе криптомодулей, звуковых кодеков, аудиоинтерфейсов и сетевых функциях ОС Windows XP, Windows 2003, Windows 2000, Windows 98 показывает, что возможно их применение для разработки защищенных от несанкционированного доступа систем IP-телефонии с защитой информации на уровне интерфейсов прикладных программ семиуровневой модели OSI/ISO. Использование стандартных криптоинтерфейсов, аудиоинтерфейсов, сертифицированных кодеков позволяет уже на уровне общего проектирования упростить разработку, тестирование и отладку программного обеспечения. На уровне эксплуатации упрощается обновление составных частей разработанной системы: криптомодулей, звуковых кодеков; также повышается надежность работы системы за счет использования модульной структуры.

Апробация разработанной программы VoiceOverNet показала эффективность применения технологий DirectSound, ACM, CriptoAPI в управлении аудио- и криптосистемами ОС Windows при реализации защищенной от несанкционированного доступа системы IP-телефонии. Результаты экспериментов показывают, что указанные выше интерфейсы, криптомодули и аудиомодули, установленные в ОС Windows, могут успешно применяться на практике как частными, так и корпоративными пользователями локальных сетей и отдельных рабочих станций. Сертифицированные ФСБ РФ криптомодули могут применяться в системах IP-телефонии силовыми ведомствами, органами власти и управления. При использовании включенных в

состав ОС криптопровайдеров и при симметричном шифровании с ключом более 56 бит необходимо использовать Windows XP, Windows 2003, Windows ME. Криптосистемы Windows 98 и Windows 2000 без установки дополнительных криптопровайдеров или без каскадного наращивания криптографической защиты обеспечивают, по современным представлениям слабую, защиту от НСД.

Выводы. Разработанная программа VoiceOverNet, технологии Microsoft DirectSound, ACM для компрессии / декомпрессии и CryptoAPI для криптозащиты могут быть использованы при компьютерном моделировании защиты системы IP-телефонии от НСД и для реального закрытия речи, передаваемой по компьютерным сетям, от потенциальных нарушителей. С помощью программы можно определять типы, параметры криптоалгоритмов, установленных в системе. На практике используемые алгоритмы управления криптомодулями могут применяться при разработке программного обеспечения, защищающего информацию от НСД, например в файлах, алгоритмы управления кодеками и аудиоинтерфейсы могут применяться при разработке программного обеспечения, реализующего ввод, вывод и преобразование сигнала частотой до 20 кГц.

Библиографический список

1. Архангельский А.Я. C++ Builder 6. Справочное пособие. Книга 1. Язык C++ / А.Я. Архангельский — М.: Бинوم-Пресс, 2002. — 544 с.
2. Гольдштейн Б.С. IP-телефония. / Б.С. Гольдштейн, А.В. Пинчук, А.Л. Суховицкий — М.: Радио и связь, 2001. — 336 с.

3. Гордеев О. Программирование звука в Windows. Руководство для профессионалов. / О. Гордеев — СПб.: BHV - Санкт-Петербург, 1999. — 364 с.
4. ГОСТ 16600-72. М.: Издательство стандартов, 1972.
5. Гук М. Аппаратные средства IBM PC. Энциклопедия. / М. Гук — СПб.: Питер, 2000. — 816 с.
6. Нопин С.В. Использование возможностей операционной системы (ОС) Windows при разработке систем IP-телефонии. / С.В. Нопин // Микроэлектроника и информатика — 2006. 13-я Всероссийская межвузовская научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов. М.: МИЭТ, 2006. 404 с. — с.287.
7. Щербаков А.Ю. Прикладная криптография. Использование и синтез криптографических интерфейсов. / А.Ю. Щербаков, А.В. Домашев — М: Русская редакция, 2003. — 416 с.: ил.
8. RSA Laboratories. PKCS #5: Password-Based Cryptography Standard, Version 2.0, March 1999.
9. <http://www.megasoft.ru>
10. <http://www.signal-com.ru>

НОПИН Сергей Викторович, аспирант кафедры средств связи и информационной безопасности ОмГТУ.

ШАХОВ Владимир Григорьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры автоматизации и систем управления ОмГУПС.

Дата поступления статьи в редакцию: 04.09.06 г.
© Нопин С.В., Шахов В.Г.

Информация

AMD представила потоковый процессор

Американская компания AMD в рамках завершившейся недавно конференции по суперкомпьютерам Supercomputing 2006 представила так называемый потоковый процессор (Stream Processor), ориентированный на рынок высокопроизводительных вычислений.

Stream Processor представляет собой карту расширения, устанавливаемую в слот PCI Express материнской платы рабочей станции или сервера. Потоковый процессор построен на основе ядра ATI R580 и обеспечивает производительность до 360 гигафлопсов (миллиардов операций с плавающей запятой в секунду). Карта расширения снабжена гигабайтом высокопроизводительной памяти GDDR3 и рассеивает, в среднем, 165 Вт энергии.

Применяться потоковые процессоры будут, прежде всего, в высокопроизводительных вычислительных комплексах, решающих специфические задачи. Это могут быть ресурсоемкие приложения по обработке финансовой информации, научных данных и т. п.

Сторонние разработчики получают доступ к специализированному программному интерфейсу Close To Metal (CTM), позволяющему оптимизировать программы для работы с потоковым процессором. О намерении выпустить мощные вычислительные комплексы на базе Stream Processor уже сообщили некоторые известные компании, в том числе Rackable Systems. Стоимость потокового процессора, по информации EETimes, составляет 2600 долларов США.

Кстати, недавно специализированную технологию CUDA для построения вычислительных систем на основе графических процессоров представила компания nVidia. По заявлениям разработчиков, среда на базе архитектуры CUDA по производительности может в десятки раз превосходить традиционные решения. Вычисления с помощью CUDA можно выполнять на видеокартах линейки GeForce 8800 и будущих профессиональных графических контроллерах nVidia Quadro.

Источник: Компьюлента

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ С ЧЕЛОВЕКО-МАШИНЫМ КОМПЛЕКСОМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ НАСТРОЙКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСЛЕ ОТКАЗОВ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ПРИ АБСОЛЮТНОЙ И КОНЕЧНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

В предположении участия человека-оператора в процессе обучения (настройки) и переобучения (перенастройки) после отказов нейронной сети нейрокомпьютерной системы приводятся математические модели нейрокомпьютерной системы с человеко-машинным комплексом контроля и управления процессом настройки и восстановления после отказов нейронной сети. Приводятся полученные для простейших моделей рассматриваемой системы формулы для вычисления вероятности безотказной работы, среднего времени безотказной работы и коэффициента готовности при абсолютной и конечной надежности человека-оператора.

Введение

Практически во всех известных работах, посвященных исследованию надежности искусственных нейронных сетей (ИНС) и нейрокомпьютерных систем (НКС), влияние человека на надежность таких систем либо не рассматривалось, либо молчаливо полагалось, что человек, участвующий в процессе настройки (обучении) и восстановлении после отказов (переобучении) нейронной сети (НС), является абсолютно надежным [1].

На самом деле любая нейрокомпьютерная система с программно-аппаратным управлением представляет собой человеко-машинный комплекс, в котором человек может выполнять различные функции: оператора (настройщика), ремонтника, оператора и ремонтника, эргатического резерва (резервного компонента в системе) и другие в зависимости от поставленных целей и специфики решаемых НКС задач. Поэтому логично рассматривать две модели надежности системы: одну — когда человек абсолютно надежный, и вторую — когда человек обладает конечной надежностью.

Будем полагать, что человек является составной частью нейрокомпьютерной системы и оказывает влияние на ее надежность. Такую систему условно назовем «НКС-человек». При этом будем считать, что в идеальном случае человек абсолютно надежный, а в реальных условиях человек обладает конечной надежностью и в силу физиологических особенностей или иных обстоятельств может ошибаться (временно отказывать) с интенсивностью

ζ и восстанавливать работоспособность с интенсивностью ν при условии абсолютной надежности человека. При конечной надежности человека $\nu = 0$.

Поведение системы «НКС-человек» будем рассматривать в предположении марковского процесса и простейших потоках отказов и восстановления как человека, так и технической части системы, в состав которой включим автоматизированную систему контроля состояния НС и управления процессом восстановления функциональных свойств сети после отказов. При этом будем полагать, что интенсивность отказов системы контроля и восстановления нейронной сети НКС равна λ , а интенсивность ее восстановления после отказов равна μ . Автоматизированную систему контроля и управления восстановлением НС (АСКУ), в состав которой входят аппаратно-программная составляющая и человек, назовем «АСКУ-человек» и в дальнейшем будем рассматривать показатели надежности именно этой системы, так как она является важнейшей составной частью системы «НКС-человек» и в существенной степени определяет ее надежность в целом.

Невосстанавливаемая система «АСКУ-человек» при конечной надежности человека

С учетом сделанных выше предположений поведение рассматриваемой системы «АСКУ-человек» может быть описано следующим вероятностным графом состояний.

Обозначение вершин графа E_{ij} ($i = 0, 1; j = 0, 1$) имеет следующий смысл. Индексом i обозначено

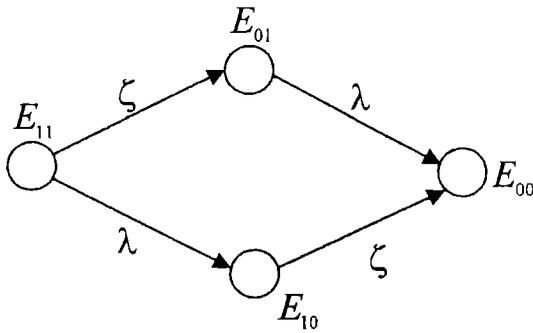


Рис. 1. Граф состояний невозстанавливаемой системы «АСКУ-человек»

работоспособное ($i=1$) и неработоспособное (отказовое) ($i=0$) состояние человека, а индексом j - работоспособное ($j=1$) и неработоспособное (состояние отказа) ($j=0$) аппаратно-программной составляющей рассматриваемой системы «АСКУ-человек».

Очевидно, что система дифференциальных уравнений, соответствующая графу (рис. 1), имеет следующий вид

$$\begin{cases} p'_{11}(t) = -\zeta p_{01}(t) - \lambda p_{10}(t), \\ p'_{01}(t) = \zeta p_{11}(t) + \mu p_{00}(t) - \nu p_{11}(t) - \lambda p_{00}(t), \\ p'_{10}(t) = \lambda p_{11}(t) + \nu p_{00}(t) - \mu p_{11}(t) - \zeta p_{00}(t), \\ p'_{00}(t) = \lambda p_{01}(t) + \zeta p_{10}(t) - \mu p_{01}(t) - \nu p_{10}(t). \end{cases} \quad (1)$$

где P_{ij} - вероятность нахождения системы в состоянии E_{ij} .

Легко видеть, что в невозстанавливаемой системе «АСКУ-человек», модель которой представлена на рис. 1, в зависимости от функций, выполняемых человеком (оператор, ремонтник, резервный компонент в системе и т.д.), а также от степени автоматизации процесса контроля и управления настройкой (обучением) и восстановлением свойств НКС после отказов возможны следующие четыре работоспособных состояния, соответствующие четырем вершинам рассматриваемого графа: 1 - E_{11} ; 2 - (E_{11}, E_{01}) ; 3 - (E_{11}, E_{10}) ; 4 - (E_{11}, E_{01}, E_{10}) .

Для каждого из работоспособных состояний, используя известный прием [2] при решении системы уравнений (1), нетрудно получить аналитические выражения для вычисления вероятности безотказной работы $P_i(t)$ ($i=1, \dots, 4$), которые для невозстанавливаемой системы совпадают с нестационарным значением коэффициента готовности $K_r(t)$, и выражения для вычисления среднего времени безотказной работы T_i ($i=1, \dots, 4$) системы,

определяемого из равенства $T_i(t) = \int_0^{\infty} P_i(t) dt$.

В результате решения системы уравнений (1) с помощью преобразования Лапласа имеем:

$$P_1(t) = e^{-(\lambda+\zeta)t}; \quad T_1 = \frac{1}{\lambda+\zeta};$$

$$P_2(t) = e^{-\lambda t}; \quad T_2 = \frac{1}{\lambda};$$

$$P_3(t) = e^{-\zeta t}; \quad T_3 = \frac{1}{\zeta};$$

$$P_4(t) = e^{-\lambda t} + e^{-\zeta t} - e^{-(\lambda+\zeta)t}; \quad T_4 = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\zeta} - \frac{1}{\lambda+\zeta}.$$

Восстанавливаемая система «АСКУ-человек» при абсолютной надежности человека

Поведение рассматриваемой системы описывается графом состояний, представленным на рис. 2.

Система дифференциальных уравнений, соответствующая графу на рис. 2, при учете сделанных выше предположений и обозначений принимает вид

$$\begin{cases} p'_{11}(t) = \nu p_{01}(t) + \mu p_{10}(t) - \zeta p_{01}(t) - \lambda p_{10}(t), \\ p'_{01}(t) = \zeta p_{11}(t) + \mu p_{00}(t) - \nu p_{11}(t) - \lambda p_{00}(t), \\ p'_{10}(t) = \lambda p_{11}(t) + \nu p_{00}(t) - \mu p_{11}(t) - \zeta p_{00}(t), \\ p'_{00}(t) = \lambda p_{01}(t) + \zeta p_{10}(t) - \mu p_{01}(t) - \nu p_{10}(t). \end{cases} \quad (2)$$

Проведя аналогичные вышесделанным рассуждения для рассматриваемой восстанавливаемой системы «АСКУ-человек» при абсолютной надежности человека (рис. 2) и учитывая, что состояния системы E_{ij} ($i, j \in \{0,1\}$) несовместны, нетрудно

получить выражения для вероятностей нахождения системы в каждом работоспособном состоянии $P_{ij}(t)$ и выражения для коэффициентов готовности системы $K_{r\ell}(t)$, которые в этом случае равны сумме вероятностей нахождения системы в каждом из работоспособных состояний

$$K_{r\ell}(t) = \sum_{E_{ij} \in \Omega} P_{ij}(t),$$

где Ω - подмножество работоспособных состояний множества возможных состояний рассматриваемой системы; ℓ - номер подмножества работоспособного состояния.

Очевидно, что в рассматриваемой системе работоспособные состояния аналогичны четырем работоспособным состояниям, рассмотренным выше, в невозстанавливаемой системе (рис. 1).

С учетом сказанного, решая систему уравнений (2), имеем:

$$K_{r1}(t) = \frac{1}{(\lambda+\mu)(\zeta+\nu)} [\mu\nu + \lambda\nu e^{-(\lambda+\mu)t} + \zeta\mu e^{-(\zeta+\nu)t} + \lambda\zeta e^{-(\lambda+\mu+\zeta+\nu)t}];$$

$$K_{r2}(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t};$$

$$K_{r3}(t) = \frac{\nu}{\zeta+\nu} \left[1 + \frac{\zeta}{\nu} e^{-(\zeta+\nu)t} \right];$$

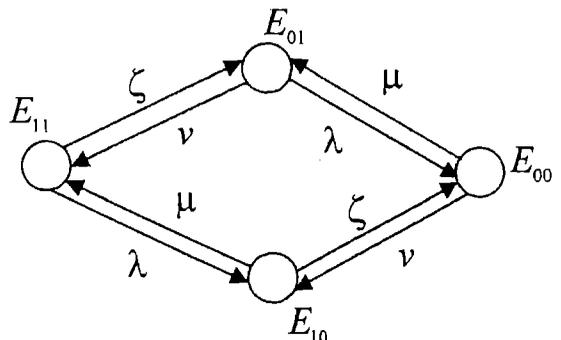


Рис. 2. Граф состояний восстанавливаемой системы «АСКУ-человек» при абсолютной надежности человека

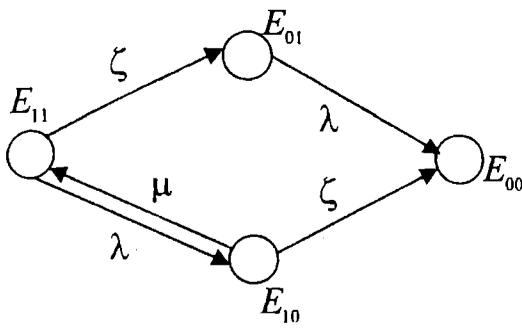


Рис. 3. Граф состояний восстанавливаемой системы «АСКУ-человек» при конечной надежности человека

$$K_{гд}(t) = 1 - \frac{\lambda\zeta}{(\lambda + \mu)(\zeta + \nu)} \left[1 - e^{-(\lambda + \mu)t} - e^{-(\zeta + \nu)t} + e^{-(\lambda + \mu + \zeta + \nu)t} \right]$$

При этом среднее время пребывания рассматриваемой системы T_i^* ($i = 1, \dots, 4$) в i -м подмножестве работоспособных состояний можно получить по приведенной в [3] формуле, учитывающей вероятность нахождения системы в ij -м работоспособном состоянии, коэффициент готовности и соответствующие интенсивности переходов:

В результате имеем:

$$T_1^* = \frac{1}{\lambda + \zeta}; \quad T_2^* = \frac{1}{\lambda}; \quad T_3^* = \frac{1}{\zeta}; \quad T_4^* = \frac{1}{\lambda + \zeta}$$

Восстанавливаемая система «АСКУ-человек» при конечной надежности человека

При конечной надежности человека $\nu = 0$, и, следовательно, граф состояний такой системы «АСКУ-человек» примет вид (см. рис. 3).

Соответствующая графу на рис. 3 система дифференциальных уравнений записывается следующим образом

$$\begin{aligned} p'_{11}(t) &= \mu p_{10}(t) - \zeta p_{01}(t) - \lambda p_{11}(t), \\ p'_{01}(t) &= \zeta p_{11}(t) - \lambda p_{01}(t), \\ p'_{10}(t) &= \lambda p_{11}(t) - \mu p_{10}(t) - \zeta p_{00}(t), \\ p'_{00}(t) &= \lambda p_{01}(t) + \zeta p_{10}(t). \end{aligned} \quad (3)$$

Очевидно, что решение системы уравнений (3) не представляет трудностей и легко может быть получено с помощью преобразования Лапласа для всех работоспособных состояний системы в следующем виде:

$$P_1(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-\zeta t} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right);$$

$$P_2(t) = \alpha e^{-\lambda t} + \beta e^{-\zeta t} + \gamma e^{-(\lambda + \mu + \zeta)t};$$

Книжная полка

- Азимов А. Энергия жизни: От искры до фотосинтеза / Пер. с англ. – 4-е изд., стереотип. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 405 с.
- Могилев А.В., Пак Н.И., Хеннер Е.К. Практикум по информатике / Под ред. Е.К. Хеннера. – 3-е изд., испр. – М.: Изд. центр «Академия», 2006. – 608 с. (Высш. проф. образование: Пед. специальности).

где

$$\alpha = \frac{\zeta(\mu + \zeta - \lambda)}{(\mu + \zeta)(\zeta - \lambda)}, \quad \beta = \frac{\mu(\lambda + \mu + \zeta)}{(\lambda + \mu)(\lambda - \zeta)}, \quad \gamma = \frac{\mu(\lambda - \zeta)}{(\lambda + \mu)(\mu + \zeta)}$$

$$P_3(t) = e^{-\zeta t};$$

$$P_4(t) = \alpha e^{-\lambda t} + \beta e^{-\zeta t} - \gamma e^{-(\lambda + \mu + \zeta)t};$$

где

$$\alpha = \frac{\zeta(\mu + \zeta - \lambda)}{(\mu + \zeta)(\zeta - \lambda)}, \quad \beta = \frac{\lambda(\lambda + \mu - \zeta)}{(\lambda + \mu)(\lambda - \zeta)}, \quad \gamma = \frac{\lambda - \zeta}{(\lambda + \mu)(\mu + \zeta)}$$

Имея аналитические выражения для $P_i(t)$ ($i = 1, \dots, 4$), нетрудно получить формулы для среднего времени безотказной работы T_i ($i = 1, \dots, 4$) рассматриваемой системы [4] для всех работоспособных состояний:

$$T_1 = \frac{\zeta + \mu}{\zeta(\lambda + \zeta + \mu)}, \quad T_2 = \frac{\alpha}{\lambda} + \frac{\beta}{\zeta} + \frac{\gamma}{\lambda + \mu + \zeta},$$

$$T = \frac{1}{\zeta}, \quad T_4 = \frac{\alpha}{\lambda} + \frac{\beta}{\zeta} - \frac{\gamma}{\lambda + \mu + \zeta}.$$

В заключение следует отметить, что при увеличении детализации модели системы «НКС-человек» возрастает сложность уравнений, описывающих эту систему, что усложняет аналитическое решение. В этом случае следует использовать численные методы и моделирование поведения системы проводить на ПЭВМ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 06-07-8901-а

Библиографический список

1. Потапов В.И., Потапов И.В. Модели для расчета надежности нейрокompьютерной системы, адаптивной к отказам и сбоям искусственной нейронной сети, с ненадежным устройством контроля и адаптации // Омский научный вестник. - 2004. - № 3(28). - С. 123-127.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. - М.: Сов. радио, 1972. - 550 с.
3. Шибанов Г.П. и др. Контроль функционирования больших систем. - М.: Машиностроение, 1977. - 360 с.
4. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. - М.: Сов. радио, 1975. - 472 с.

ПОТАПОВ Виктор Ильич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ИВТ.

Дата поступления статьи в редакцию: 04.10.06 г.
© Потапов В.И.

ПРИМЕНЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЧИСЕЛ ПРИ ГАММИРОВАНИИ ТЕКСТОВ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ЯЗЫКОВ

Рассматривается возможность использования собственных чисел циркулянтов, соответствующих алфавитам языков, в задачах распознавания зашумленных текстов. Предлагается их использование для однозначной идентификации языков, приводятся области возможного применения такого подхода. Рассматривается применение вещественных собственных чисел для изменения характеристик исходных текстов при поточном шифровании.

1. Введение

Собственные (характеристические) числа матриц имеют множество различных областей применения. При решении ряда прикладных задач, в частности в механике, физике и химии, используются все собственные числа некоторых матриц.

Собственные числа применяют при решении экономических задач, используют в качестве показателей при построении моделей оценки вероятности банкротства предприятий.

При исследовании линейных систем первым методом Ляпунова по значению собственных чисел матрицы можно определить тип точки и характер её устойчивости.

Применяют их также в задачах изоморфизма графов. Используют при решении вопроса о существовании положительного решения уравнений Лурье [1].

Собственные числа применяются в различных экспертных системах. Кроме того, известны попытки установления авторства при помощи собственных чисел.

В данной работе предлагаются еще две области применения собственных чисел. Рассматривается возможность использования собственных чисел матриц специального вида (циркулянтов), составленных из частот встречаемости символов алфавитов различных языков, в задачах распознавания зашумленных текстов. Под зашумленными текстами понимаются тексты, для которых некоторые символы заменены на иноязычные аналогичного начертания. Для однозначной идентификации естественных языков предлагается использование значений собственных чисел.

Рассматривается применение вещественных собственных чисел для изменения характеристик исходных текстов с целью реализации возможности использования неслучайной гаммы при поточном шифровании.

2. Собственные числа как характеристика языка

В настоящее время имеется множество различных программных приложений, используемых для распознавания текстов, перевода с одного языка на другой, выбора нужной кодировки и т.п. (почтовые программы, браузеры, переводчики, программы распознавания отсканированных текстов) [2]. В этих

приложениях предполагается указание языка или кодировки для отображения текстов. Выбор языка выполняется либо пользователем, либо реализуется средствами приложения путем поиска по словарю имеющихся в тексте слов.

Однако если слова текста состоят из разноязычных символов либо содержат много ошибок (например, после неудачного сканирования текста, после передачи по зашумленным каналам связи), то определение принадлежности данного текста к какому-либо языку оказывается затруднительным. Такие тексты могут появляться как результат влияния различного рода ошибок программного характера или человеческого фактора, а также как результат попытки скрыть некоторую информацию от обычных поисковых программ.

Чтобы обеспечить корректное определение языка без использования поиска по словарю, желательно иметь некоторую характеристику, по которой можно однозначно установить языковую ветвь (группу языков, объединяемых по признаку генетической близости) [3], кодировку и сам язык.

Поскольку использование словарного запаса не всегда позволяет определить язык исследуемого документа, то можно использовать его основу – алфавит. Однако набор символов алфавита любого языка не является однозначной характеристикой, которую можно применить для его идентификации. Поэтому для разграничения разных языков, имеющих в своих алфавитах одинаковые символы (например, английского и латинского), необходима дополнительная характеристика. В качестве ее логично использовать частоты символов алфавита.

Математическим объектом, который позволяет учесть не только набор некоторых элементов (символов алфавита), но и частоты их использования, являются собственные числа матриц, соответствующих алфавитам языков. Именно их нами предлагается использовать для идентификации языков. Выбор собственных чисел связан с тем, что они являются характеристикой преобразования, задаваемого матрицей, независимо от базиса [4]. Авторами предлагается рассматривать матрицы специального вида – циркулянты, так как для них собственные числа, как будет показано ниже, вычисляются достаточно просто.

Существуют различные алгоритмы нахождения собственных чисел матриц, например, обобщенный

Собственные числа естественных языков

Таблица 1

Языковая группа	Язык	Макс. значения модулей собств. чисел		
		1	2	3
Славянские языки	Польский	0.2437	0.2759	0.2759
	Чешский	0.2590	0.2593	0.2593
	Русский	0.2997	0.3310	0.3310
	Украинский	0.1879	0.2503	0.2503
	Белорусский	0.2538	0.2658	0.2658
Балтийские языки	Латышский	0.2264	0.3372	0.3372
	Литовский	0.3526	0.3575	0.3575
Германские языки	Норвежский	0.2981	0.3016	0.3016
	Английский	0.2434	0.2539	0.2539
	Немецкий	0.2973	0.3336	0.3336
Романские языки	Французский	0.2736	0.2736	0.3884
	Испанский	0.2863	0.2863	0.3498
	Итальянский	0.2802	0.3509	0.3509
Уральские языки: Финно-угорские языки	Венгерский	0.2656	0.3050	0.3050
	Эстонский	0.2996	0.3021	0.3021
	Финский	0.2953	0.3448	0.3448
Искусственные языки	Эсперанто	0.3036	0.3648	0.3648
Италийские языки	Латынь	0.2428	0.2428	0.2951
Афразийские яз.: Семитские языки:	Иврит	0.1902	0.2453	0.2453
	Арабский	0.2629	0.3238	0.3238

метод Якоби [5], степенной метод, различные QR-алгоритмы, основанные на приведении матриц к подобным, имеющим треугольный или квазитреугольный вид. Классический метод Якоби [6] предназначен для симметрических матриц. При этом его главным недостатком являются большое время вычислений и высокая ресурсоемкость [6]. Преобразование Хаусхолдера и QL-алгоритм характеризуются большей скоростью в сравнении с методом Якоби [5], однако они не решают проблему несимметрических матриц. Степенным методом находят только максимальное собственное значение матрицы. Существенным недостатком QR-алгоритмов является большое число операций (пропорционально $3l$, где l – размерность матрицы), необходимое для QR-факторизации матрицы на каждой итерации, хотя их скорость и больше скорости обобщенного метода Якоби с понижением нормы для действительной матрицы [5].

Для циркулянтов собственные числа можно находить проще. Для этого в настоящей работе предлагается конкретная формула для каждого собственного числа.

Рассмотрим циркулянт

$$P = \begin{pmatrix} p_0 & p_{n-1} & p_1 \\ p_1 & p_0 & p_2 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{n-1} & p_{n-2} & p_0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где p_j – частота встречаемости j -го символа в тексте, $j = 0, 1, \dots, n-1$.

Найдем собственные числа матрицы (1). Как известно, они находятся из нелинейного уравнения

$$|P - E\lambda| = 0. \quad (2)$$

Преобразуем это выражение, учитывая, что P – это циркулянт. Перепишем (2) в виде:

$$|P'| = 0, \quad (3)$$

где P' получается из P заменой p_0 на $(p_0 - \lambda)$. Далее воспользуемся формулой вычисления определителя циркулянта. Определитель циркулянта вычисляется [7] по формуле:

$$|P| = f(\epsilon_0) \cdot f(\epsilon_1) \cdot \dots \cdot f(\epsilon_{n-1}), \quad (4)$$

здесь $\{\epsilon_0, \dots, \epsilon_{n-1}\}$ – множество всех корней степени n из 1, а $f(x) = p_0 + p_{n-1} \cdot x + \dots + p_1 \cdot x^{n-1}$.

Учитывая, что мы заменили p_0 на $(p_0 - \lambda)$, выделим λ из каждой скобки правой части равенства (4) и получим n собственных чисел. Выражение для j -го собственного числа выглядит следующим образом:

$$\lambda_j = \sum_{k=0}^{n-1} p_{n-k} \cdot \epsilon_j^k, \quad (5)$$

$j = 0, 1, \dots, n-1$.

При проведении исследований для 20 языков (табл. 1) авторы на основе формулы (5) вычислили модули всех собственных чисел, количество которых составляло от 21 до 44 в зависимости от языка, а затем осуществили их сортировку в порядке невозрастания. Оказалось, что первые три собственных числа для языков, входящих в одну и ту же языковую группу, являются коррелированными, то

есть соответствующие собственные числа имеют близкие значения. Авторы провели сравнительный анализ по 21 наибольшему значению характеристических чисел для каждого языка, который показал, что для языков романской группы собственные числа начинают сильно различаться, начиная с седьмого значения. В славянской группе с увеличением числа рассматриваемых характеристических чисел сильно отличаются от среднего значения собственные числа украинского языка. Начиная с одиннадцатого собственного числа, наблюдаются большие отклонения и для русского языка. Для балтийских языков мало отличаются только первые два значения. Кроме того, начиная с четвертого характеристического числа, слабо наблюдаются различия между языковыми группами, так как оставшиеся собственные числа имеют схожее распределение.

Приведенные выше рассуждения позволили сделать вывод о том, что для идентификации языка и языковой группы следует рассматривать не более трех наибольших характеристических чисел. В опубликованной нами работе [8] представлены результаты исследований 18 языков, охватывающих восемь языковых групп. После публикации этой работы проведены дополнительные исследования еще одной, семитской языковой группы, включающей иврит и арабский язык. Полученные результаты отображены в табл. 1.

Подобные вычисления были также проведены для циркулянтов, составленных на основе значений относительной удаленности символов (g_j/g) [9], где

$$g_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} \log_2 \Delta_{ij}, \quad (6)$$

Δ_{ij} — интервал между i и $i+1$ вхождениями j -го символа, а n_j — число вхождений j -го символа,

$$g = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \log_2 \Delta_{ij}, \quad (7)$$

где m — мощность алфавита.

Оказалось, что собственные числа таких циркулянтов не являются коррелированными.

Кроме того, аналогичные значения собственных чисел были вычислены для циркулянтов со случайными элементами, сумма которых в каждой строке равна 1 (аналог вероятностей появления символов в тексте). Расчеты показали, что для 1000 циркулянтов распределение собственных чисел, схожее с распределением для реальных языков, наблюдается только в трех случаях: чешский, английский, украинский.

Среднее значение максимального собственного числа для случайных циркулянтов при 4000 экспериментов было равно 0.1952, что не попадает в диапазон значений для реальных языков. Найденное значение дисперсии составило 0.0016, откуда значение 3σ для нормального закона распределения равно 0.1210. Вероятность попадания значения максимального собственного числа в диапазон [0.24; 0.39] равна 0.1936 в соответствии с формулой для нормального закона распределения и 0.1280 — по эксперименту. Второе максимальное собственное число должно быть в диапазоне [0.24; 0.37], третье в диапазоне [0.19; 0.36]. Вероятности попадания в эти диапазоны соответственно равны 0.0692 по формуле и 0.0715 по эксперименту, 0.1999 по формуле и 0.1295 по эксперименту. Соответствующие значения 3σ равны 0.1149 и 0.0868.

В свете приведенных выше рассуждений можно принять собственные числа за характеристику язы-

Таблица 2
Соответствие русскоязычных символов
иностраным символам
(для русского и латинского алфавитов)

Символы русского алфавита	Символы латинского алфавита
а	a/A
в	V
е	e/E
и	u
к	k/K
м	M
н	N
о	o/O
п	p
р	r/R
с	c/C
т	T
у	y/Y
х	x/X
ш	w/W
ь, ъ	b

ка, что предоставит еще один метод идентификации языков кроме поиска по словарю.

Такой метод может понадобиться в случае работы с зашумленными текстами. Очевидно, что использование разноязычных символов в текстах сохраняет их читабельность, однако значительно затрудняет поиск таких текстов стандартными поисковыми системами по ключевым словам. Если все символы исходного текста заменены на иноязычные, имеющие аналогичное начертание, то использование собственных чисел, тем не менее, позволяет идентифицировать принадлежность таких текстов конкретному языку. Когда часть символов принадлежит алфавиту языка, а часть имеет схожее написание, предлагается осуществлять замену символов по таблицам, аналогичным табл. 2, устанавливающей соответствие между похожими символами русского и латинского алфавитов. Предпочтение следует отдавать тем вариантам восстановления текста, которые имеют собственные числа, более близкие к собственным числам соответствующего языка.

3. Использование неравновероятной гаммы

Возможно и другое применение собственных чисел. Вещественные собственные числа предлагается использовать для осуществления применимости неслучайной гаммы при поточном шифровании.

Известно [10], что использование неравновероятной гаммы при поточном шифровании приводит к потере стойкости шифросистемы. На этом основании делается вывод о том, что для затруднения криптоанализа при использовании шифров гаммирования необходимо использовать только гамму с вероятностными свойствами, близкими к случайной равновероятной последовательности. Однако построение генераторов или регистров с

Значение λ , характеризующее языки различных языковых групп

Языковая группа	Язык	Кол-во символов текста	λ	
			Абсолютное значение	%
Славянские языки	Польский	1000000	-167210	-16.7210
	Чешский	1000000	113599	11.3599
	Русский*	1000000	-45000	-4.5000
	Украинский*	1000000	38000	3.8000
	Белорусский*	1000000	32535	8.2535
Балтийские языки	Латышский*	1000000	5000	0.5000
	Литовский	1000000	-	-
Германские языки	Норвежский	1000000	88868	8.8868
	Английский*	1000000	109400	10.9400
	Немецкий*	1000000	145200	14.5200
Романские языки	Французский*	1000000	388400	38.8400
	Испанский*	1000000	349800	34.9800
	Итальянский*	1000000	-	-
Уральские языки: Финно-угорские языки	Венгерский	1000000	150172	15.0172
	Эстонский	1000000	-95110	-9.5110
	Финский	1000000	-	-
Искусственные языки	Эсперанто	1000000	75487	7.5487
Италийские языки	Латынь	1000000	295074	29.5074
Афразийские языки: Семитские языки:	Иврит	1000000	-198190	-19.8190
	Арабский	1000000	37464	3.7464

хорошими псевдослучайными характеристиками само по себе представляет нетривиальную проблему. В данной работе предлагается подход, позволяющий использовать неравновероятную гамму без потери стойкости шифросистемы путем незначительного изменения исходного текста. Далее в настоящей статье предлагаются математические выкладки, позволяющие прийти к различным вариантам модификации текстов, обосновывается допустимость подобных преобразований для достижения поставленной цели.

Пронумеруем буквы алфавита числами от 0 до $n-1$ и обозначим через p_i, γ_i, s_i вероятности появления знака с номером i соответственно в открытом тексте, гамме и в шифртексте. Тогда распределение знаков шифртекста можно выразить формулой

$$s_j = \sum_{i=0}^{n-1} p_{(j-i) \bmod n} \cdot \gamma_i, \quad (8)$$

где $j = 0, \dots, n-1$.

Имея достаточно точные приближения распределений p и s , найденные подсчетом частот встречаемости знаков, можно оценить вероятности γ_i непосредственно по шифртексту. Для этого соотношение (8) рассматривается как система линейных уравнений относительно неизвестных γ_i , где $i = 0, \dots, n-1$. Этой системе уравнений соответствует циркулянт (1).

Воспользуемся формулой вычисления определителя циркулянта (4). Если $|P| \neq 0$, то вектор $\vec{\gamma}$ однозначно определяется из соотношения

$$\vec{\gamma} = P^{-1} \cdot \vec{s}. \quad (9)$$

Отметим, что генерации случайной гаммы можно предложить альтернативу подбора алфавита, для которого определитель циркулянта будет равен нулю.

Проанализируем формулу (4). Произведение в ее правой части имеет, по крайней мере, один вещественный сомножитель $f(\epsilon_0)$ при $\epsilon_0 = 1$ (матрица P имеет, по крайней мере, одно вещественное собственное число)

$$f(\epsilon_0) = f(1) = \left(\sum_{i=0}^{n-1} p_i \right) \quad (10)$$

Если же n – четное число, то произведение (4) будет иметь еще один вещественный сомножитель $f(\epsilon_{n/2})$ при $\epsilon_{n/2} = -1$ (матрица P имеет еще одно вещественное собственное число)

$$f(\epsilon_{n/2}) = f(-1) = \left(\sum_{i=0}^{n-1} (-1)^i \cdot p_{n-1-i} \right) \quad (11)$$

Известно, что произведение равно нулю тогда и только тогда, когда один из сомножителей равен нулю.

Рассмотрим формулу (11). Пусть $f(-1) = \lambda$ (вещественное собственное число матрицы P , соответствующее $\lambda_{n/2}$). Чтобы правая часть формулы (11)

Таблица 4

Частота использования символов алфавита польского языка

A	0,089424	F	0,002594	M	0,028854	Ś	0,009333
Ą	0,012435	G	0,014574	N	0,058430	T	0,042492
B	0,015296	H	0,010777	Ń	0,001792	U	0,024228
C	0,043883	I	0,086054	O	0,081990	V	0,000294
Ć	0,004947	J	0,027250	Ó	0,009520	Y	0,040513
D	0,034684	K	0,036048	P	0,029844	Z	0,060222
E	0,086883	L	0,023265	R	0,041262	Ż	0,000455
Ę	0,012569	Ł	0,015457	S	0,043883	Ź	0,010750

Таблица 5

Частота использования символов алфавита чешского языка

A a / Á á	0,102546	J j	0,025499	S s	0,051318
B b	0,021945	K k	0,038133	Š š	0,010057
C c	0,013185	L l	0,051229	T t	0,056595
Č č	0,008654	M m	0,038542	Ť ť	0,001155
D d	0,039252	N n	0,059349	U u / Ú ú	0,035538
Ď ď	0,000729	Ň ň	0,000426	V v	0,035698
E e / Ě ě / Ě ě	0,108055	O o / Ó ó	0,071059	W w	0,000693
F f	0,001706	P p	0,030528	X x	0,000284
G g	0,001901	Q q	0,000622	Y y / Ý ý	0,025463
H h	0,014855	R r	0,029621	Z z	0,015921
Ch ch	0,009098	Ř ř	0,011888	Ž ž	0,013451
I i / Í í	0,075004				

оказалась равной нулю, уменьшим ее на λ . Очевидно, что это можно выполнить для любого четного n , где n – мощность алфавита.

$$\begin{aligned}
 & \text{Так как } f(\varepsilon_{n/2}) = p_0 \cdot p_{n-1} + p_{n-2} \cdot p_{n-3} + p_{n-4} \dots p_1, \text{ то} \\
 & (f(\varepsilon_{n/2}) - \lambda) = \\
 & = (p_0 \cdot p_1 + p_2 \cdot p_3 + p_4 \dots p_{n-1}) - \lambda = \\
 & = (p_0 \cdot \lambda) - p_1 + p_2 \cdot p_3 + p_4 \dots p_{n-1} = \\
 & = p_0 \cdot (p_1 + \lambda) + p_2 \cdot p_3 + p_4 \dots p_{n-1} = \\
 & = p_0 \cdot p_1 + (p_2 \cdot \lambda) \cdot p_3 + p_4 \dots p_{n-1} = \\
 & \dots \\
 & = p_0 \cdot p_1 + p_2 \cdot p_3 + p_4 \dots (p_{n-1} + \lambda) = 0.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Из приведенных выше выражений видно, что, изменив соответствующим образом частоту любого из символов текста $(p_0, p_1, \dots, p_{n-1})$, можно достичь равенства циркулянта нулю.

Данный прием был применен к текстам на русском языке. В работе [11] приведены полученные результаты и различные способы достижения равенства циркулянта нулю, связанные с изменением частоты использования одного или нескольких символов в соответствии с полученным значением собственного числа циркулянта. Поскольку важной

задачей исследования является решение проблемы приведения расшифрованного текста к первоначальному виду, следует отметить вариант изменения количества пробелов как наименее влияющий на читабельность текста. Аналогичные действия допустимо проводить и с другими символами алфавита. Однако после подобного изменения текста может оказаться слишком много одинаковых символов в известных криптоаналитику местах. Поэтому рекомендуется изменять частоту не одного символа, а нескольких [11].

Для реализации предложенных способов преобразования разработана программа, которая вычисляет частотные характеристики входного текста, определяет значение величины λ . Программа предоставляет возможность выбора способов изменения текста: увеличение или уменьшение объема текста, работа с одним символом алфавита или с несколькими.

В табл.3 приведены результаты проведенных с помощью данной программы исследований, в ходе которых было найдено значение собственных чисел

Таблица 6
Частота использования символов алфавита литовского языка

A	0,113708	F	0,002144	M	0,032578	W	0,013377
Ą	0,006659	G	0,017284	N	0,050982	Ū	0,004241
B	0,016081	H	0,000750	O	0,057438	V	0,024514
C	0,004002	I	0,128097	P	0,031589	Z	0,002513
Ch	0,000750	Į	0,006039	R	0,054912	Ž	0,006254
Č	0,004157	Y	0,013258	S	0,080355	Dz	2,38E-05
D	0,022489	J	0,020690	Š	0,011149	Dž	0,001155
E	0,050493	K	0,049147	T	0,067824	Ie	0,010530
Ę	0,002370	L	0,030529	U	0,041690	Uo	0,005575
Ė	0,014651						

для двадцати языков. Частоты встречаемости символов для языков, отмеченных символом «*», взяты из источника [10]. Аналогичные сведения для других языков получены в процессе выполнения работы. В связи с ограниченностью объема статьи приводятся результаты только для некоторых из них (табл. 4-6).

4. Программа для изменения частотных свойств информации

Программа File Converter 1.0 [12] предназначена для исследования и изменения частотных характеристик файлов текстового или любого другого формата. Она выполняет прямое и обратное преобразование файлов с целью изменения частотных свойств информации, содержащейся в файле, таким образом, чтобы циркулянт, соответствующий использованному в нем символу, оказался равным нулю. Это освобождает от необходимости генерации случайной гаммы при использовании метода гаммирования для шифрования файла.

В ходе работы программы определяются статистические свойства текста, предлагаются возможные варианты обработки текста и производится обратимое изменение его статистических свойств простым или сложным способом. Простой способ преобразования предполагает запись всех символов в начале файла. При использовании сложного способа преобразования добавляемые символы распределяются по всему файлу по определенному правилу, что затрудняет криптоанализ.

Программа File Converter 1.0 использовалась в качестве инструмента для получения частотных характеристик исследуемых языков (табл. 4 – 6). Исходные данные для исследования были взяты на сайте www.multikulti.ru («Язык как инструмент познания мира»).

5. Заключение

В представленной статье авторы предложили в качестве характеристики языка использовать собственные числа циркулянтов, составленных из частот символов алфавита текста. Такая характеристика может применяться для определения языка произвольного текста без поиска по словарю при работе как с неискаженными, так и с искаженными (защумленными) текстами.

К настоящему моменту получены собственные числа для 20 языков, ведется расширение набора языков и языковых ветвей (групп).

В дальнейшем предполагается исследование других матриц специального вида (треугольные, эрмитовы). Если исследования дадут положительный результат, то это будет предметом отдельной статьи. Впрочем, независимо от того, окажется ли возможным для идентификации языков использовать матрицы другого вида, материалы исследований, представленные в настоящей статье, показывают, что циркулянт дает устойчивый результат и может иметь практическое применение в соответствующей области.

Нами предложено также применять вещественные собственные числа для реализации возможности использования неслучайной гаммы при поточном шифровании. Разработан метод изменения текстов таким образом, чтобы определитель соответствующего им циркулянта оказался равным нулю.

Предложенный метод реализован в программе File Converter 1.0 [12]. Данная программа позволяет проводить исследование частотных характеристик символов. С ее помощью получены частотные характеристики более десятка языков, выполняются дальнейшие исследования в этом направлении.

Библиографический список

1. Чурилов А.Н. О существовании положительного решения уравнений Лурье. Нелинейные колебания и теория управления. Вып.3. /А.Н Чурилов. - Ижевск: Изд-во Удмуртского ун-та, 1981. - С. 131 - 145.
2. Soumen Chakrabarti. Mining the WEB. Discovering knowledge from hypertext data. /S. Chakrabarti. - Bombay: Indian Institute of Technology, 2003. - 345 с.
3. Розенталь Д.Э. Словарь-справочник лингвистических терминов. Пособие для учителей. /Д.Э. Розенталь, М.А. Теленкова. - М.: Просвещение, 1976. - 543 с.
4. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. /А.Г. Курош. - М.: Наука, 1975. - 432с.
5. Уилкинсон Дж.Х. Справочник алгоритмов на языке Алгол. Линейная алгебра. /Дж.Х. Уилкинсон, К. Райнш. - М.: Машиностроение, 1976. - 390 с.
6. Уилкинсон Дж.Х. Алгебраическая проблема собственных значений. /Дж.Х. Уилкинсон. - М.: Наука, 1970. - 564 с.

7. Кострикин А.И. Сборник задач по алгебре. /А.И. Кострикин. — М.: Физматлит, 2001. — 464 с.
8. Ефимова О.С. Распознавание текстов, характеристика языка. /О.С. Ефимова, Р.Т. Файзуллин // Актуальные проблемы математики, механики, информатики. Всероссийская научно-методическая конференция: Тез. докл. — Пермь: Изд-во Перм. ГУ, 2006. — С. 121 — 123.
9. Гуменюк А.С. О средствах анализа взаимного расположения компонентов знаковой последовательности. /А.С. Гуменюк // Материалы III Международного технологического конгресса: Тез. докл. — Омск: ОмГТУ, 2005. — Ч. II. — С. 48 - 52.
10. Алферов А.П. Основы криптографии. /А.П. Алферов, А.Ю. Зубов, А.С. Кузьмин, А.В. Черемушкин. — М.: Гелиос, 2002. — 480 с.
11. Ефимова О.С. Об использовании неравновероятной гаммы. /О.С. Ефимова, Р.Т. Файзуллин // Информационные технологии моделирования и управления. Научно-технический

журнал: Тез. докл. — Воронеж: Научная книга, 2005. — С. 837-842.

12. Ефимова О.С. Программа для изменения частотных свойств информации. /О.С. Ефимова, Р.Т. Файзуллин — М., 2006. — 9 с. — Деп. в ОФАП Федерального агентства по образованию РФСФР, 19.04.06, №6012.

ЕФИМОВА Ольга Сергеевна, специалист ООО «Интериио-Лайн».

ФАЙЗУЛЛИН Рашит Тагирович, доктор технических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности ОмГУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 14.10.06 г.
© Ефимова О.С., Файзуллин Р.Т.

УДК 004.052.44

**В. А. КУЛЬБИДА
О. П. ШАФЕЕВА**

Омский государственный
технический университет

ВЕКТОРНЫЕ КОДЫ И ИХ КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В статье проанализирован векторный метод кодирования, построена вероятностная модель для исследования его кодов, предложены новые разновидности векторных кодов, позволяющие увеличить частоту исправления ошибок передачи и хранения двоичных данных.

Повышенные требования к достоверности передачи и хранения данных в вычислительных системах и сетях обусловили применение таких способов кодирования информации, которые могут обеспечить обнаружение и исправление ошибок.

Авторами исследуются коды векторного метода для кодирования потоков слов двоичных данных с целью повышения достоверности их передачи. Контрольные разряды в них вычисляются с помощью операции сложения по модулю два. Достоинство метода состоит в минимальной информационной избыточности — один контрольный бит на двоичное слово. При этом они позволяют не только обнаруживать, но и локализовать ошибки. Целью исследования является создание новых конфигураций векторных кодов, обладающих лучшими обнаруживающими и корректирующими свойствами.

Принцип локализации ошибки векторным кодом показан на рис. 1 [1, 2] и состоит в следующем. Если возникла ошибка в основном информационном бите, то о ней сигнализируют три неверные контрольные суммы. Разряды, которые включаются в каждую группу для суммирования, определяются графической схемой кода с вершиной в проверочном бите. Пересечение трех схем укажет на неверный разряд. Такие коды позволяют исправлять одиночные ошибки среди каждых L двоичных слов. Следовательно, чем меньше размер образующей матрицы L (и соответственно размер графической схемы

кода), тем частота однозначно локализуемых ошибок выше.

Применение помехоустойчивых кодов для повышения достоверности передачи данных связано с решением задач кодирования и декодирования. Задача кодирования заключается в получении при передаче для каждой комбинации длиной M соответствующего ей кодового слова длиной N (при $N > M$). Декодирование состоит в получении M — элементной комбинации из принятого N — разрядного кодового слова при одновременном обнаружении или исправлении ошибок.

Большинство существующих помехоустойчивых кодов являются линейными и соответственно называются линейные блочные коды (*блочные коды*) и линейные древовидные коды (*сверточные коды*).

При блочном кодировании непрерывная последовательность информационных символов (если это двоичные символы, то код *двоичный* ($q=2$)) разбивается на отдельные блоки определенной длины L . Для каждого такого блока независимо от других блоков формируются дополнительные проверочные символы, которые образуются путем арифметических операций суммирования и умножения, выполняемые в соответствии с правилами алгебраического поля над информационными символами текущего блока. В результате формируется кодовое слово из L символов для каждого блока из N



Рис. 1. Схема локализации ошибочного бита

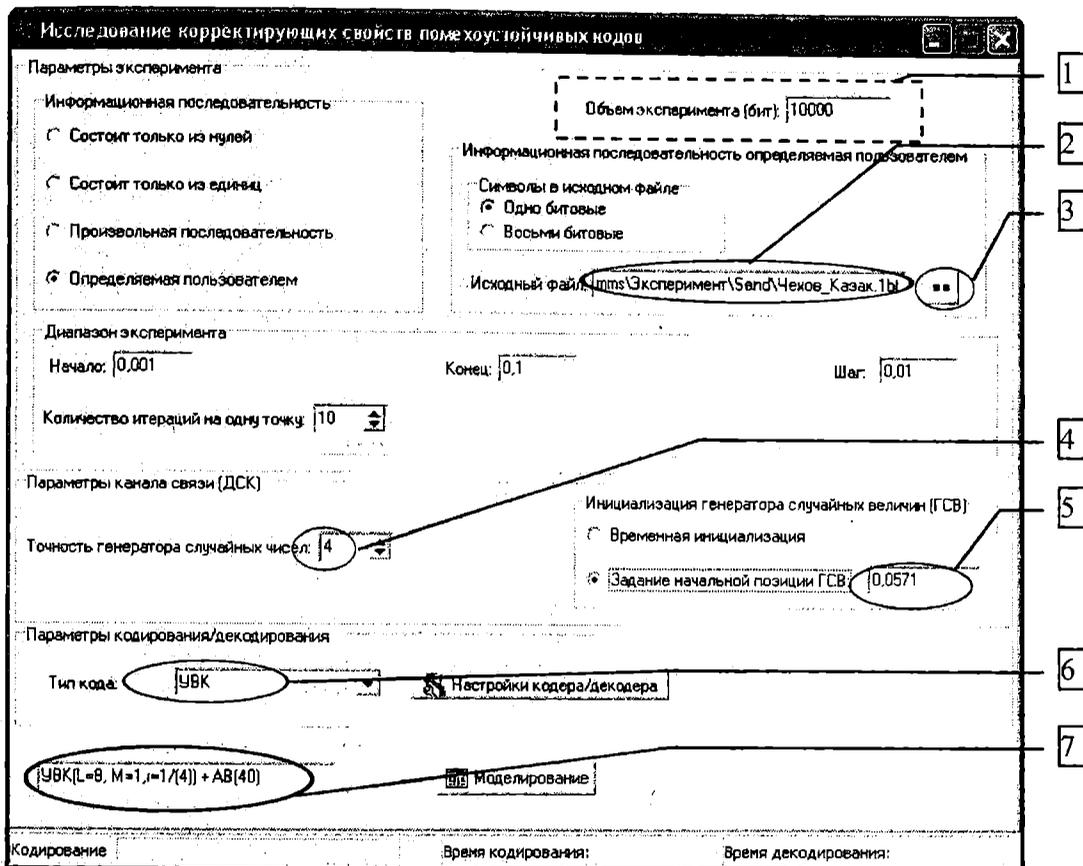


Рис. 2. Основное окно программы

информационных символов. В современных цифровых системах связи линейные блочные коды используются в составе каскадных схем кодирования (например, турбо-код).

При сверточном кодировании, в отличие от блочного, непрерывная последовательность информационных символов не разбивается на отдельные блоки, а поступает непрерывно по M символов за один цикл кодирования. В каждом цикле формируются дополнительные проверочные символы K , которые образуются путем арифметических операций суммирования и умножения, выполняемых в соответствии с правилами алгебраического поля над M информационными символами, поступивших в текущем цикле, и над $(L-1) \cdot M$, поступивших в $(L-1)$ предыдущих циклах кодирования (где L называется конструктивной длиной сверточного кода). В результате в конце каждого цикла кодирования формируется кодовое слово из N символов. Совокупность особенностей сверточных кодов обеспечивает широкое распространение в магистральных радиорелейных и спутниковых системах связи.

Структуру помехоустойчивого векторного кода можно представить в систематическом виде. Систематический код состоит из информационных символов M и проверочных символов K , эти символы можно четко выделить из кодового слова $N = M + K$. Он является сверточным и позволяет производить кодирование и декодирование потоков данных непрерывно во времени, при этом обычно задается порождающей матрицей и может иметь графическую интерпретацию.

Для исследования корректирующих свойств ряда кодов и некоторых способов кодирования и декодирования был разработан пакет моделирующих программ (Borland C++ Builder 6). С его помощью осуществляется имитация передачи дискретной информации и автоматически проводится серия экспериментов при разных вероятностях появления ошибок (помех) в канале связи, при этом рассчитывается вероятность появления ошибок после декодирования «сверточным» алгоритмом и декодером Витерби. Тем самым демонстрируется динамика изменения корректирующих свойств исследуемых кодов и алгоритмов кодирования и декодирования.



Рис. 3. Окно настроек векторного кода

Такая компьютерная модель необходима для специалистов, занимающихся разработками цифровых сетей передачи данных. Она позволяет оценить возможность применения в разрабатываемых системах различных алгоритмов кодирования и декодирования и дает возможность правильного проектирования всех узлов создаваемых новых коммуникационных систем с учетом требуемых уровней надежности, сложности, скорости реализации и других критериев выбора систем повышения достоверности. Современные системы кодирования стали настолько сложными и очень трудными для понимания техническими специалистами, занимающимися смежными вопросами, что компьютерная помощь в принятии правильных решений о важнейших компонентах сетей связи стала чрезвычайно важной.

После запуска компьютерной модели появляется основное окно программы (рис. 2).

В верхней части окна задаются параметры эксперимента:

1) Информационная последовательность – это данные, передаваемые через канал связи (КС), которые подвергаются кодированию и декодированию выбранными ниже алгоритмами. Необходимо указать в появившейся области 1 объем этой последовательности (в битах). Также эту последовательность пользователь может задать через файл, записав в строке 2 путь к выбранному файлу при помощи кнопки 3. При этом также отмечается, какие символы в выбранном файле: однобитовые или байтовые.

2) Диапазон эксперимента. Данный параметр позволяет менять среднюю вероятность появления ошибки в одном бите при прохождении данных через КС на отрезке [Начало; Конец] с определенным шагом. При условии, что $Начало \leq Конец$, $Конец \leq 1$,

$Начало \geq 0$, а шаг $\neq 0$. Так же можно указать количество итераций на одну точку и тем самым изменить точность получаемых данных.

В средней части окна задаются параметры канала связи, в данном случае применяется модель дискретно КС канала связи с вероятностью p . Диапазон изменения p указывается в диапазоне эксперимента, а формирование случайных величин (т.е. вероятность появления ошибки в текущем бите) происходит при помощи генератора. При помощи поля 6 выбирается код, параметры которого можно настраивать, нажав на соответствующую кнопку "Настройки кодера/декодера". В результате в соответствии с выбранным кодом появляется окно настроек (рис. 3).

При нажатии на кнопку "Моделирование" в соответствии с произведенными настройками проводится серия экспериментов при разных вероятностях появления ошибок в КС p , при этом каждый раз измеряется вероятность появления ошибок после их декодирования. Результат эксперимента отображается в графическом виде. Полученный результат можно сохранить для сравнения с результатом при других параметрах кодирования/декодирования или двойным щелчком на графике очистить его для последующих экспериментов. В статусной строке выдается время, потраченное на кодирование и декодирование всех данных, которое отображается в миллисекундах и зависит от технических характеристик компьютера, на котором производится моделирование.

В основу разработанного программного средства для исследования корректирующих свойств алгоритмов кодирования и декодирования был положен модульный принцип построения программ. Это обеспечивает возможность дальнейшего расширения его функциональных возможностей

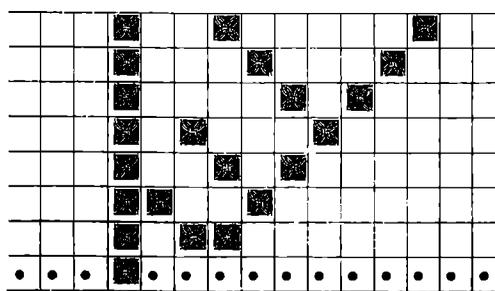
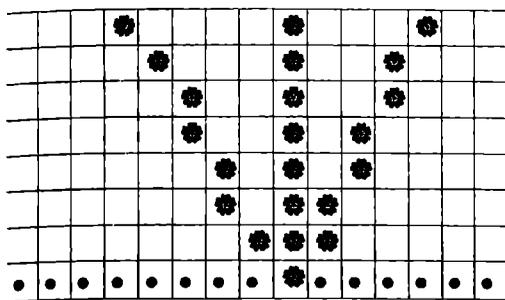


Рис. 4. Схемы векторных кодов серии 10

при минимальных затратах, например: введение новых алгоритмов кодирования и декодирования, построение других моделей КС, а также другие изменения, расширяющие модель системы передачи дискретной информации.

При помощи предложенной программной модели были проведены исследования для различных конфигураций векторных кодов [1,2]. По результатам этих исследований сгенерированы новые схемы кодов векторного метода серии 10 (рис.4) и сделаны следующие основные выводы:

1) корректирующая способность векторного кода улучшается с уменьшением размера образующей его матрицы;

2) с ростом разрядности слов M увеличивается и размер матрицы кодирования L ;

3) корректирующая способность зависит от конфигурации кодирующей матрицы. При этом "хорошие" кодирующие матрицы могут быть найдены только путем моделирования.

Векторные коды серии 10 позволили уменьшить размер графической схемы кодирования (декодирования) и, следовательно, образующей код матрицы в 1,5 раза по отношению к впервые созданным аналогам. В отличие от ранее опубликованных [1,2] последний содержит контрольный разряд (вертикальный вектор) в крайнем левом разряде, что при кодировании не требует накопления блока слов после слова с контрольным битом и

таким образом создает дополнительные удобства в использовании.

Таким образом, предложена программная модель для исследования свойств кодов векторного метода и созданы новые графические схемы векторных кодов с одним контрольным битом на двоичное слово данных, позволяющие повысить частоту исправления ошибок при передаче и хранении двоичных данных в вычислительных системах и сетях передачи данных.

Библиографический список

1. Шафеева О.П. Модели векторных кодов для ошибок передачи данных // Омский научный вестник. 2005. Вып. 3 (32). С. 135-137.

2. Шафеева О.П. Векторный метод кодирования для исправления ошибок передачи и хранения двоичных данных (СИБРЕСУРС-12-2006): Докл. 12-й Междунар. науч.-практ. конф. — Томск: САН ВШ; Изд-во «В-Спектр», 2006. — С. 337-340.

ШАФЕЕВА Ольга Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры ИВТ.

КУЛЬБИДА Владимир Александрович, студент гр. ИВМ-611, магистр техники и технологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 22.10.06 г.
© Шафеева О.П., Кульбида В.А.

Информация

Оцифровка Библиотеки Конгресса США

Правительство Соединенных Штатов Америки выделило два миллиона долларов на практически полный перевод собрания книг и документов Библиотеки Конгресса — главной библиотеки страны — в цифровой вид. Её фонды включают более ста миллионов книг, брошюр, газетных подшивок и рукописей. Но на сегодняшний день многие книги находятся в плачевном состоянии и практически не подлежат восстановлению. Именно на такие книги в первую очередь направлена программа «Digitizing American Imprints». Планируется создание специального оборудования, которое позволит максимально упростить и автоматизировать процесс оцифровки книг. Начало программы намечено на ближайшие месяцы. Первыми будут оцифрованы наиболее важные и ветхие книги и документы. Точно известно, что в электронный вид будут переведены шесть коллекций книг, включая Коллекцию Бенджамина Франклина.

Несмотря на проблемы со стороны ассоциаций правообладателей, «Google» продолжает свой проект «Google Book Search», согласно которому компания планирует отсканировать и включить в свое поисковое пространство около 30 млн книг. В его рамках отсканировано больше 1 млн книг из собраний Гарварда, Оксфорда, Стенфорда, Мичиганского университета и публичной библиотеки Нью-Йорка. А в начале февраля к проекту присоединились государственный университет Техаса в городе Остин. Хранилище является одним из самых богатых в США. В университете Остина можно найти очень редкие книги писателей Латинской Америки, а также древние мексиканские, чилийские и бразильские манускрипты.

Теперь в проекте «Google Book Search» принимают участие 12 библиотек, среди архивов которых есть книги почти по всем областям человеческого знания.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Разрабатывается и исследуется комбинированный аналитико-имитационный метод для расчёта и оптимизации циклических систем массового обслуживания с абсолютными приоритетами. В методе используются асимптотические приближения для вероятностных характеристик календарного времени обслуживания неприоритетных заявок и пакетов заявок. Эффективность метода демонстрируется на примере решения типичной задачи расчёта и оптимизации циклической системы.

1. Введение

Комплекс асимптотических результатов, установленных в статьях [1-3] для распределения суммарного времени прерываний и для времени обслуживания пакетов заявок, предоставляет новые возможности для постановки и решения практических важных задач расчёта и оптимизации циклических систем обслуживания (ЦСО).

Циклическими системами, в соответствии с [2, 4], здесь будут считаться такие системы массового обслуживания, функционирование которых носит явно выраженный циклический характер, связанный, например, со сменным или суточным режимом работы. Их основным отличительным признаком является широкое использование процедуры накопления заявок (пакетирования), которое представляет собой компромисс между стохастичностью потока заявок и необходимостью планомерного регулярного использования ресурсов системы для обслуживания заявок. Использованию пакетирования сопутствуют такие особенности ЦСО, как наличие потока приоритетных заявок («мелких» работ, срочно обслуживаемых в режиме абсолютного приоритета), наличие форсирующих воздействий, которыми обеспечивается завершение работ над очередным пакетом до начала следующего цикла, и статистическая независимость процессов, осуществляемых внутри разных циклов.

Расширения «классических» разомкнутых или замкнутых сетей массового обслуживания [5-8] включаемыми в них ЦСО будем называть циклическими сетями (ЦС). Простейшая ЦС состоит из единственной ЦСО. В общем случае ЦС может состоять из нескольких «классических» систем массового обслуживания (СМО) и нескольких ЦСО. При этом заявки на входе каждой ЦСО могут пакетироваться по-разному в зависимости от того, поступают ли они из внешней среды или с выходов других СМО.

Асимптотические приближения, разработанные в [2] для ЦСО, можно распространить и на ЦС. Эти соотношения могут быть использованы для расчёта систем с прерываниями или без них. Например, для ускоренного аналитико-имитационного моделирования очередей транспортных единиц (ТЕ), скапливающихся у светофоров, целесообразно

использовать полученные в [2] расчётные соотношения для характеристик Т-пакетирования заявок (с соответствующей их доработкой, учитывающей формирование очереди как суммы, состоящей из числа ТЕ, поступивших за время запрета движения, и числа ТЕ, остающихся от предыдущего цикла накопления). Примерами реальных систем, функционирование которых может адекватно представляться в виде ЦС, являются также почтовые службы (в том числе системы электронной почты, [9]), вычислительные центры и серверы, транспортные городские сети, учебные заведения, системы мониторинга и другие системы. Градиентные аналитико-имитационные методы моделирования стационарных сетей [10] могут быть развиты для моделирования и оптимизации транспортных сетей городов, если при этом учесть цикличность функционирования транспортных сетей и узлов. Здесь наряду с формированием пакетов-очереди ТЕ перед светофорами (или на остановках) следует учитывать и пакетирование на остановках заявок-пассажиры — это необходимо для оценки показателей наполняемости пассажирского транспорта. При оптимизации режимов работы вычислительных центров и серверов разработанные методы моделирования целесообразно использовать в варианте [1-3], учитывающем приоритетный характер распределения времени центральных процессоров.

2. Комбинированный аналитико-имитационный метод моделирования циклических систем

Аналитические методы расчёта приоритетных СМО редко позволяют решать задачи анализа и оптимизации таких систем, в которых имеются не экспоненциально распределённые интервалы поступления или обслуживания заявок, многоканальное обслуживание, не стационарные режимы и другая специфика, естественная для ЦСО и ЦС. В таких случаях приходится применять имитационное моделирование (если исключить натурные эксперименты, чаще всего весьма дорогостоящие).

Однако имитационное моделирование (ИМ) также имеет хорошо известные недостатки: большие затраты времени на имитационные эксперименты, частный (численный) вид результатов, сравнительно большая погрешность (снижение которой возможно многими путями, но трудоёмко), пробле-

матичность применения градиентных методов при оптимизации, проблематичность применения шаговых поисковых алгоритмов. В то же время широкое распространение ЦСО и ЦС в производственной сфере, экономической логистике, транспорте, информационно-вычислительном сервисе и т. д. обуславливает важное практическое значение разработки комплексных методов, обеспечивающих возможность адекватной постановки задач моделирования ЦСО и ЦС и эффективного (быстрого, малозатратного и точного) их решения.

Это обуславливает актуальность разработки комплексного аналитико-имитационного (ускоренного) метода моделирования ЦСО и ЦС. Компоненты для комплексного метода разработаны и проверены в составе асимптотических результатов в [1-3, 10, 11]. Такой комплексный метод – комбинированный аналитико-имитационный метод моделирования циклических систем – предлагается и экспериментально обосновывается в данной статье. Предлагаемый метод (как и всякий другой аналитико-имитационный метод) требует экспериментальной проверки и обоснования путём решения типичных задач моделирования. В типичных задачах моделирования циклических систем приходится иметь дело со следующими особенностями ЦСО и ЦС:

- наличием многоканальных узлов;
- обслуживанием заявок разных приоритетных классов по разным «технологическим маршрутам»;
- пакетированием заявок;
- не экспоненциальным видом распределений, задающих исходные случайные величины в системе;
- не стационарностью режимов;
- сочетанием разномасштабных по интенсивности процессов;
- необходимостью оценивать малые вероятности (на уровне 10^{-4} - 10^{-8} и менее);
- необходимостью выбора оптимальных решений;
- медленным дрейфом параметров системы во времени и связанным с ним моделированием различных сценариев развития системы.

Задача, решаемая комбинированным методом ниже, включает в себе все перечисленные особенности.

С учётом того, что составные части предлагаемого комбинированного метода достаточно полно излагаются в [1-3], описание этого метода может быть сведено к следующему краткому изложению его основных шагов.

1. Выявляется наличие в модели известных факторов (параметров) сложности, затрудняющих непосредственное ИМ системы.

2. Оцениваются диапазоны изменения параметров сложности и выбираются те параметры, по которым можно перейти от непосредственного имитационного моделирования содержащих эти параметры процессов к их асимптотической аппроксимации и к соответствующему приближённо-эквивалентному преобразованию задачи моделирования к виду, в котором выбранные параметры сложности отсутствуют.

Рекомендации для определения таких диапазонов с учётом достигаемой в них точности асимптотических приближений изложены при выводе и исследовании этих приближений в статьях [1-3, 10]. Поскольку параметры сложности используются в приближениях в качестве параметров предельного перехода, то чем большую сложность вносит в

непосредственное ИМ такой параметр, тем большую точность даёт использующее его асимптотическое приближение и тем больший коэффициент ускорения ИМ достигается за счёт использования этого приближения. Кроме того поскольку все разработанные приближения имеют достаточно быструю сходимость, то параметры, значения которых оказываются недостаточно большими (для перехода к асимптотическим приближениям), лежат в диапазонах, вполне приемлемых для непосредственной имитации соответствующих им процессов.

3. Выполняется моделирование одного или нескольких вариантов циклической системы в таких точках факторного пространства (ФП) модели, в которых параметры сложности находятся на границах диапазонов применимости асимптотических приближений. Моделирование выполняется двумя методами – методом непосредственного ИМ и ускоренным аналитико-имитационным методом, использующим приближения.

4. Результаты моделирования сравниваются, и если ускоренный аналитико-имитационный метод имеет приемлемую точность, то дальнейшие расчёты или оптимизация системы продолжают ускоренными методами. Как правило, учёт рекомендаций из [1-3, 10] не приводит к необходимости корректировать границы применимости приближений. Но если такая необходимость появляется, корректировка может быть осуществлена путём смещения предполагаемых границ применимости в сторону увеличения соответствующих параметров сложности. При этом следует учитывать, что, в силу агрегированного характера имитационных моделей, ФП модели ЦС может состоять из разных зон, в которых свойства модели могут качественно различаться [11].

Испытаем возможности предлагаемого метода на примере решения типовой задачи моделирования циклической системы.

3. Задача моделирования серверного центра

Рассмотрим серверный центр (СЦ), состоящий из коммуникационной ЭВМ (КЭВМ) и мощного двух-процессорного сервера, процессоры которого P_1 и P_2 имеют общую полнодоступную оперативную память (рис. 1), позволяющую организовать общую очередь задач к процессорам. КЭВМ принимает из внешней сети и без задержки передаёт серверу оперативные задания, требующие немедленного выполнения. Кроме того, КЭВМ накапливает поступающие из внешней сети неприоритетные задания, производит их предварительную обработку и дважды в сутки, в установленный час, по сигналу таймера передаёт их пакетом для исполнения серверу. В этот же сигнализируемый таймером момент времени расформируется ранее выполненный пакет заданий, и они рассылаются во внешнюю сеть приславшим их абонентам. Загрузка КЭВМ достаточно мала, очереди в ней не возникают, и задержками заданий при их передаче через КЭВМ можно пренебречь.

Кроме внешних заданий, поступающих из сети, сервер обрабатывает внутренние задания, которые поступают от пользователей и обслуживающего персонала локальной сети СЦ и обладают таким же высшим приоритетом, как и оперативные задания из внешней сети. Оба приоритетных потока – внутренний и внешний – пуассоновские. Неприоритетный внешний поток тоже пуассоновский, но характеризуется разной интенсивностью в разное

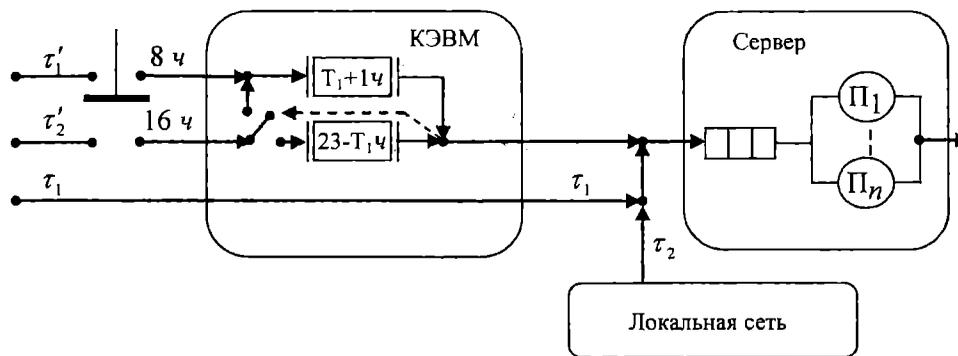


Рис. 1. Схема процесса обработки заданий в серверном центре

время суток. В течение первых 8 часов от условного момента начала суток средний интервал поступления неприоритетных заданий составляет $\bar{\tau}'_1 = 15$ мин, а в течение остальных 16 часов он равен $\bar{\tau}'_2 = 5$ мин.

Средняя трудоёмкость неприоритетных заданий $\bar{x}' = 5$ мин постоянна. Распределение времени x — симметричное треугольное распределение на интервале от 0 до 10 мин. В силу возможности идеального распараллеливания пакетов неприоритетных заданий они обрабатываются n -процессорным сервером в режиме параллельного их выполнения с коэффициентом ускорения n . Начальная конфигурация сервера двухпроцессорная.

Приоритетные задания выполняются в однопроцессорном режиме: одно приоритетное задание выполняется одним процессором. Внешние приоритетные задания поступают со средним интервалом $\bar{\tau}_1 = 1$ мин и требуют для выполнения в среднем $\bar{x}_1 = 0,5$ мин времени, внутренние приоритетные задания имеют средний интервал поступления $\bar{\tau}_2 = 0,5$ мин и выполняются в среднем в течение $\bar{x}_2 = 0,1$ мин.

На рис. 1 изображена схема процесса обработки заданий в моделируемой системе.

Время выполнения приоритетных внешних заданий имеет эрланговское распределение вероятностей 2-го порядка, время выполнения приоритетных внутренних заданий имеет гиперэкспоненциальное распределение вероятностей 2-го порядка и характеризуется квадратичным коэффициентом вариации, равным 2.

Кратко все указанные числовые параметры задачи приводятся в табл. 1.

В течение первых 8 часов все неприоритетные задания накапливаются в режиме T пакетирования с интервалом накопления $T_1 + 1 > 8$ ч, где T_1 (ч) — момент начала профилактического перерыва. После 8 часов интенсивность поступления неприоритетных заданий изменяется, и они продолжают накапливаться в этом же первом пакете. В момент $T_1 + 1$ завершения перерыва пакет заданий передаётся на исполнение сервером, и начинается накопление второго пакета, которое продолжается в течение всего оставшегося времени суток ($23 - T_1$) ч. Накопленный к условному началу суток пакет заданий сразу (по сигналу таймера) передаётся на сервер для выполнения. В этот же момент КЭВМ вновь начинает накопление первого в этих новых сутках пакета. Далее процесс повторяется циклически, изменяются только значения составляющих его случайных величин (сл. в.). Невыполненные задания любого пакета добавляются в следующий пакет, но доход от их выполнения снижается до нуля.

Очевидно, для адекватной постановки задачи моделирования описанного серверного центра более

предпочтительно его рассмотрение как ЦС, нежели как стационарной СМО или сети СМО. Исходя из асимптотических результатов [2] и [3] следует полагать, что распределение вероятностей для календарного времени обработки каждого пакета близко к нормальному распределению. Если ресурсы описанной системы достаточны, то пакет, накопленный в предыдущие сутки (во второй их половине — «второй» пакет), будет с достаточно большой вероятностью обслужен в первой половине суток до того, как начнётся обслуживание пакета, накопленного в первой половине суток («первого» пакета). Предполагается также, что между периодами обработки двух пакетов — «второго» и «первого» — должен найтись часовой интервал времени, на котором занятиость СЦ обслуживанием пакетов маловероятна и который можно использовать для выполнения профилактических работ.

При моделировании серверного центра требуется определить:

1. Достаточны ли ресурсы СЦ для того, чтобы без ущерба для обработки пакетов можно было выделить время для часа профилактики.

2. Если ресурсы достаточны, то где на суточном интервале выбрать момент T_1 для начала часа профилактики, так чтобы вероятности невыполнения в срок пакетов (первого и второго) были минимальны.

3. Как повлияет на функционирование СЦ дрейф параметров, прогнозируемый на ближайшие полгода (180 дней). Приблизительно линейный рост спроса на услуги СЦ приведёт к тому, что утренняя интенсивность $\lambda'_1 = 1/\bar{\tau}'_1$ и дневная интенсивность $\lambda'_2 = 1/\bar{\tau}'_2$ ежедневно будут расти на 0,5% каждая. В связи с этим прогнозируемым дрейфом необходимо определить, как он повлияет на качество обслуживания пакетов (на вероятность их невыполнения в срок). Если из-за недостаточного запаса производительности СЦ качество обслуживания будет заметно ухудшаться, то дополнительно необходимо:

- определить число процессоров, которыми потребуются нарастить многопроцессорный сервер;
- дать рекомендации по датам наращивания числа процессоров сервера;
- проверить, не повлияет ли наращивание числа процессоров на оптимальный выбор момента T_1 для часа профилактики (не придётся ли его существенно сместить).

4. Определение параметров сложности и выбор подходящих асимптотических приближений

В рассматриваемой ЦС (см. рис. 1 и табл. 1) присутствуют следующие факторы сложности, затрудняющие использование непосредственного ИМ.

Параметры моделируемого СЦ

Таблица 1

Интервал	Тип распределения вероятностей	Среднее значение, мин	Дисперсия, мин ²	Квадратичный коэффициент вариации
t_1	Экспоненциальное	$\bar{t}_1 = 1$	$\sigma_{t_1}^2 = 1$	$C_{t_1}^2 = 1$
x_1	Эрланговское	$\bar{x}_1 = 0,5$	$\sigma_{x_1}^2 = 1/8$	$C_{x_1}^2 = 1,2$
t_2	Экспоненциальное	$\bar{t}_2 = 0,5$	$\sigma_{t_2}^2 = 1/4$	$C_{t_2}^2 = 1$
x_2	Гиперэкспоненциальное	$\bar{x}_2 = 0,1$	$\sigma_{x_2}^2 = 0,02$	$C_{x_2}^2 = 2$
t'_1	Экспоненциальное	$\bar{t}'_1 = 15$	$\sigma_{t'_1}^2 = 225$	$C_{t'_1}^2 = 1$
t'_2	Экспоненциальное	$\bar{t}'_2 = 5$	$\sigma_{t'_2}^2 = 25$	$C_{t'_2}^2 = 1$
x'	Треугольное	$\bar{x}' = 5$	$\sigma_{x'}^2 = 25/6$	$C_{x'}^2 = 1/6$

Зависимость критических вероятностей от часа профилактики

Таблица 2

		T ₁ , час										
		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Приближённый расчёт	p_1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	$4 \cdot 10^{-6}$	0,023	0,598	0,989	1,00	1,00
	p_2	0,9998	0,97	0,50	0,22	$1 \cdot 10^{-5}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Имитационное моделирование	\hat{p}_1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,56	0,98	0,99	1,00
	\hat{p}_2	1,00	0,98	0,51	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

1. *Относительно интенсивные прерывания.* Из табл. 1 видно, что интенсивность приоритетных заявок примерно на порядок выше интенсивности неприоритетных заявок (проблема разномасштабности). Это приводит к увеличению времени непосредственного ИМ также примерно на порядок по сравнению со случаем близких интенсивностей. В то же время, согласно [1], при таком соотношении интенсивностей уже можно с приемлемой точностью использовать асимптотические приближения, позволяющие рассчитывать суммарное время прерываний и исключать имитацию приоритетного потока из модели.

2. *Пакетирование заявок.* В задаче необходимо определять характеристики обслуживания не отдельных неприоритетных заявок, а их пакетов. Это обуславливает ещё более высокий коэффициент разномасштабности (уже между интенсивностью пакетов и интенсивностью приоритетных заявок), повышающий необходимое для ИМ время на три-четыре порядка (пакеты появляются дважды в сутки, а заявок приходит несколько тысяч). В то же время это обстоятельство позволяет использовать асимптотические приближения и исключить из моделируемых процессов вместе с приоритетными заявками – неприоритетные, рассматривая только поток пакетов, трудоёмкость и характеристики календарного времени выполнения которых определяются формулами из [2].

3. *Оптимизация.* Выбор оптимального момента T_1 для начала часа профилактики требует либо многократного повторения имитационного эксперимента (ИЭ) для перебора разных решений, либо использования градиентных методов, требующих проведения численного дифференцирования. Оба пути приводят к многократному увеличению времени ИМ (ещё на порядки). В то же время использова-

ние асимптотических приближений сводит задачу оптимизации к решению нелинейных алгебраических уравнений, которое выполняется на ПЭВМ за доли секунды. Далее будет показано, как это делается.

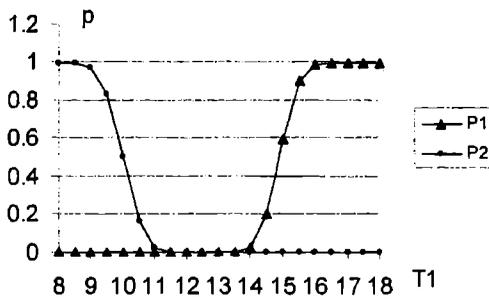
4. *Оценка малых вероятностей.* Из содержательного смысла задачи вытекает, что вероятности невыполнения в срок для обоих пакетов («второго» и «первого») должны быть установлены на уровне, не превышающем 10^{-4} , чтобы можно было гарантировать, что, скажем, в течение года не возникнет случаев просроченного выполнения заказов. Для оценки таких вероятностей необходимо выполнять моделирование любых суток работы СЦ много тысяч раз, что увеличивает при непосредственном ИМ затраты времени ещё на несколько порядков. В то же время асимптотические оценки вероятностей хвостов для распределения календарного времени обслуживания, найденные в [3], позволяют определять искомые малые вероятности тем точнее, чем они меньше.

Таким образом, для решения рассматриваемой задачи моделирования СЦ представляется целесообразным использовать асимптотические приближения, которыми описываются распределения календарного времени выполнения пакетов заявок в системах с абсолютными приоритетами [2], и те, которыми оцениваются вероятности хвостов распределения календарного времени [3].

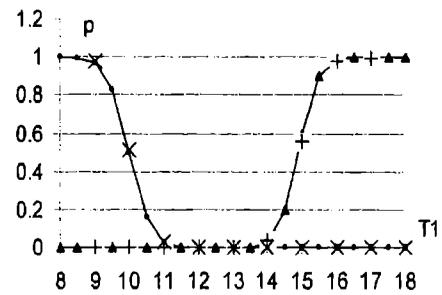
5. Использование асимптотических приближений и их аттестация

Предварительные расчёты

Начальный момент профилактического перерыва T_1 нужно выбрать так, чтобы обеспечить малую вероятность p_2 невыполнения «второго» пакета до момента T_1 . Срок выполнения «первого» пакета, накапливаемого от начала суток до конца перерыва, т.е.



а) расчёт по асимптотическим приближениям



б) сравнение с результатами моделирования

Рис. 2. Влияние момента T_1 начала профилактики на вероятности превышения сроков обработки

до момента $T_1 + 1$, завершается в конце суток. При оптимальном выборе параметра T_1 вероятности p_1 и p_2 невыполнения в срок первого и второго пакетов соответственно будут одинаковыми. Смещение T_1 в любую сторону от оптимума увеличивает время, выделяемое для обработки одного из пакетов, и уменьшает время, остающееся для обработки другого. Причём вместе с уменьшением времени обработки любого пакета увеличивается его объём, накапливаемый в противоположной половине суток.

Суммарный поток приоритетных заданий является пуассоновским потоком с интенсивностью $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 = 1/\bar{t}_1 + 1/\bar{t}_2 = 3 \text{ мин}^{-1}$ (как сумма пуассоновских потоков). Трудоемкость x заявок приоритетного суммарного потока имеет распределение вероятностей, представляющее собой смесь эрланговского и гиперэкспоненциального распределений (см. табл. 1), взятых с весами $p_1 = \lambda_1 / (\lambda_1 + \lambda_2) = 1/3$ и $p_2 = \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2) = 2/3$ соответственно. Отсюда нетрудно найти среднее время обслуживания приоритетной заявки (среднее смеси) $\bar{x} = p_1 \bar{x}_1 + p_2 \bar{x}_2 = 7/30$, его дисперсию $\sigma_x^2 = p_1(\sigma_{x1}^2 + \bar{x}_1^2) + p_2(\sigma_{x2}^2 + \bar{x}_2^2) - \bar{x}^2 = 0,09055$ и квадратичный коэффициент вариации $C_x^2 = \sigma_x^2 / \bar{x}^2 = 1,6633$.

Продолжая эти элементарные рассуждения и расчёты, нетрудно определить и прочие показатели, необходимые для использования асимптотических приближений. Так, приоритетный коэффициент загрузки двухпроцессорного сервера составляет $\rho = 0,35$. Неприоритетная нагрузка $\rho' = 0,4058$ (в среднем за сутки).

Асимптотический анализ функционирования СЦ как ЦСО

Часть первого пакета, накапливаемая за первые $T_0 = 8$ часов суток, имеет вероятностные характеристики суммарной трудоемкости $\zeta = \zeta_{1,1}$, определяемые в соответствии с формулами Т-пакетирования из [2] следующим образом:

$$\bar{\xi} = \bar{\xi}_{1,1} \sim \frac{T_0}{\bar{t}_1'} \cdot \bar{x}' = \frac{T_0}{\bar{t}_1'} \cdot \bar{x}' = (480/15) \cdot 5 = 160 \text{ (мин)},$$

$$D(\xi) = D(\xi_{1,1}) \sim T_0 \cdot \left(\frac{\sigma_x'^2}{\bar{t}_1'^2} + \frac{\sigma_x'^2 \cdot \bar{x}'^2}{\bar{t}_1'^3} \right) = T_0 \cdot \left(\frac{\sigma_x'^2}{\bar{t}_1'^2} + \frac{\sigma_x'^2 \cdot \bar{x}'^2}{\bar{t}_1'^3} \right) = 480 \cdot (25/6/15 + 225 \cdot 25/15^3) = 933,333 \text{ (мин}^2\text{)}.$$

За время $(T_1 + 1 - 8) = (T_1 - 7)$ ч, остающееся до конца перерыва (неотрицательное), поступает вторая часть первого пакета, трудоемкость которой $\zeta = \zeta_{1,2}$ имеет моменты, определяемые аналогично. Применяя асимптотические формулы к этой части пакета, находим:

$$\bar{\xi}_{1,2} \sim \frac{60 \cdot (T_1 - 7)}{\bar{t}_2'} \cdot \bar{x}' = 60 \cdot (T_1 - 7),$$

$$D(\xi_{1,2}) \sim 60 \cdot (T_1 - 7) \cdot \left(\frac{\sigma_x'^2}{\bar{t}_2'^2} + \frac{\sigma_x'^2 \cdot \bar{x}'^2}{\bar{t}_2'^3} \right) = 350(T_1 - 7).$$

Эти моменты зависят от начала часа профилактики T_1 .

Характеристики первого пакета в целом – средняя трудоемкость и дисперсия трудоемкости – определяются как суммы соответствующих характеристик независимых слагаемых $\zeta_{1,1}$ и $\zeta_{1,2}$:

$$\bar{\xi}_1 = \bar{\xi}_{1,1} + \bar{\xi}_{1,2} = 160 + 60 \cdot (T_1 - 7) = 60 \cdot (T_1 - 4,333), \quad (1)$$

$$D(\xi_1) = D(\xi_{1,1}) + D(\xi_{1,2}) \sim 933,33 + 350(T_1 - 7), \quad (2)$$

$$C_{\xi_1}^2 = D(\xi_1) / (\bar{\xi}_1)^2, \quad (3)$$

и, таким образом, оказываются выраженными через T_1 .

Выражения для характеристик трудоемкости ζ_2 второго пакета определяются аналогично с учётом того, что второй пакет накапливается на всём остающемся после перерыва интервале суток длительностью $60 \cdot (23 - T_1)$ мин, и имеют более простой вид, поскольку на этом интервале интенсивность заявок постоянна:

$$\bar{\xi}_2 \sim 60 \cdot (23 - T_1),$$

$$D(\xi_2) = 350 \cdot (23 - T_1), \quad (4)$$

$$C_{\xi_2}^2 = D(\xi_2) / (\bar{\xi}_2)^2.$$

Теперь выразим через найденные показатели (с помощью асимптотических формул из [2]) средние значения и коэффициенты вариации календарного времени y_1 и y_2 выполнения «первого» и «второго» пакетов заданий соответственно:

$$\bar{y}_1 \sim \frac{\bar{\xi}_1}{n(1-\rho)}, \quad (5)$$

$$C_{y_1}^2 \sim C_{\xi_1}^2 + \frac{n\rho}{(1-\rho)} \cdot (C_x^2 + C_x^2) \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{\xi}_1},$$

```

* Управляющая часть модели*

T1 EQU 12
HIPERFUNCTION (RN1>788.7),E2
G,(Exponential(1,0,0.634))/1,(Exponential(1,0,2.366))

*флаг: утро-день
GENERATE ,,,1
ALRM ADVANCE 480
SAVEVALUE FLAG,1
ADVANCE 960
SAVEVALUE FLAG,0
TRANSFER ,ALRM

*Утренний вход*
GENERATE (Exponential(1,0,15))
TEST E XSFLAG,0,TERM1
SAVEVALUE 1+,(Triangular(1,0,10,5))
TERM1 TERMINATE

*Дневной вход*
GENERATE (Exponential(1,0,5))
TEST E XSFLAG,1,TERM2
SAVEVALUE 1+,(Triangular(1,0,10,5))
TERM2 TERMINATE

*Управление пакетами
*с учётом предыдущих суток
*и незавершенной обработки предыдущих пакетов
GENERATE ,,,1
SAVEVALUE 1,(60*(23-T1)) ;Ср. накопл-е с пред.суток
PAK1 SPLIT X1,SERVER
SAVEVALUE 1,0
ADVANCE (60#T1) ;Ждём начала перерыва
TEST NE QSXS1,0,PING
SAVEVALUE OUT2+,1
PING ADVANCE (60) ;Ждём конца перерыва
PAK2 SPLIT X1,SERVER
SAVEVALUE 1,0
ADVANCE (60*(23-T1)) ;Ждём до конца суток
TEST NE QSXS1,0,PONG
SAVEVALUE OUT1+,1
PONG TRANSFER ,PAK1
    
```

```

*ОБСЛУЖИВАНИЕ ПАКЕТОВ СЕРВЕРОМ
SERVER QUEUE KSI ;Подсчет объема неприор. работы
TRANSFER BOTH,PRO1,PRO2
PRO1 SEIZE 1
ADVANCE 1
RELEASE 1
DEPART KSI
TRANSFER ,end_
PRO2 SEIZE 2
ADVANCE 1
RELEASE 2
DEPART KSI
TRANSFER ,end_

*ГЕНЕРАЦИЯ ПЕРЕРЫВОВ И ИХ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕРВЕРОМ
GENERATE (Exponential(1,0,1))
ASSIGN 1,GAMMA(1,0,0.25,2)
TRANSFER ,SERV
GENERATE (Exponential(1,0,0.5))
ASSIGN 1,(0.1#FN$HIPER)
SERV TRANSFER BOTH,PRO1,PRO2
PRO1 PREEMPT 1
ADVANCE P1
RETURN 1
TRANSFER ,end_
PRO2 PREEMPT 2
ADVANCE P1
RETURN 2
TRANSFER ,end_
end_ TERMINATE

*Таймер прогона на 1.0 суток
GENERATE 14400
TERMINATE 1
    
```

Рис. 3. Текст имитационной модели серверного центра на языке GPSS World

$$\bar{y}_2 \sim \frac{\bar{x}_2}{n(1-\rho)} \quad (6)$$

$$C_{y2}^2 \sim C_{\xi_2}^2 + \frac{n\rho}{(1-\rho)} \cdot (C_r^2 + C_r^2) \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{x}_2}$$

где характеристики сл. в. ξ_1 и ξ_2 определяются выражениями (1)-(4). Следовательно, формулы (5) и (6) выражают параметры асимптотического (нормального) распределения календарного времени выполнения пакетов через точку перерыва T_1 и число процессоров n .

Для того чтобы найти оптимальное значение T_1 , воспользуемся представлением вероятностей p_1 и p_2 как вероятностей хвостов соответствующих нормальных распределений [3], выражающим их через функцию Φ распределения нормированной и центрированной нормальной сл. в.:

$$p_1 \approx 1 - \Phi\left(\frac{T_0 - \bar{y}_1}{\sqrt{D(y_1)}}\right), p_2 \approx 1 - \Phi\left(\frac{T_0 - \bar{y}_2}{\sqrt{D(y_2)}}\right) \quad (7)$$

где в формуле для вероятности p_1 , соответствующей «первому» пакету, порог календарной длительности обслуживания (в минутах) $T_0 = 60 \cdot (23 - T_1)$, а в формуле для вероятности p_2 «второго» пакета (обслуживаемого до профилактического перерыва) $T_0 = 60 \cdot T_1$. Тогда условие равенства искомых вероятностей $p_1 = p_2$ может быть переписано в виде условия равенства соответствующих аргументов функции Φ :

$$\frac{60 \cdot (23 - T_1) - \bar{y}_1}{\sqrt{D(y_1)}} = \frac{60 \cdot T_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{D(y_2)}} \quad \text{или} \quad (8)$$

$$\frac{60 \cdot (23 - T_1) - \bar{y}_1}{\bar{y}_1 \cdot C_{y1}} = \frac{60 \cdot T_1 - \bar{y}_2}{\bar{y}_2 \cdot C_{y2}}$$

Из последнего уравнения после подстановки в него выражений (6)-(1) в обратном порядке, подстановки числовых значений параметров из табл. 1 и известных $\rho = 0,35$ и $n = 2$ численным методом легко определяется оптимальное решение $T_1 \approx 12,5$ (ч). При его округлении до значения $T_1 = 12,5$ имеем $p_1 = 3 \cdot 10^{-9}$, $p_2 = 3,5 \cdot 10^{-8}$.

На рис. 2 а) изображены графики зависимости вычисляемых оптимальных значений p_1 и p_2 от выбранного часа профилактики. Значения оценок p_1 и p_2 приведены в табл. 2. Здесь же приводятся соответствующие оценки \hat{p}_1 и \hat{p}_2 , полученные в проверочном имитационном эксперименте. На рис. 2 б) значения \hat{p}_1 и \hat{p}_2 , вычисленные с помощью имитационной модели, нанесены на график маркерами + и x (соответственно).

Обращает на себя внимание, насколько вероятность нарушения сроков обработки пакетов чувствительна к выбору момента T_1 . Заметим также, что при довольно высокой суммарной нагрузке $\rho + \rho' = 0,35 + 0,4058 = 0,7558$ удаётся, благодаря оптимальному выбору времени профилактического перерыва, выделить для него час времени и обеспечить малую вероятность превышения календарных сроков для выполнения пакетов заданий.

Имитационное моделирование СЦ, проводившееся для проверки точности получаемых по асимптотическим аппроксимациям решений, выполнено на языке GPSS World [12]. Результаты моделирования (см. рис. 2 б) убедительно подтверждают пригодность полученных приближённых соотношений для исследования рассматриваемой ЦС. Текст модели приведен на рис. 3. Время непосредственного имитационного моделирования со-

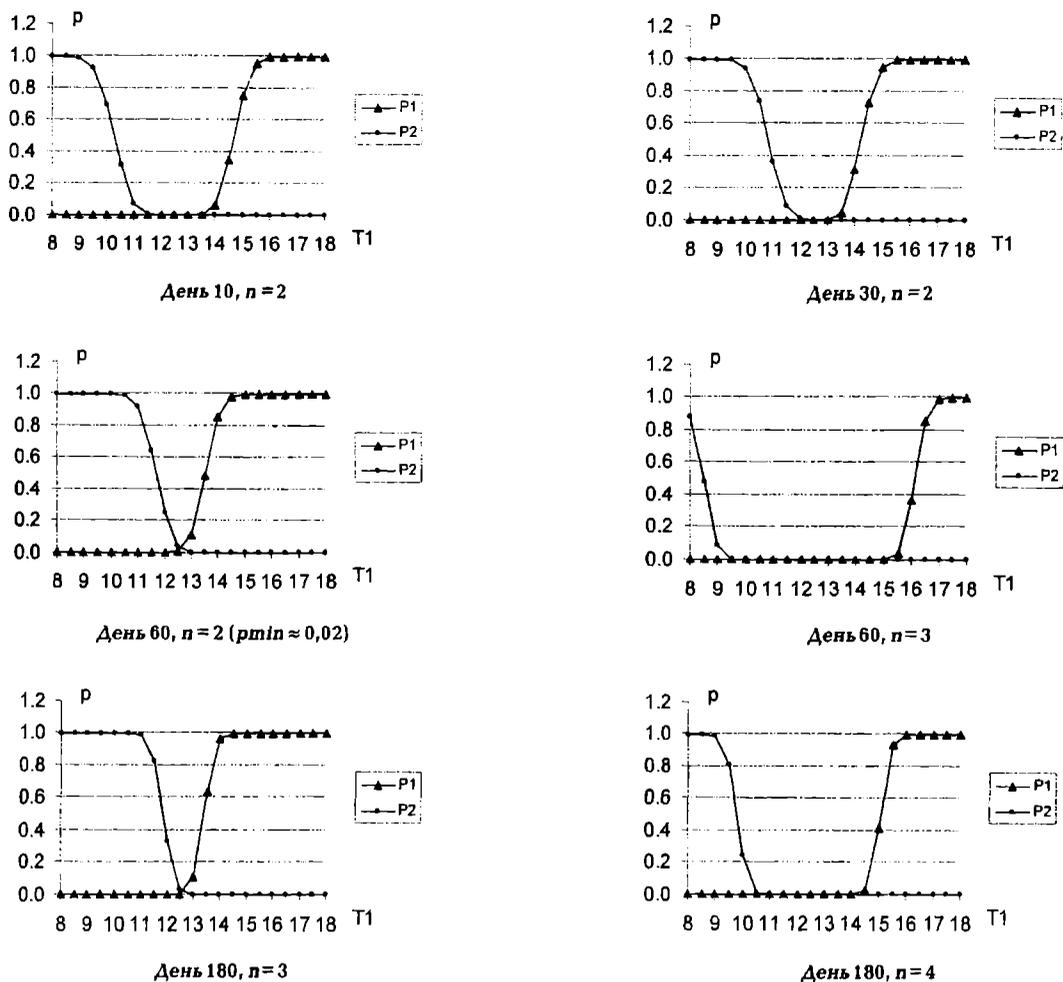


Рис. 4. Характеристики $p_1(T_1)$ и $p_2(T_1)$ для различных сценариев развития серверного центра

ставляло в разных прогонах от 5 до 20 минут (на вычисление оценок \hat{p}_1 и \hat{p}_2 при фиксированном T_1). При этом длина прогона модели соответствовала 100-кратному повторению суток работы ВС. На расчёт «эталонных» точек для графика (помеченных маркерами + и x на рис. 2 б) было потрачено около 2 часов компьютерного времени. Разумеется, 100-кратных испытаний далеко не достаточно для вычисления вероятностей, не превосходящих 0,001 (и тем более для их сравнения), поэтому 2-часовой имитационный эксперимент даёт значительно меньше информации о моделируемой системе, чем используемые асимптотические соотношения.

6. Использование аттестованных приближений для полного решения задачи

Решаемые далее вопросы из постановки задачи моделирования (п. 3), которые связаны с дрейфом параметров, предполагают анализ характеристик СЦ при увеличивающейся интенсивности потока неприоритетных заявок, и, следовательно, точность используемых для описания пакетов асимптотических формул может далее только увеличиваться. При увеличении числа процессоров снизится доля приоритетной нагрузки на сервер, что также повлечёт уточнение асимптотических аппроксимаций (см. [1]). Таким образом, используя соответствующее средство (например, программу Matlab) для численного решения уравнения (8) при различных прогнозируемых интенсивностях поступления неприоритетных заявок и различном числе

процессоров n , можно рассчитывать характеристики $p_1(T_1)$ и $p_2(T_1)$, необходимые для ответа на вопросы, связанные с дрейфом параметров системы. Для рассматриваемой задачи соответствующие решения уравнения (8) вычислялись средствами Ms Excel. На рис. 4 изображена часть графиков для характеристик $p_1(T_1)$ и $p_2(T_1)$, найденных для различных сценариев развития СЦ. Десятки таких графиков, полученных расчётным путём по асимптотическим формулам, потребовали затрат чистого компьютерного времени, составляющих в сумме долю секунды. При непосредственном ИМ на их вычисление ушло бы несколько суток с существенной потерей точности оценок малых вероятностей.

На рис. 4 показаны изменения характеристик $p_1(T_1)$ и $p_2(T_1)$ во времени, вызванные изменением прогнозируемой нагрузки. В первые дни постепенно сужается интервал времени суток, на котором можно начинать перерыв. На 60-й день оптимальная точка начала профилактики (12,5 ч) становится практически безальтернативной, притом вероятность нарушения сроков обработки возрастает до недопустимого уровня 0,02. Следовательно, до этого времени число процессоров в системе следует увеличить. Если к 60-му дню система будет обеспечена тремя процессорами, то, как показывают соответствующие кривые $p_1(T_1)$ и $p_2(T_1)$, в системе появятся солидные гарантии соблюдения сроков обслуживания (см. рис. 4, День 60, $n=3$). К 180-му дню, однако, трёх процессоров будет уже недостаточно. Как видно из последних двух диаграмм

рис. 4, к этому сроку следует нарастить число процессоров в системе до четырёх.

Непосредственно из рассчитанных зависимостей $p_1(T_1)$ и $p_2(T_1)$ видно, что рост нагрузки на систему не повлияет на положение оптимальной точки $T_1 \approx 12,5$ ч для начала перерыва. С учётом соображений о неточности исходных данных, используемых при моделировании, а также о возможных случайных флуктуациях интенсивности запросов, отклоняющих её от линейного прогноза, оптимальный выбор $T_1 \approx 12,5$ ч обеспечивает системе наибольшую «робастность», т. е. наиболее устойчивое сохранение уровня её эффективности. При другом выборе T_1 временно возможный недостаток ресурсов системы будет более ощутим.

7. Заключение

Предлагаемый комбинированный метод расчёта и оптимизации циклических систем обслуживания позволяет эффективно решать задачи, в которых присутствуют факторы (параметры) сложности, на порядки увеличивающие затраты компьютерного времени, необходимые для использования непосредственного имитационного моделирования. К таким параметрам сложности в циклических системах, как правило, относятся:

– *многократно различающиеся интенсивности потоков заявок*, в том числе интенсивности потоков заявок и потоков пакетов;

– *малые вероятности*: снижение до минимума вероятностей возможного превышения календарных сроков – типичное требование для циклических систем;

– *поисковые задачи*, включающие отыскание в факторном пространстве модели точек локальных экстремумов, нахождение граничных точек областей и связанное с этим решение неравенств или уравнений;

– *медленный дрейф параметров* (динамика развития) циклической системы, приводящий к необходимости многократного повторения экспериментов при различных значениях параметров системы и при различных сценариях её развития.

Поскольку «номинальные» затраты времени при имитационном моделировании составляют обычно от нескольких минут до нескольких часов непрерывной работы ПЭВМ средней мощности, то их увеличение (при наличии перечисленных выше параметров сложности) на порядки приводит, как правило, к отказу от решения подобных задач или к постановке этих задач в существенно ослабленной редакции [4].

Комбинированный аналитико-имитационный метод моделирования циклических систем, предлагаемый в данной статье, позволяет использовать параметры сложности как параметры предельного перехода, лежащего в основе асимптотических приближений, и сводить решение задачи моделирования или её соответствующей части к аналитической форме. Поскольку используемые при этом приближения являются приближениями второго порядка точности, т. е. учитывают два первых момента распределений исходных сл. в., то эти приближения достаточно быстро сходятся, и это делает возможным контроль их точности (ат-

тестацию приближений) с помощью непосредственного имитационного моделирования, которое выполняется при относительно небольших значениях параметров сложности.

При этом аттестованные приближения могут использоваться, в частности, в форме аналитических (алгебраических) выражений, включающих часть или все исходные параметры системы в буквенном виде. Такое аттестованное аналитическое описание моделируемой системы может использоваться на всей области факторного пространства, где параметры сложности имеют худшие (с точки зрения непосредственного ИМ) значения, чем использованные при аттестации. При этом точность аналитического описания может только увеличиваться, а достигаемый с его помощью относительный выигрыш в скорости решения задач измеряется порядками. Это позволяет рекомендовать предлагаемый комбинированный метод для широкого применения в задачах расчёта и оптимизации циклических систем.

Библиографический список

1. Задорожный В. Н. Анализ систем с приоритетами методом декомпозиции. – Омский научный вестник. – 2005. – № 3(32) – С.126-132.
2. Задорожный В. Н. Асимптотический анализ периодов повышенной нагрузки в приоритетных системах. – Омский научный вестник. – 2006. – № 3(36) – С. 117-124.
3. Задорожный В. Н. Распределение календарного времени обслуживания неприоритетных заявок в системах с абсолютными приоритетами. – Омский научный вестник. – 2006. – № 8 (44), – С. 117-124.
4. Байцер Б. Микроанализ производительности вычислительных систем. – М.: Радио и связь, 1983. – 360 с.
5. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – СПб.: КОРОНА принт; М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.
6. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ./Пер. И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
7. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. Пер. с англ. /Под ред. Б.С. Цыбакова. - М.: Мир, 1979. - 600 с.
8. Жожикашвили В.А., Вишневский В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 192 с.
9. Вишневский В.М., Пороцкий С.М. Моделирование ведомственных систем электронной почты // АИТ. 1996. № 12 – С. 48-57.
10. Задорожный В. Н., Ершов Е. С., Канева О. Н. Двухуровневые градиентные методы для оптимизации сетей с очередями. – Омский научный вестник. – 2006. – № 7(43) – С. 119-126.
11. Задорожный В. Н., Пуртов А. М. Анализ чувствительности в имитационном моделировании сетей массового обслуживания // Омский научный вестник, 2005. №4 (33) – С. 165-171.
12. Руководство пользователя по GPSS World. /Перевод с английского/. – Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2002. – 384 с.

ЗАДОРЖНЫЙ Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры АСОИУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 28.10.06 г.
© Задорожный В.Н.

Книжная полка

Российская наука: мечта светла: Сб. науч.-попул. ст. / Под ред. В.И. Конова. – М.: Октопус - Природа, 2006. – 392 с.

МОДЕЛИ СИНТЕЗА РАСПИСАНИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ОБСЛУЖИВАЮЩИХ СИСТЕМ

В статье предложен ряд моделей, на основе которых решены задачи синтеза оптимальных расписаний параллельных обслуживающих систем. Представленные модели синтеза расписаний статических и динамических обслуживающих систем ориентированы на практическое применение в календарном планировании и оперативном регулировании производственных процессов с дискретным характером. Все модели принадлежат классу линейных задач оптимизации с булевыми переменными либо редуцируются к нему. Оценена трудоемкость синтеза на их основе точных и приближенных к оптимальным по быстродействию расписаний.

Важнейшими приложениями теории расписаний (ТР) с момента ее возникновения являются методы анализа и синтеза расписаний работы обслуживающих систем (ОС). В настоящее время наиболее актуально ее применение в процедурах управления многопроцессорными вычислительными системами [1], а также в календарном планировании и регулировании производственных процессов [2]. Последнее направление является одним из важнейших в обеспечении роста эффективности материального производства.

1. Параллельные ОС

Изучение параллельных обслуживающих систем представляет самостоятельный интерес, поскольку таковыми являются все многопроцессорные установки. Приборы и заявки в общем случае могут быть неоднородными. Существует ряд подходов к синтезу расписаний массово параллельных систем [1, 3, 4]. Однако алгоритмы, учитывающие специфику конкретных предметных областей, например, предназначенные для составления расписаний вычислительных систем, не всегда эффективны при синтезе расписаний ОС другого профиля, в частности производственных объектов. Особенную актуальность они имеют при синтезе расписаний смешанных параллельно-последовательных дискретных ОС, каковым является большинство технологических объектов и процессов. Простейшим примером модели неоднородной одностадийной параллельной ОС является классическая задача о назначениях. Для синтеза расписаний параллельных (многоканальных) ОС в общем случае используются более сложные модели, описание и анализ которых составляют предмет нижеследующего раздела.

2. Оптимизация расписаний параллельных ОС

2.1. Формальные постановки задач синтеза расписаний параллельных статических ОС

Пусть имеется ряд требований (заявок), которые требуется распределить одновременно между параллельными приборами при известной (различной) производительности таким образом, чтобы минимизировать суммарное время обслуживания всех заявок (минимизировать суммарные затраты

либо максимизировать некоторый показатель качества обслуживания заявок). Формальная постановка при этом выглядит следующим образом:

$$Z_1 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J, \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I, \quad (3)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если заявка } j \text{ закрепляется за прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (4)$$

c_{ij} — оценка качества обслуживания j -й заявки i -м прибором, t_{ij} — время обслуживания j -й заявки i -м прибором.

Вместо критерия (1) часто используется

$$Z_2 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max. \quad (5)$$

Совместное использование (1) и (5) приводит к бикритериальной задаче.

Как видно из контекста, количество заявок и приборов в классическом варианте задачи о назначениях совпадает. Алгоритмы, используемые для решения (1) — (4), имеют полиномиальную сложность¹.

Значительно чаще встречается ситуация, при которой количество заявок больше количества параллельных приборов. В этом случае естественно полагать назначение, по крайней мере, на часть приборов более одной заявки. Модель (1) — (5) модифицируется следующим образом:

$$Z_2 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J, \quad (7)$$

$$\underline{b}_i \leq \sum_{j \in J} x_{ij} \leq \bar{b}_i, \quad \forall i \in I, \quad (8)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если заявка } j \text{ закрепляется за прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (9)$$

\underline{b}_i и \bar{b}_i — минимальное и максимальное количество заявок, назначаемых на i -й прибор.

$$Z_1 = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max. \quad (10)$$

Помимо критериев (6), (10) часто используется критерий максимального быстродействия вида:

$$Z_2 = \max_j \left\{ \sum_{i \in I} t_{ij} x_{ij} \right\} \rightarrow \min. \quad (11)$$

Единый подход к решению минимаксных задач предложен Ю. Гермейером [5]. Его применение к задаче (7) – (11) приводит к следующей эквивалентной модели.

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, J}, \quad (12)$$

$$\underline{b}_i \leq \sum_{j=1}^J x_{ij} \leq \bar{b}_i, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (13)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если заявка } j \text{ закрепляется за прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (14)$$

\underline{b}_i и \bar{b}_i – минимальное и максимальное количества заявок, назначаемых на i -й прибор,

$$\sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq \lambda, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (15)$$

$$Z_3 = \lambda \rightarrow \min. \quad (16)$$

Здесь λ имеет смысл минимальной длительности функционирования ОС.

Если $J > \sum_{i=1}^I \bar{b}_i$, т.е. количество заявок превышает суммарные возможности приборов, вводится дополнительный фиктивный прибор с характеристикой $\bar{b}_{i+1} = J - \sum_{i=1}^I \bar{b}_i$.

В отличие от рассмотренных выше задач (1) – (5) и (6) – (10) задача (12) – (16) является NP-трудной, поскольку ограничения (15) превращают задачу о назначениях в обобщенную задачу о ранце [6].

2.2. Оценка трудоемкости алгоритмов оптимизации расписаний параллельных статических ОС

При использовании современных алгоритмов оптимизации для решения задач линейного программирования, каковыми являются (1) – (5) и (6) – (10), не возникает затруднений с ростом числа переменных до 10^6 , что превосходит фактические потребности. Универсальные комбинаторные методы, предназначенные для решения задач класса (12) – (16), теоретически позволяют находить оптимальные решения при числе переменных порядка 10^3 . Фактически же для гарантированного за приемлемое время результата количество столбцов в модели не должно превосходить 1000. Для задач календарного производственного планирования в большинстве случаев этих параметров достаточно. При возникновении потребности в решении задачи, подобной (12) – (16), большей размерности целесообразно использовать декомпозиционные схемы [6].

2.3. Оптимизация расписаний динамических параллельных ОС

Естественным обобщением статической задачи (12) – (16) является учет динамики поступления в ОС заявок для обслуживания.

Пусть известно расписание поступления заявок в параллельную обслуживающую систему. В этом случае необходимо учитывать величины задержек

поступления заявок. Обозначим задержку поступления j -й заявки в ОС через τ_j^0 и упорядочим заявки по возрастанию τ_j^0 .

Тогда динамическая модель оптимизации расписаний параллельной ОС будет иметь вид:

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, J}, \quad (17)$$

$$\underline{b}_i \leq \sum_{j=1}^J x_{ij} \leq \bar{b}_i, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (18)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-я заявка назначается на } i\text{-й прибор;} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (19)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если имеет место задержка} \\ & \text{заявки } j \text{ перед прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (20)$$

$$x_{ij} \geq y_{ij}, \quad \forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}, \quad (21)$$

$$\tau_{ij} = \tau_j^0 - \sum_{i=1}^{i-1} (\tau_{ii} y_{ij} + t_{ii}) x_{ii}, \quad \forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}, \quad (22)$$

$$\tau_{ij} y_{ij} \geq 0, \quad \forall j = \overline{1, J}, \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^J \tau_{ij} y_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq \lambda, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (24)$$

$$Z_3 = \lambda \rightarrow \min. \quad (25)$$

Здесь τ_{ij} имеет смысл фактической задержки начала выполнения j -й заявки i -м прибором после завершения обслуживания им предшествующей заявки. Переменные y_{ij} вводятся для того, чтобы избежать появления отрицательных задержек τ_{ij} .

Критерий (6) видоизменится следующим образом:

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} (\tau_{ij} + t_{ij}) x_{ij} \rightarrow \min.$$

Анализ модели удобно проводить по этапам.

На первом этапе рассмотрим подробнее (22) – (23):

$$\tau_{ij} y_{ij} = \left(\tau_j^0 - \sum_{i=1}^{i-1} \tau_{ii} x_{ii} y_{ij} - \sum_{i=1}^{i-1} t_{ii} x_{ii} \right) y_{ij} \geq 0, \quad (26)$$

$$\forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}.$$

Вполне очевидна сложность полученной системы ограничений. Временно ослабим часть логических ограничений, для чего снимем ограничения (21), (23) и заменим (20) на $y_{ij} = 1$. Тогда ослабленная задача запишется следующим образом.

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, J}, \quad (27)$$

$$\underline{b}_i \leq \sum_{j=1}^J x_{ij} \leq \bar{b}_i, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (28)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если заявка } j \text{ закрепляется за прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (29)$$

$$\tau_{ij} = \tau_j^0 - \sum_{i=1}^{i-1} (\tau_{ii} + t_{ii}) x_{ii}, \quad \forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}, \quad (30)$$

$$\sum_{j=1}^J \tau_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq \lambda, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (31)$$

$$Z_3 = \lambda \rightarrow \min. \quad (32)$$

На втором этапе подробно рассмотрим ключевые условия для учета фактических задержек исполнения заявок приборами (30)². Из (30) следует:

Таблица 1

Таблица истинности $f_1(x_{11}, x_{12})$

x_{11}	x_{12}	f_1
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Таблица 2

Таблица истинности $f_2(x_{11}, x_{12}, x_{13})$

x_{11}	x_{12}	x_{13}	f_2
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

$$\tau_{11} = \tau_1^0,$$

$$\tau_{12} = \tau_2^0 - \tau_{11}x_{11} - t_{11} = \tau_2^0 - \tau_1^0x_{11} - t_{11}x_{11} = \tau_2^0 - (\tau_1^0 + t_{11})x_{11}, \quad (33)$$

$$\tau_{13} = \tau_3^0 - [(\tau_{11}x_{11} + \tau_{12}x_{12}) + (t_{11}x_{11} + t_{12}x_{12})].$$

Преобразования, аналогичные (33), приводят к результату:

$$\tau_{13} = \tau_3^0 - [(\tau_1^0 + t_{11})(x_{11} - x_{11}x_{12}) + (\tau_2^0 + t_{12})x_{12}]. \quad (34)$$

Совершенно аналогично (34) получаем:

$$\tau_{14} = \tau_4^0 - [(\tau_{11} + t_{11})x_{11} + (\tau_{12} + t_{12})x_{12} + (\tau_{13} + t_{13})x_{13}],$$

или

$$\tau_{14} = \tau_4^0 - [(\tau_1^0 + t_{11})(x_{11} - x_{11}x_{12} - x_{11}x_{13} + x_{11}x_{12}x_{13}) + (\tau_2^0 + t_{12})(x_{12} - x_{12}x_{13}) + (\tau_3^0 + t_{13})x_{13}]. \quad (35)$$

Вспользуемся соотношением: $f_1(x_{11}, x_{12}) =$

$$= x_{11}(1 - x_{12}) = x_{11}\overline{x_{12}}. \text{ Рассмотрим выражение } x_{11} -$$

$-x_{11}x_{12} - x_{11}x_{13} + x_{11}x_{12}x_{13}$ в (35) как булеву функцию:

$$f_2(x_{11}, x_{12}, x_{13}) = x_{11}(1 - x_{12} - x_{12}x_{13}) =$$

$$= x_{11}(\overline{x_{12}} - x_{13}(-x_{12} + 1)) = x_{11}(\overline{x_{12}} - x_{13}\overline{x_{12}}) = x_{11}\overline{x_{12}x_{13}}.$$

Таблицы истинности $f_1(x_{11}, x_{12})$ и $f_2(x_{11}, x_{12}, x_{13})$ приведены соответственно как табл. 1 и 2.

Табл. 2 построена в соответствии с выражением $f_2(x_{11}, x_{12}, x_{13}) = x_{11} - x_{11}x_{12} - x_{11}x_{13} + x_{11}x_{12}x_{13}$. Легко убедиться в истинности $f_2(x_{11}, x_{12}, x_{13}) = x_{11}\overline{x_{12}x_{13}}$, из чего следует:

$$\tau_{14} = \tau_4^0 - [(\tau_1^0 + t_{11})(x_{11}\overline{x_{12}x_{13}}) + (\tau_2^0 + t_{12})(x_{12}\overline{x_{13}}) + (\tau_3^0 + t_{13})x_{13}]. \quad (36)$$

Индукцией по размерности получаем:

$$\tau_{ij} = \tau_j^0 - [(\tau_1^0 + t_{i1}) (x_{i1} \prod_{l=2}^{j-1} \overline{x_{il}}) + (\tau_2^0 + t_{i2}) (x_{i2} \prod_{l=3}^{j-1} \overline{x_{il}}) +$$

$$\dots + (\tau_{j-1}^0 + t_{i,j-1})x_{i,j-1}], \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad \forall j = \overline{1, J},$$

или

$$\tau_{ij} = \tau_j^0 - \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}}, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad \forall j = \overline{1, J}. \quad (37)$$

Таким образом, получена задача, сложность которой в представлении (17) – (25) не адекватна возможностям современных алгоритмов оптимизации.

Вместе с тем можно предложить различные способы ее редукции.

Суть первого заслуживающего внимания подхода состоит в приведении булевых функций типа

$x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}}$ к линейному виду посредством использования вспомогательных переменных, а также системы дополнительных неравенств. Близкая по смыслу процедура представлена, например, в [7].

Обозначим $f_{ijk}(x_{ik}, x_{k+1}, \dots, x_{j-1}) = x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}}, \quad \forall i = \overline{1, I},$

$\forall j = \overline{1, J}$ и введем в рассмотрение переменные u_{jk} , значения которых истинны только тогда, когда истинны значения f_{ijk} . Примеры таких пар: u_{111} и

$$f_{111}(x_{11}, x_{12}) = x_{11}\overline{x_{12}}, \quad u_{211} \text{ и } f_{211}(x_{12}, x_{13}) = x_{12}\overline{x_{13}}, \quad u_{212} \text{ и}$$

$f_{212}(x_{11}, x_{12}, x_{13}) = x_{11}\overline{x_{12}x_{13}}$. Соответствующие условия истинности можно задать посредством системы ограничений:

$$0 \leq x_{i1} + \overline{x_{i2}} - 2u_{111} \leq 1,$$

$$0 \leq x_{12} + \overline{x_{13}} - 2u_{211} \leq 1,$$

$$0 \leq x_{i1} + \overline{x_{i2}} + \overline{x_{i3}} - 3u_{212} \leq 2,$$

$$0 \leq x_{ik} + \sum_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}} - Ku_{jk} \leq K - 1, \text{ где } K = j - 1 - k.$$

Возвращаясь к исходным обозначениям ($\overline{x_{ij}} = 1 - x_{ij}$), получим:

$$-1 \leq x_{11} - x_{12} - 2u_{111} \leq 0,$$

$$-1 \leq x_{12} - x_{13} - 2u_{211} \leq 0,$$

$$-2 \leq x_{i1} - x_{i2} - x_{i3} - 3u_{212} \leq 0,$$

$$-K + 1 \leq x_{ik} - \sum_{l=k+1}^{j-1} x_{il} - Ku_{jk} \leq 0. \quad (38)$$

Условия (37) при этом запишутся следующим образом:

$$\tau_{ij} = \tau_j^0 \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) u_{ijk}, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad \forall j = \overline{1, J}. \quad (39)$$

Возвращаясь к задаче (27) – (32) и применяя данный подход, получим:

$$\sum_{j=1}^J \tau_j x_{ij} = \sum_{j=1}^J [\tau_j^0 - \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}}] x_{ij} =$$

$$= \sum_{j=1}^J \tau_j^0 x_{ij} - \sum_{j=1}^J x_{ij} \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}} =$$

$$= \sum_{j=1}^J \tau_j^0 x_{ij} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) x_{ij} x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} \overline{x_{il}}.$$

Расширим и дополним введенные выше булевы функции f_{ijk} и соответствующие им переменные u_{ijk} .

$$f_{ijk}(x_{ik}, x_{ik+1}, \dots, x_{ij}) = x_{ij} x_{ik} \prod_{l=k+1}^{j-1} x_{il}, \quad \forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}. \quad (40)$$

Тогда вместо (38) получим:

$$-K + 2 \leq x_{ij} + x_{ik} - \sum_{l=k+1}^{j-1} x_{il} - K u_{ijk} \leq 1, \quad \forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}, \forall k = \overline{1, J}, \quad (41)$$

где $K = j - k$. Неравенства (31) примут вид:

$$\sum_{j=1}^I \tau_j^0 x_{ij} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) u_{ijk} + \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq \lambda, \quad \forall i = \overline{1, I}. \quad (42)$$

Окончательно задача синтеза оптимального по быстродействию расписания (27) – (32) запишется следующим образом:

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, J}, \quad (43)$$

$$\underline{b}_i \leq \sum_{j=1}^J x_{ij} \leq \bar{b}_i, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (44)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если заявка } j \text{ закрепляется за прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (45)$$

$$u_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{при истинности выражения (2.40);} \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (46)$$

$$-K + 2 \leq x_{ij} + x_{ik} - \sum_{l=k+1}^{j-1} x_{il} - K u_{ijk} \leq 1, \quad \forall i = \overline{1, I}, \forall j = \overline{1, J}, \forall k = \overline{1, J}, K = j - k, \quad (47)$$

$$\sum_{j=1}^J (\tau_j^0 + t_{ij}) x_{ij} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^{j-1} (\tau_k^0 + t_{ik}) u_{ijk} \leq \lambda, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (48)$$

$$Z = \lambda \rightarrow \min. \quad (49)$$

Таким образом, задачи (27) – (32) и совершенно аналогично (17) – (25) сводятся к задачам линейного программирования с булевыми переменными.

Несмотря на формальную разрешимость редуцированной относительно (17) – (25) задачи (43) – (49), предложенный выше подход нельзя считать абсолютно удачным, поскольку число булевых переменных в редуцированной задаче, как и число ограничений, увеличивается в J раз по сравнению с (17) – (25).

Второй возможный подход заключается в максимальном упрощении условий задачи. Его суть можно пояснить, модифицировав исходную задачу следующим образом.

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, J}, \quad (50)$$

$$\underline{b}_i \leq \sum_{j=1}^J x_{ij} \leq \bar{b}_i, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (51)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если заявка } j \text{ закрепляется за прибором } i; \\ 0 & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (52)$$

$$\sum_{j=1}^J \tau_j^0 x_{ij} \leq \beta, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (53)$$

$$\sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq \lambda, \quad \forall i = \overline{1, I}, \quad (54)$$

$$Z_1 = \lambda \rightarrow \min, \quad Z_2 = \beta \rightarrow \min. \quad (55)$$

Из контекста понятно, что второй подход к распределению заявок между приборами предполагает компромиссное решение по «чистому» быстродействию ОС без учета задержек и по равномерности распределения задержек между приборами.

Данную идею также можно критиковать, однако модель (50) – (55) обладает неоспоримым преимуществом в размерности перед рассмотренной выше точной редуцированной моделью (17) – (25), а следовательно, по крайней мере на текущий момент времени имеет большую практическую ценность. Численные эксперименты с обеими моделями подтверждают эффективность второго подхода, т.к. при использовании (50) – (55) наблюдается падение быстродействия синтезируемых расписаний ОС не более чем на 10% от оптимального уровня, что для рассматриваемых объектов вполне приемлемо.

Примечания

¹ Следствие свойства абсолютной унимодулярности матрицы системы ограничений.

² Выражения (2.30), как и (2.22), определяют рекурсивные функции относительно переменных исходной задачи.

Библиографический список

1. Иванов Л.Н., Корчагин И.Я. Проблемно-ориентированная концепция построения структур массово параллельных вычислительных систем // Автометрия. – 2002. – № 5. – С. 68 – 75.
2. Мезенцев Ю.А. О применимости метода ветвей и границ для решения задач календарного производственного планирования // Вестник Хакасского государственного университета. – 2001. – Вып. 4. – Серия 1. – С. 97 – 102.
3. Коффман Э.Г. и др. Теория расписаний и вычислительные машины. – М.: Наука, 1984. – 336 с.
4. Корчагин И.Я. Использование метода аналогий в задачах распределения ресурсов и маршрутизации сообщений в массово параллельных вычислительных системах // Вестник Хакасского государственного университета. – 2003. – Вып. 5. – Серия 1. – С. 53 – 58.
5. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 368 с.
6. Сергиенко И.В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. – Киев: Наукова думка, 1985. – 382 с.
7. Муртаф Б. Современное линейное программирование. – М.: Мир, 1984. – 224 с.

ИВАНОВ Лев Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры экономической информатики.
МЕЗЕНЦЕВ Юрий Анатольевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической информатики.

Дата поступления статьи в редакцию: 28.10.06 г.
 © Иванов Л.Н., Мезенцев Ю.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИОННЫМ РЕСУРСАМ ОРГАНИЗАЦИИ

В статье исследуется информационный комплекс (ИК), в частности, численные характеристики процессов, происходящих в разных областях обработки и хранения информации, подробно анализируются различные части и подсистемы информационного комплекса. Представлена методика максимально полного анализа ИК.

К предмету представленного исследования относится только "компьютерная информация", т.е. только та, которая хранится и обрабатывается с помощью ЭВМ организации. Здесь и далее под ЭВМ понимаются персональные компьютеры сотрудников и связанные с ними структурой некоторой автоматизированной системы (АС) серверы и активное сетевое оборудование. В расчет не берутся те ЭВМ, которые установлены вне рамок АС и тем самым лишены возможности оказывать существенное влияние на информацию АС, т.е. не учитываются процессорные модули телефонных станций, сотовые телефоны и т.д.

В результате исследования информационного комплекса (ИК) должны быть получены численные характеристики процессов, происходящих в разных областях обработки и хранения информации, но при этом характеристики должны быть согласованы так, чтобы было возможно совместить их в рамках одной математической модели НСД [1].

После нахождения характеристик в разных частях ИК информация объединяется по следующему алгоритму.

Пусть взвешенный по дугам граф G_1 определяет характеристики параметров ИК и взаимосвязи в одной части ИК. Граф G_1 можно задать двумя множествами U_1 и V_1 , задающие множество вершин, множество дуг и их вес соответственно. Далее положим, что имеется граф G_2 , задаваемый аналогичным образом множествами U_2 и V_2 , который отражает другую часть ИК. Введем операцию объединения указанных графов. Для этого определим множество:

$$\psi = U_1 \cap U_2, \quad (1)$$

где \cap — оператор выполнения операции пересечения множеств.

Тогда операцию объединения графов G_1 и G_2 в "суммарный" граф G^* определяется следующим выражением:

$$G^* = \{U^*, V^*\};$$

$$U^* = U_1 \cup U_2;$$

$$V^* = V_1 \cup V_2;$$

$$\begin{cases} v_i^* = v_i^1 + v_i^2, & \text{если } u_i^1, u_i^2 \in \psi, \\ v_i^* = v_i^1, & \text{если } u_i^2 \notin \psi, \\ v_i^* = v_i^2, & \text{если } u_i^1 \notin \psi, \end{cases} \quad (2)$$

где v_i^1, v_i^2 - веса дуг графов.

Приведенная операция объединения графов универсальна в смысле применимости и к процедуре получения графа взаимосвязей параметров внутри рассматриваемых частей ИК, т.е. для получения общего графа по всем подсистемам ИК можно последовательно провести операцию суммирования графов отдельных подмножеств параметров ИК. Этот подход упрощает структурный и параметрический анализ ИК и сводит его к выявлению в каждой подсистеме параметров, их характеристик и взаимосвязей, затем нахождению взаимосвязей между подсистемами и получению результирующего графа объединением частных графов по подсистемам. Можно показать, что порядок объединения графов не отражается на результате, поскольку приведенная операция является ассоциативной и коммутативной.

Остановимся подробнее на анализе различных частей и подсистем ИК.

Для лицензионного коммерческого ПО, которое в большинстве случаев используется в практических целях, получить доступ к его исходным текстам не представляется возможным. Использовать средства обратного инжинеринга также запрещается законом об авторском праве и смежных правах, что не позволяет провести максимально полный анализ используемого ПО и выявить все подсистемы и их параметры. В таких условиях единственным практически пригодным способом проведения анализа ПО является выявление его уязвимостей сканерами уязвимостей [2, 3], т.е. программами, которые детерминировано воздействуют на тестируемую систему и по характеристикам ответной реакции делают предположения о том или ином ее свойстве. По выявленной уязвимости можно установить следующие данные:

1. Подсистему, содержащую уязвимость;
2. Параметры, которые подвергаются изменению;
3. Связи с другими подсистемами.

Для более полного выявления потенциальных подсистем в ИК рассмотрим структуру АС.

Обычно механизмы, позволяющие манипулировать информацией в АС, состоят из нескольких подсистем, куда входят подсистемы разных уровней:

- Аппаратный уровень. Определяет алгоритмы, реализованные в ПЗУ устройств, составляющих ЭВМ.

- Уровень драйверов. Учитывает алгоритмы, входящие в состав драйверов разного уровня.

- Уровень операционной системы.

- Уровень средств обработки и хранения данных.

- Уровень представления пользователю/взаимодействия с пользователем (собственно приложения пользователя).

Для каждого из представленных уровней обработки данных характерны свои особенности в реализации и функционировании, поэтому необходимо разбить сложный комплекс ПО, установленного на ЭВМ, на части: закрытую (ЗПО) и открытую (ОПО). Для этих частей можно определить наиболее эффективную, с точки зрения трудоемкости – качества, методику нахождения подсистем и параметров в них.

Определим принадлежность к ЗПО и к ОПО. Критерием принадлежности будет являться наличие исходных текстов ПО и необходимого описания его работы и структуры.

Рассмотрим в таком ключе вышеприведенные уровни АС. В большинстве случаев аппаратный уровень представляется в законченном виде, который не позволяет произвести настройку состава ПО, поэтому аппаратный уровень однозначно принадлежит классу ЗПО.

ПО уровня драйверов отличается от ПО аппаратного уровня только возможностью проводить декомпиляцию и восстанавливать алгоритмы работы. Такая возможность принципиально позволяет проводить анализ исходных текстов, но в связи с тем, что в результате декомпиляции тексты получаются в виде символического представления машинных команд (очень близко к языку ASM), то провести их полный анализ за время, необходимое для принятия адекватных мер, оказывается невозможным. На основе вышесказанного будем предполагать, что уровень драйверов также принадлежит к ЗПО.

Уровень операционной системы (ОС) характеризуется большей документированностью, но практически повсеместно явно ограничена возможность проводить исследования фактически используемых алгоритмов и логики работы ПО данного уровня. Большинство из известных широко эксплуатирующихся систем носит коммерческий характер и не позволяет провести исследование исходных кодов ПО. Исключения составляют операционные системы семейства Linux и BSD, но из-за своей малой распространенности, связанной с высокими расходами на установку и сопровождение, они не влияют на общую тенденцию распространенности ОС в отечественных организациях. При этом в последнее время ситуация стала меняться в сторону увеличения числа не только серверных установок этих ОС, но и платформ, используемых в качестве ОС для настольных рабочих систем. По данным исследований ведущих аналитических агентств, доля компьютеров под управлением ОС семейства Windows составляет около 79,6%, а всех

компьютеров под управлением платных ОС – более 86%. Таким образом, в большинстве своем ОС можно отнести к классу ЗПО.

Уровень средств обработки и хранения данных состоит из ПО, которое фактически является частью АС, т.к. на него возложены задачи по управлению структурами данных АС. К этому уровню относятся СУБД и серверы приложений. Отличительной особенностью данного ПО является его большая разнообразность по сравнению с уровнем ОС и более резко выраженная специализация, которая проявляется в том, что в различных областях информационных технологий предпочтение отдается различным решениям. Например, наиболее распространенным веб-сервером является Apache, который абсолютно бесплатен и доступен в виде исходных текстов. С другой стороны, в качестве СУБД почти везде применяется ПО трех производителей: Microsoft, Oracle и IBM. Стоит отметить, что речь идет о серверах, поддерживающих реляционные базы данных и обеспечивающих основные требования к СУБД со стороны многопользовательских АС. Все перечисленные СУБД являются платными и поставляются без исходных текстов. Подытоживая сказанное, нужно отметить, что рассматриваемый уровень ПО не имеет четкой принадлежности к ЗПО либо к ОПО, поэтому в отношении него будем применять наиболее простой и функциональный способ исследования.

Уровень представления пользователю или взаимодействию с пользователем характеризуется особенно полной документированностью как применяемых алгоритмов, так и структур используемых данных. Здесь наряду с описанием используемых структур почти всегда можно дополнить знания о механизмах его функционирования средствами уровня СУБД или ОС. Еще одним отличием является то, что даже в случае отсутствия исходных текстов всегда существует возможность внести изменения в его конфигурацию для адаптации под нужды пользователей. Часто ПО данного уровня строится по модульному принципу, т.е. есть отдельные компоненты, которые связываются воедино специальными интерактивными средствами, что упрощает исследование этого ПО. В большинстве случаев фирмы-разработчики предоставляют специальный сервис по обучению настройке и адаптации/изменению своих программных продуктов, тем самым раскрывая внутреннюю структуру. Таким образом, несомненно, ПО данного уровня относится к классу ОПО.

После разделения ПО на классы стоит привести обобщенную схему исследования ИК, которая приведена на рисунке 1.

Общая идея разбиения ИК на подсистемы отражена в рисунке 1 и состоит из двух этапов: во-первых, находим с помощью различных анализаторов уязвимостей все имеющиеся и возможные уязвимости и, во-вторых, производим анализ исходных кодов используемого ПО.

Следующим шагом к построению разбиения ИК на подсистемы и параметры является построение графов параметров для каждой ЭВМ, затем они объединяются с графами АС по выражению (2). В итоге получаем единый граф параметров и их характеристик для исследуемого ИК.

Остановимся подробнее на методе построения модели информационных подсистем ЭВМ по выявленным уязвимостям ПО, установленного на ней.

Первоначально отметим, что в практических целях проводить бесконечно мелкую детализацию



Рис. 1. Структура методики исследования ИК

подсистем нерационально, т.к. это вызывает необоснованный рост количества переменных математической модели, поэтому с точки зрения практической пригодности нужно принимать во внимание только значимые подсистемы, т.е. существенно влияющие на возможности проведения НСД в ИК. Такими подсистемами, как правило, принято считать подсистемы, позволяющие выполнить произвольные действия с ресурсами ЭВМ, с которыми эти подсистемы работают. Такому требованию будут отвечать все уязвимости ПО, имеющие критический рейтинг в оценках сканеров уязвимостей, т.е. наличие критической уязвимости в ЗПО прямо указывает на необходимость выделения данной уязвимости в отдельную подсистему с дальнейшим анализом ее параметров и их характеристик.

Для лучшего понимания структуры подсистем ЭВМ приведем их классификацию по принадлежности той или иной группе ПО.

1. Подсистемы ОС: подсистема «авторизации пользователя» (выполнение процедур авторизации и аутентификации при обращении пользователя); подсистема «диспетчер прав» (определение принадлежности пользователя группе и его персональных прав); подсистема «контроля доступа» (привязка ресурсов к группам - мандатный режим разделения полномочий, определение персональных пользовательских прав доступа – дискредитационный доступ); подсистема «работы с ресурсами» (файловая система, API доступа к сетевым протоколам и т.д.); подсистема «взаимодействия с пользователем» (интерфейс ОС с пользователем).

2. Пользовательские подсистемы: подсистема «входа и аутентификации» в АС; подсистема «взаимодействие с СУБД и серверами приложений» (клиентские части серверов СУБД и т.д.); подсистема «взаимодействия с ресурсами АС» (процедуры подсоединения к БД или серверу приложений); подсистема «работы с ресурсами»; подсистема «взаимодействия с пользователем» (распределение данных в памяти, обработка пользовательских событий и т.д.).

3. Подсистемы сервера (для ЭВМ, используемых в качестве серверов): подсистема «хранения данных»; подсистема «работы с ресурсами ОС»; подсистема «контроля доступа пользователей»; подсистема «информационного обмена с клиентами».

Таким образом, для каждой ЭВМ можно составить универсальную структуру графа параметров, которая отражает приведенные подсистемы и их связи в рамках одной ЭВМ.

Граф параметров ЭВМ содержит отдельные подмножества, которые могут повторяться в итоговом графе ЭВМ. Например, если на ЭВМ установлено несколько вариантов ПО для связи с различными серверами СУБД, то и подсистем класса «Обмен с сервером» будет несколько.

Для нахождения параметров и их характеристик в пользовательских подсистемах ИК (ОПО) будем использовать подход, состоящий из определения характеристик подсистем, основанный на последовательной детализации свойств АС методом выявления атомарной информации и анализа механизмов работы с ней. В данной методике первоисточником является первичная атомарная информация, с которой работает организация, а также ее комплексы, получаемые в результате функционирования организации.

Важным свойством первичной атомарной информации является способ ее хранения и обработки, поскольку он определяет искомые характеристики большинства параметров безопасности.

Описание уровня атомарной информации получаем, строя реляционную модель распределения информации в организации.

Основная задача реляционной модели (РМ) ИК состоит в описании функциональных возможностей рабочего места (ЭВМ) каждого пользователя по отношению к информации АС. Поскольку состояние ИК (по подсистемам) определяется взаимодействием человека (сотрудников) с ЭВМ на рабочих местах, то, описав характеристики рабочих мест, можно говорить о полном описании ИК на пользовательском уровне (взаимодействующим с человеком).

Для построения РМ ИК необходимо выполнить анализ ИК, куда входят:

1. Идентификация информационных ресурсов (ИР).

1.1. Идентификация работ (действий) в организации.

Выявление действий, техпроцессов; этапов техпроцесса, направленных на создание продукта организации.

1.2. Идентификация информации.

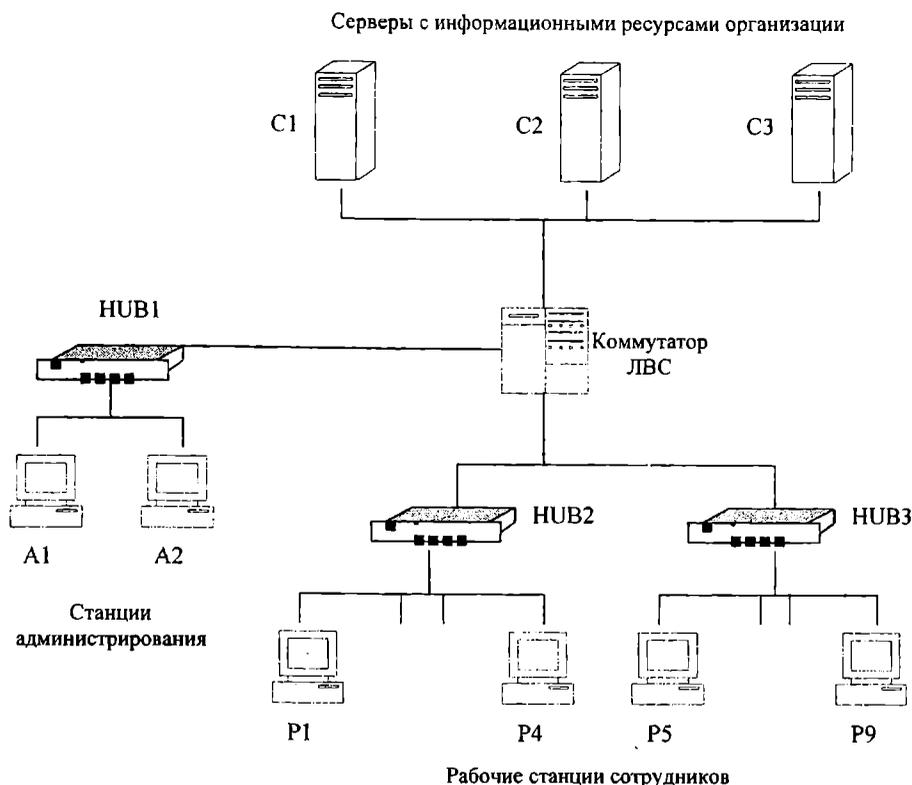


Рис. 2. Структура экспериментальной сети

Выявление первичной информации, с которой работает организация; определение атомов первичной информации; выявление первичной информации в электронном виде; выделение неразрывных наборов атомов первичной информации в электронном виде — будем называть их информационными документами (ИД); присвоение уровней важности каждому ИД в разрезе всех видов НСД; определение наборов ИД, с которыми работают сотрудники для выполнения некоторого действия; определение наборов ИД, используемых для производства продукта.

2. Идентификация подсистем, взаимодействующих с каждым ИР.

2.1. Идентификация основных подсистем.

Нахождение всех ЭВМ, участвующих в работе; выявление подсистем на каждом этапе техпроцесса.

2.2. Идентификация вспомогательных подсистем.

После детализации информации в РМ ИК следующим этапом анализа ОПО является анализ исходных кодов прикладного ПО, который выполняется на основе следующих базовых принципов.

Производится анализ логики взаимодействия модулей системного и прикладного ПО при возникновении событий безопасности. Рассматриваются последствия событий безопасности в этих модулях, процесс прохождения запросов и ответов на них. Отдельные программные модули группируются таким образом, чтобы исключить пересечение функций между ними.

Можно говорить, что такая структура взаимодействия распространяется как на ЭВМ, так и на автоматизированные системы и на ОС. Таким образом, все функции и процедуры исследуемого программного обеспечения первоначально нужно разделить на непересекающиеся подмножества, такие, что выполняемые ими действия и алгоритмы действий уникальны для каждого подмножества. Для этого вводим два критерия, первый — разделяющий, второй — группирующий. Подмножества функций,

отвечающие двум критериям одновременно, будут образовывать искомое подмножество программных модулей. Внутри такого подмножества простыми методами возможно найти потенциально уязвимые места, которые можно проверить на потенциально содержащиеся в них уязвимости, а достаточно сделать предположение о вероятности уязвимости по накопленной статистике о вероятности их присутствия.

Статистики появления опасных языковых конструкций вполне достаточно для оценки характеристик параметров внутри подмножеств модулей/подсистем. Важным моментом является то, что подсистемы, пересекающиеся в узлах (ЭВМ), образуют дополнительные связи, которые необходимо также учитывать.

Описанная методика была апробирована на отдельной локальной вычислительной сети, конфигурация которой приведена на рисунке 2.

Как видно из рисунка, сеть имеет сегментированный вид, который позволяет предотвратить некоторые виды угроз, такие, например, как перехват пароля пользователя рабочими станциями P1-P9 при работе с серверами C1-C3 в сессии Telnet со станций администрирования A1 и A2.

Приведенная конфигурация типична для большинства организаций и достаточно полно отражает действительную ситуацию. Характерным является и набор информационных ресурсов организации, который отражает производственные процессы в рамках организации.

Уточненная информация по характеристикам программного обеспечения серверов и рабочих станций приведена в таблице 1.

На основе этих данных построим математическую модель НСД и произведем численное решение связанной с ней задачи о НСД.

Решением задачи стал путь, который определяет оптимальное воздействие на ЛВС, приводящее к получению максимальной выгоды для злоумышленника.

Конфигурации и предназначение ЭВМ

Обозначение	Операционная система	Базовое ПО для бизнес-систем	Предназначение
C1	Sun Solaris 9	СУБД – Oracle 8	Сервер БД для систем бухгалтерского учета, учета движения ТМЦ
C2	Linux (ядро 2.44)	DNS, HTTP – Apach	Веб-сервер приложений
C3	Windows 2000 Advanced Sever	Домен Windows	Файловый сервер
A1	Windows 2000 Professional	Oracle Administrative Tools	Администрирование СУБД Oracle
A2	Windows 2000 Professional	RAdmin, Telnet	Администрирование сети и операционных сетей серверов
P1, P3, P6	Windows 98 OSR 2	1С"Кадры – зарплата"	Учет рабочего времени, договоров и начисление заработной платы
P2	Windows XP	Клиент-Банк	Совершение операций по расчетному счету
P4, P5	Windows 95	Склад, ведение договоров	Учет ТМЦ, их поступлений и расходов, учет поставок продукции, условий оплаты и их сроков
P7, P8, P9	Windows 2000 Professional	Оперативный учет производства	Учет движения заготовок и узлов по стадиям производства, учет потребления вспомогательных материалов, их остатков на стадиях

Практическое решение задачи о НСД дало следующие результаты:

1. Наиболее уязвимым рабочим местом оказалась рабочая станция P2 с установленной Windows XP;

2. Проводить атаку наиболее эффективно можно с рабочей станции P4 с установленной Windows 95 и подключенным дисководом FDD;

3. Наиболее эффективным способом воздействия на P2 является использование уязвимости в LSA, позволяющей удаленно получить системные права на P4;

4. В результате прослушивания трафика P1, P2, P3, P4 – C3 были установлены пароли пользователей в домене Windows;

5. Время работы алгоритмов решения задачи о НСД (для компьютера с процессором Pentium 4 2.5 ГГц) не превышает 170 секунд.

Таким образом, представленная методика позволяет провести максимально полный анализ ИК, как структурный, так и параметрический, что улучшает адекватность модели НСД и тем самым решает зада-

чу о нахождении наиболее "уязвимых" параметров и методов воздействия на них.

Знание таких "уязвимых" параметров позволяет разработать дополнительные средства защиты или контроля, что минимизирует риск проведения атаки и улучшает безопасность организации.

Библиографический список

1. Фофанов А.В., Шахов В.Г. Модель несанкционированного изменения данных в информационном комплексе и метод анализа способов повышения устойчивости информационного комплекса к внешним воздействиям. Омский научный вестник, выпуск 22. Омск, 2003, с. 100-104.

2. Лукацкий А.В. Обнаружение атак. – СПб.: БХВ – Петербург, 2001. – 624 с.: ил.

3. Мельников В.В. Защита информации в компьютерных системах. – М.: Финансы и статистика; Электроинформ, 1997. – 368 с.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.10.06 г.

© Фофанов А.В.

Информация

Принстонское пополнение

К проекту цифровых библиотек «Coogle Books» присоединилась библиотека Принстонского университета в США. Он стал двенадцатым университетом, который дал добро на перевод своих обширных книжных запасов в электронный вид.

Принстонское пополнение будет крупнейшим в истории цифровых библиотек «Google». Как известно, по своему размеру книгохранилище знаменитого университета уступает лишь Библиотеке Конгресса США. Принстонская библиотека была основана более 250 лет назад, в её фондах — более 6 миллионов книг, в том числе древних рукописей.

Научный интернет

Большинство (41 %) американцев черпают научную информацию из телепередач. На втором месте оказался Интернет (20 %). Научную информацию из газет и журналов предпочитают получать по 14 % жителей США, из радиопередач — 1 %. 87 % американских пользователей Всемирной Сети используют её возможности для проведения научных исследований, ознакомления с научными концепциями, проверки фактов, подготовки к занятиям и т. п.

<http://www.dialog-21.ru/news/digest.asp?id=81913>

ОРГАНИЗАЦИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО МАСШТАБИРУЕМОГО ДОСТУПА К ORACLE RDBMS ИЗ ПРОГРАММ НА JAVA

На основании проведённых исследований предложена практическая реализация устойчивого к отказам масштабируемого доступа к Oracle RDBMS из программ на Java с использованием механизма JDBC и его расширенных возможностей, предоставляемых JDBC драйвером Oracle. Предложенный метод доступа требует от разработчика прикладной программы минимальных усилий для обеспечения отказоустойчивости.

Развитие информационных технологий постоянно ставит перед IT-отделами компаний новые задачи, причём в ближайшее время количество и сложность таких задач, по всей видимости, будут только возрастать. Стремясь справиться с растущей нагрузкой, IT-персонал находится в постоянном поиске новых средств автоматизации основных задач по обеспечению нормального функционирования информационной инфраструктуры компании. Разработчики программного обеспечения, учитывая потребности рынка, предлагают всё более мощные системы обработки информации, автоматизации управления компьютерным оборудованием и сетевыми устройствами. Однако в то время как одни задачи успешно решаются, на их место уже встают новые. Радует тот факт, что программные средства, предназначенные для решения этих задач, также постоянно совершенствуются. Если ещё лет 10-15 назад о применении серверных систем управления базами данных задумывались немногие, а их цена обычно в разы превышала стоимость компьютерного оборудования, то сейчас установленной на сервере компании СУБД уже никого не удивишь. Появление в этой группе программного обеспечения бесплатных продуктов вынудило грандов индустрии выпустить специальные версии своих систем, пусть и имеющие ограниченный функционал, но зато продающиеся по более низким ценам. Всё это позволило шире использовать СУБД в различных проектах.

Компании, работающие в сфере телекоммуникаций, в силу специфики своей деятельности, возможно, чаще других сталкиваются с необходимостью сохранения различных видов постоянно накапливающейся информации. Это и данные по учёту потреблённых сетевых ресурсов, и информация, полученная от систем автоматизированного ведения статистики работы сетевого оборудования, и данные о пользователях. Каждый, кто занимается телекоммуникациями, вероятно, найдёт свои варианты продолжения этого списка.

Программное обеспечение, решающее проблему сохранения данных, не просто должно выполнять свою задачу, но и обязано обеспечивать определённую отказоустойчивость. И если задача обеспечения надёжности хранения данных на стороне СУБД успешно решается разработчиками серверов баз данных (а также администраторами баз данных), то обеспечение надёжных средств пе-

редачи данных от их источника к СУБД лежит на разработчике прикладной программы, обращающейся к базе данных. Это означает, что программа должна обладать определённой устойчивостью к пропаданию соединения с СУБД, к отсутствию доступа в сеть и т.п.

Остановимся подробнее на средствах обеспечения такой надёжности. Речь пойдёт о программных средствах предотвращения сбоев, вызванных потерей соединения между прикладной программой и базой данных.

Среди всего многообразия СУБД и языков программирования, имеющих средства доступа к ним, рассмотрим пару Oracle и Java. Актуальность сервера Oracle как средства хранения данных весьма высока. Продукт имеет большую историю и хорошую репутацию, а выпуск версии Standard Edition One по весьма умеренной (для СУБД такого класса) цене существенно расширяет круг потенциальных пользователей продукта. Использование языка Java для задач подобного рода также представляется разумным ввиду развитости интерфейса доступа к БД, наличию мощных сетевых библиотек и встроенных в язык средств многопоточности. В сочетании с простотой переноса готовых программ на компьютер пользователя и лёгкостью конфигурирования средств доступа к БД использование Java для решения вышеуказанных задач даёт прекрасный эффект.

С первого взгляда суть проблемы надёжности соединения с БД уловить достаточно сложно. Открыв практически любую книгу по Java и найдя там главу, посвящённую JDBC, мы почти наверняка встретим программный код, приведённый на рис. 1 [1, 2, 3, 4].

Компиляция и запуск подобного кода обычно дают вполне ожидаемый положительный результат. Затем этот код переносится в готовое приложение, где и продолжает своё существование. Естественно, если речь идёт о мощных серверных приложениях, имеющих десятки соединений с БД и множество потоков выполнения, данный код там наверняка не встретится, однако используемые там методы работы с БД довольно слабо освещены в литературе и остаются достоянием разработчиков подобных систем.

Недостатки, присущие любой программе, использующей приведённый на рис. 1 код для организации подключения в БД, проявляются при первой же перезагрузке активного сетевого оборуду-

```

Connection conn;
try {
    ...
    conn = DriverManager.getConnection(url,
        "user", "password");
} catch (Exception e) {
    System.err.println(e.getMessage());
}

```

Рис. 1. Чувствительное к отказам обращение к БД

дования, объединяющего хост, на котором данная программа запущена, и сервер БД. Разрыв физического сетевого соединения между компьютерами приведёт к аварийному завершению соединения с БД в экземпляре класса Connection и возникновению исключения в программе. Причём момент завершения соединения с БД зачастую откладывается до первого обращения к серверу баз данных со стороны программы. Если частота обращений к БД невелика (несколько минут), в момент генерации исключения канал связи с SQL сервером может быть уже восстановлен, и проблема, таким образом, маскируется под некую редко возникающую программную ошибку.

Частичным решением данной проблемы является применяемый иногда приём закрытия соединения с БД непосредственно после его использования. Но данный метод работы с БД также нельзя признать удовлетворительным. Первая же очевидная проблема, с которой встретится разработчик, — низкая скорость, с которой устанавливается новое соединение. Причины этого, кроются ли они в недрах JDBC-драйверов или в алгоритмах открытия пользовательского сеанса SQL серверов, выходят за рамки данного обсуждения. Однако факт низкой скорости установления нового соединения очень быстро проявляется со всей очевидностью. Это время может колебаться в зависимости от драйвера и БД и достигает иногда нескольких секунд и даже десятков секунд. Кроме того, данный подход также потребляет ценные вычислительные ресурсы сервера БД, вынуждая его каждый раз создавать заново пользовательскую сессию. Все перечисленные выше недостатки не позволяют считать такой метод работы с БД приемлемым для реальных задач.

Более совершенным методом доступа к БД является использование так называемого пула соединений. Данный механизм позволяет открывать и поддерживать в активном состоянии несколько соединений с БД, которые затем запрашиваются программой непосредственно перед обращением к SQL серверу и возвращаются обратно в пул по завершении этого обращения. Преимущества в скорости данного метода очевидны: не пытаясь постоянно открывать и закрывать соединения, мы экономим вычислительные ресурсы компьютера с установленной на нём БД и ускоряем собственную программу. Найти сравнительные характеристики скорости работы приложения с использованием пула и без него можно, например, в [5]. Преимущества хорошей масштабируемости данного метода также достаточно наглядны. С увеличением числа одновременных обращений к БД мы можем просто увеличить размер пула, не меняя исходный код приложения. Учитывая весь спектр положительных качеств такого подхода, вопросы организации пула соединений активно обсуждались на протяжении нескольких лет в соответствующей литературе [2, 6] и поднимались в сетевых дискуссиях [7, 8, 9]. Появилось несколько (как коммерческих, так и

бесплатных) пакетов, с переменным успехом решающих задачу реализации пула соединений. Однако большинство подобных решений не обладает средствами обеспечения надёжного соединения с БД.

Остановимся подробнее на данной проблеме и её причинах.

Механизм кэширования подразумевает хранение нескольких открытых соединений с БД. При возникновении проблем с сетевым доступом к серверу БД находящиеся в кэше соединения станут некорректными. При очередном запросе приложением соединения с БД одно из таких соединений и будет ему выдано. Для решения данной проблемы некоторыми авторами предлагалось использовать, например, средства чтения метаданных с сервера БД для проверки корректности соединения перед выдачей его приложению. Такой подход можно считать достаточно спорным, т.к. специфика приложения может диктовать необходимость частого извлечения соединений из пула и помещения их обратно (к примеру, приложению может потребоваться очень часто сохранять в БД небольшие порции информации), при этом проверка соединений вызовет ненужный сетевой трафик и увеличит общую нагрузку на сервер БД. Кроме того, некоторые СУБД могут не поддерживать определённые типы метаданных, ввиду чего сильно страдает общность такого подхода. Ситуация может улучшиться с выпуском новой версии Java SE 6, т.к. в JDBC 4.0 планируется включить необходимость поддержки метаданных со стороны БД для контроля состояния соединения [10]. В настоящее время этот вопрос находится в стадии решения, и готовых продуктов, поддерживающих новую функциональность, пока нет.

Из всего вышеизложенного следует, что необходимо выдавать приложению соединение, не проверяя его корректности. Причём такой подход не должен приводить к каким-либо проблемам на его стороне, т.к. будучи правильно спроектированным оно обязано обрабатывать возникшие исключения, а попытка доступа к некорректному соединению именно к исключению и приведёт. Необходимо разобраться, что же именно нужно предпринять приложению, чтобы правильно обработать возникшие по вине некорректных соединений исключения, и как в этом случае следует поступить с пулом соединений.

Реализация JDBC от Oracle содержит пакет `oracle.jdbc.pool`, в котором содержатся классы, предназначенные для работы с пулом соединений. Мы будем использовать следующие классы этого пакета:

- `OracleDataSource`,
- `OracleConnectionCacheManager`.

Для установки соединения с БД мы также будем использовать следующие переменные:

`connectionString` — строка соединения с БД,
`cacheName` — имя кэша,
`db_user` — имя пользователя,
`db_password` — пароль пользователя,
`initialLimit` — начальное число соединений в кэше.

Переменная `initialLimit` имеет тип `int`, все остальные переменные — типа `String`. Кроме того, нам понадобятся ссылки на экземпляры классов и пакета `oracle.jdbc.pool`:

```

OracleDataSource ods;
OracleConnectionCacheManager ocm.

```

Процедура создания пула довольно проста, все действия выполняет код, приведённый на рис. 2.

```

ods = new OracleDataSource();

ods.setURL(connectionString);
ods.setUser(db_user);
ods.setPassword(db_password);

ods.setConnectionCachingEnabled(true);
ods.setConnectionCacheName(cacheName);

occm = OracleConnectionCacheManager.
    getConnectionCacheManagerInstance();

java.util.Properties props = new java.util.Properties();
props.setProperty("InitialLimit",
    String.valueOf(initialLimit));

occm.createCache(cacheName, ods, props);

```

Рис. 2. Создание пула соединений

```

try {
    Connection conn = getConnection(); // запрашиваем соединение
    try {
        ...
        // используем соединение
        ...
        conn.close(); // возвращаем соединение в пул
    } catch(SQLException se) {
        checkCache(se);
    }
} catch(SQLException se) {
    // обрабатываем исключение
}

```

Рис. 3. Код, отслеживающий сброс соединений с БД

```

boolean checkCache(SQLException se) {
    try {
        if(occm.isFatalConnectionError(se)) {
            occm.refreshCache(cacheName,
                OracleConnectionCacheManager.
                    REFRESH_INVALID_CONNECTIONS);
            return true;
        }
    } catch(SQLException se2) {
        // обрабатываем исключение
    }
    return false;
}

```

Рис. 4. Функция, контролирующая состояние пула соединений

Для получения соединения приложение будет вызывать следующую функцию:

```

Connection getConnection() throws SQLException
{
    return ods.getConnection();
}

```

Приведённый код достаточно прост, но он содержит всё необходимое для подключения к БД, создания пула соединений и получения прикладной программой соединения из пула. Использование пула соединений послужит основой для реализации механизма отказоустойчивого доступа к БД.

Теперь мы можем вернуться к обсуждению вопросов отказоустойчивости нашего механизма доступа, но для этого вначале нужно понять, как мы будем использовать наши подключения к БД. Получив соединение, приложение может его использовать обычным образом для выполнения запросов к базе данных, специфические действия требуется выполнить лишь при возникновении исключения. Примерный вариант кода, отслеживающего сброс соединений с БД, показан на рис. 3.

Этот код запрашивает новое соединение из пула, затем использует его и возвращает обратно в пул. Выполнение всех действий по обеспечению надёж-

ности работы с БД обеспечивается наличием блоков try...catch. Код содержит два таких блока: во внешнем блоке мы пытаемся получить новое соединение. Если в данный момент сделать это невозможно, нам остаётся только обработать возникшее исключение. Если соединение получено, мы попадаем внутрь второго блока try...catch, здесь сосредоточена основная логика работы с БД. Как уже говорилось выше, если соединение находится в некорректном состоянии, при его использовании будет выброшено исключение. На его обработке мы и построим логику контроля состояния пула соединений. Проверка состояния будет возложена на функцию checkCache, в которую мы передадим возникшее исключение. Код этой функции приведён на рис. 4.

Код содержит всего несколько строк, но их вполне достаточно для выполнения поставленной задачи — обеспечения правильной работы пула. Работа функции основана на анализе переданного ей исключения. Дело в том, что реализация JDBC от Oracle содержит специальную функцию, член класса OracleConnectionCacheManager, которая позволяет отличить фатальные ошибки соединения от обычных ошибок, возникающих при обращении к БД. Иными словами, можно узнать, возникло ли

```

for(int i = 0; i < 2; i++)
    try {
        Connection conn = getConnection(); // запрашиваем соединение
        try {
            ...
            // используем соединение
            ...
            conn.close(); // возвращаем соединение в пул
            break; // текущий сеанс работы с БД прошёл успешно,
                // предотвращаем возможный повторный сеанс
        } catch(SQLException se) {
            if (!checkCache(se)) {
                // исключение не было связано с
                // проблемами соединения,
                // либо не удалось обновить кэш
                ...
                // обрабатываем исключение
                ...
                break; // не пытаемся повторить вызов
            }
        }
    } catch(SQLException se) {
        // обрабатываем исключение
    }
}

```

Рис. 5. Реализация отказоустойчивого обращения к БД

исключение из-за проблем в соединении с БД или нет. Имя этой функции - `isFatalConnectionError`. Таким образом, проанализировав исключение, мы можем попытаться восстановить работу находящихся в кэше соединений. Это делается вызовом функции `getFreshCache`. Если кэш был обновлён, функция `checkCache` вернёт `true`, иначе — `false`. Эта информация пригодится нам в дальнейшем.

Следует отметить, что в результате вызова функции `checkCache` мы не обязательно будем иметь нормальное состояние пула, т.к. физическое сетевое соединение с сервером БД может быть к моменту её вызова всё ещё нарушено. Однако нашей конечной целью является обработка некорректных состояний пула и восстановление соединений. Достижение данной цели вполне может быть обеспечено, всё необходимое для этого у нас уже есть. Действительно, после вызова `checkCache` мы, вполне возможно, будем иметь в пуле некоторое количество пригодных для использования соединений с БД. В этом случае мы можем запросить соединение ещё раз, после чего вновь попытаться использовать его. Если соединение будет восстановлено, то вторая попытка пройдёт успешно, в противном случае снова будет выброшено исключение. Первое исключение может привести к обновлению пула соединений, при этом `checkCache` вернёт `true`, это будет являться сигналом к тому, что обращение к БД можно попытаться повторить. Повторное исключение почти наверняка будет означать наличие серьёзной проблемы, не позволяющей подключиться к БД в настоящий момент. Показанный на рис. 5 код реализует предложенную логику, все необходимые объяснения даны в комментариях к коду.

С применением предложенного подхода автором успешно реализовано несколько серверных проектов на Java. В их число входят: программа распределения и учёта ресурсов сетевого принтера, модуль хранения данных о пользователях биллинговой системы, модуль обработки данных корпоративной информационной системы. Данное программное обеспечение в настоящее время функционирует на серверах Омского филиала Института математики СО РАН и прошло апробацию в условиях потери связи с сервером БД, отключения активного сетевого оборудования, полного перезапуска сервера БД и других. При всех аварийных

ситуациях программы не требовали перезапуска, доступ к БД осуществляется без сбоев.

Выпуск следующей версии Java, конечно, может открыть новые возможности обеспечения отказоустойчивого доступа в БД. Кроме того, следующая версия стандарта JDBC может даже позволить разработчикам драйверов к SQL серверам встроить проверку соединений непосредственно в драйвер, однако в сфере баз данных доля компаний, по различным причинам использующих не самые последние версии ПО, довольно высока. Поэтому предложенный подход в любом случае останется актуальным для большого числа разработчиков.

Библиографический список

1. Брюс Эккель. *Философия Java* / Брюс Эккель. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. - 876 с.
2. Кей С. Хорстманн, Гари Корнелл. *Java 2: В 2 т.* / Кей С. Хорстманн, Гари Корнелл. — М.: Вильямс, 2002. Т. 2. - 1104 с.
3. Майкл Морган. *Java 2, Руководство разработчика* / Майкл Морган. — М.: Вильямс, 2000. - 720 с.
4. Ян. Ф. Дарвин. *Java, Сборник рецептов* / Ян. Ф. Дарвин. — Санкт-Петербург: Питер, 2002. - 764 с.
5. *JDBC Connection Pooling* (<http://www.datadirect.com/developer/jdbc/topics/connpooling/index.ssp>), Datadirect.com, 2006.
6. Дэвид М. Гери. *JavaServer Pages* / Дэвид М. Гери. — М.: Вильямс, 2002. - 442 с.
7. Brown, Kevin. *Gain extended functionality by writing your own JDBC connection pool* (<http://builder.com.com/5100-6388-1045042.html>), Builder.com, декабрь 2001.
8. Wiebe de Jong. *Implement a JDBC Connection Pool via the Object Pool Pattern* (<http://www.developer.com/java/other/article.php/626291>), Beveloper.com, апрель 2000.
9. Марти Холл. *Сервлеты и JavaServer Pages* / Марти Холл. — Санкт-Петербург: Питер, 2001. - 492 с.
10. Penchikala, Snni. *JDBC 4.0 Enhancements in Java SE 6* (<http://www.onjava.com/pub/a/onjava/2006/08/02/jjdbc-4-enhancements-in-java-se-6.html?page=1>), Onjava.com, февраль 2006.

Хрущев Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории ЦИОНИ Омского филиала института математики им. С.А. Соболева СО РАН.

Дата поступления статьи в редакцию: 22.11.06 г.
© Хрущев С.А.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМООТНОШЕНИЯМИ С КЛИЕНТАМИ

Статья раскрывает эффект, возможности и преимущества, получаемые при использовании информационных технологий, разработанных для управления взаимоотношениями с клиентами.

Введение

В рыночной экономике ключевым фактором жизнеспособности является постоянное развитие взаимоотношений с имеющимися клиентами и постоянное привлечение новых. На решение этой задачи направлены маркетинговые усилия и управленческие решения большинства российских предприятий, занятых в различных сферах деятельности. При этом стремление не только привлечь клиента, но и удержать его, сделать лояльным организации требует индивидуального подхода в каждом конкретном случае: анализа взаимоотношений с клиентом, оперативного реагирования на появляющиеся запросы. Следовательно, возникает необходимость сбора, обработки и анализа больших объемов информации.

Для решения этих задач предприятия активно используют и развивают концепцию CRM (Customer Relationship Management – CRM – управления взаимоотношениями с клиентами). Данная концепция основана на автоматизации процессов управления отношений с клиентами путем использования современных информационных технологий.

В представленной статье изложены основные возможности информационных технологий, применяемых как инструмент эффективного управления взаимоотношениями с клиентами, представлены функции одной из наиболее развитых современных российских информационных систем управления «1С Предприятие 8.0.».

Автор статьи не ставил своей целью рассказать о сути концепции CRM или методике ее применения. Цель статьи – показать комплексные информационные технологии как наиболее эффективный инструмент управления взаимоотношениями с клиентами.

Описание и постановка задачи

Исследования, проведенные в экономически развитых странах, показывают, что:

1) Затраты на привлечение нового клиента в среднем в пять раз больше, чем на удержание существующего.

2) Взаимоотношения с большей частью клиентов начинают приносить устойчивую прибыль только через год после начала работы с ними.

3) Заключить сделку с уже имеющимися клиентами существенно легче и в 5 – 10 раз дешевле, чем с новым покупателем.

4) Увеличение числа постоянных клиентов на 5% увеличивает объемы продаж более чем на 25%, а прибыль – на 50 – 100%.

5) Около 50% существующих клиентов большинства компаний не приносят прибыли из-за неэффективных взаимоотношений с ними.

6) Около 80 % дохода компании обеспечивается 20 % ее клиентов.

7) Удовлетворенный клиент расскажет об удачном взаимодействии в среднем 5 своим знакомым, неудовлетворенный – минимум 10. [3].

Данные результаты заставляют компании направить максимум усилий на удержание уже существующих клиентов, обеспечение их лояльности, а не просто уделять внимание привлечению новых клиентов. Особую роль лояльность клиентов имеет для компаний, специализирующихся на оказании различного рода услуг, что предполагает непосредственные контакты с клиентами. Сектор услуг развивается стремительными темпами и составляет: в США 80% от ВВП, в странах Европейского союза – 70%, в России рынок услуг стремительно расширяется. Таким образом, клиентская база – это важнейший актив компании, которым надо тщательно и эффективно управлять, что требует индивидуального подхода к каждому клиенту, анализа взаимоотношений с ним, поиска перспектив развития. Для решения этой задачи необходимо собирать и обрабатывать большие объемы информации по истории взаимоотношений с каждым клиентом, отслеживать все телефонные звонки, отосланные или присланные письма, полученные претензии и пожелания, т.е. весь комплекс мер, осуществляемых при организации продаж и послепродажного обслуживания.

Существует ряд маркетинговых задач, напрямую связанных с CRM – системой и являющихся необходимыми для развития организации. В рамках решения этих задач организация должна:

- выявлять группы потребителей продукции компании;

- знать текущие и перспективные потребности различных групп потребителей в конкретных видах продукции;

- уметь рассчитывать ориентировочные объемы закупок продукции различными группами потребителей.

Особенно важно знать основных конкурентов компании на рынке, рыночные преимущества компании, а также цели, к которым стремится компания.

Особенно существенно для оптимизации работы компании в целом, что интегрированная CRM-система обеспечивает координацию действий различных отделов, обеспечивая их общей платформой для взаимодействия с клиентами. Это позволяет

влиять на ситуацию, когда отделы маркетинга продаж и сервиса действуют независимо друг от друга и их действия несогласованны.

CRM предусматривает гармоничное сочетание формального подхода и индивидуального отношения к каждому клиенту. Но если количество активных клиентов предприятия измеряется в десятках или сотнях, а количество потенциальных клиентов — соответственно в сотнях или тысячах, то полная реализация концепции CRM приведет к накоплению огромных массивов информации, работать с которыми без привлечения специальных средств автоматизации будет просто невозможно.

Однако следует помнить, что CRM — это не программный продукт и не технология, это даже не набор продуктов. CRM — это направленная на построение устойчивого бизнеса концепция и бизнес-стратегия, ядром которой является «клиенто-ориентированный» подход.

Эта стратегия основана на использовании передовых информационных технологий, позволяющих компании собирать информацию о своих клиентах на всех стадиях взаимоотношений с ними и использовать эти знания в интересах бизнеса путем выстраивания взаимовыгодных отношений. Правильно построенные взаимоотношения позволяют привлекать новых клиентов и удерживать старых. Результатом применения стратегии является повышение конкурентоспособности компании и увеличение прибыли.

CRM на уровне информационных технологий — это набор приложений, связанных единой бизнес-логикой, интегрированный в корпоративную информационную среду компании (часто в виде надстройки к ERP) на основе единой базы данных [1]. Использование такой информационной системы позволяет:

- 1) Снизить административные издержки на 10-20 %.
- 2) Увеличить объемы продаж на 10 – 30 % в год на одного менеджера.
- 3) Увеличить число заключенных сделок на 5-15%.

Таким образом, внедрение концепции CRM без ее базирования на многофункциональной информационной системе управления не будет эффективно и не принесет желаемого результата [1].

Метод решения

Для успешного внедрения концепции CRM необходимо правильно подобрать базовое программное обеспечение.

При выборе базового пакета программ для создания информационной системы управления взаимоотношениями с клиентами необходимо учитывать множество факторов:

- 1) Функциональную полноту программного продукта.
- 2) Соответствие его возможностей реальным потребностям организации.
- 3) Возможность настройки на существующие в организации бизнес-процессы без их радикальной реорганизации.
- 4) Возможность интеграции с другими приложениями.
- 5) Технические характеристики масштабирования и надежности.
- 6) Готовность производителя сотрудничать в проекте по внедрению системы.
- 7) Совокупную стоимость приобретения, настройки, доработки, внедрения и сопровождения программного продукта.

8) Гарантируемое поставщиком время запуска системы в эксплуатацию.

9) Опыт поставщика программного продукта по внедрению на аналогичных предприятиях. [3]

Все перечисленные параметры следует рассматривать в совокупности.

С учетом того, что зарубежные программы имеют очень высокую стоимость, наибольший интерес представляют российские разработки, среди которых ведущие позиции удерживает система программ «1С: Предприятие 8.0», соответствующая всем названным выше требованиям.

В разработанных на ее основе прикладных решениях «Управление торговлей 8.0» (УТ) и «Управление производственным предприятием 8.0» (УПП) существует подсистема CRM, реализующая основные задачи, необходимые для управления взаимоотношениями с клиентами. Для этих программ нет необходимости в интеграции с другими информационными системами, предназначенными для автоматизации хозяйственного учета, поскольку «Управление торговлей 8.0» предназначено для автоматизации управления процессами торговой деятельности организации, а «Управление производственным предприятием 8.0» — для комплексной автоматизации хозяйственной деятельности предприятия.

Однако УТ 8.0 и УПП 8.0 не единственные программы, предназначенные для программной реализации концепции CRM. В 2005 году фирмы «1С» и «Рарус» на платформе «1С: Предприятие 8.0» разработали программный продукт «1С: CRM ПРОФ», имеющий более развитый CRM-функционал, превосходящий возможности конфигураций УТ 8.0 и УПП 8.0. «1С:CRM ПРОФ» может работать как самостоятельно, так и во взаимодействии с другими конфигурациями. При использовании «1С: CRM ПРОФ» как самостоятельной, отдельно работающей конфигурации программа может обмениваться информацией с бухгалтерской программой «1С:Бухгалтерия предприятия 8.0» и учетными программами — УТ 8.0 и УПП 8.0 и, кроме того, может интегрироваться (объединиться) с конфигурациями: «1С: Предприятие 8.0. Управление торговлей» и «1С: Предприятие 8.0. Управление производственным предприятием», расширяя и заменяя подсистемы CRM конфигураций УТ 8.0 и УПП 8.0.

Кратко рассмотрим некоторые функциональные возможности прикладного решения «1С: CRM ПРОФ».

На рисунке 1 представлен интерфейс конфигурации «1С: CRM ПРОФ».

Функциональные возможности программы позволяют вести информационную базу с подробными данными о клиентах, управлять контактами и бизнес-процессами по работе с клиентами, а также продажами и маркетинговыми мероприятиями. В системе реализован учет по серийным номерам, срокам и типам обслуживания для товаров, находящихся на гарантийном и сервисном обслуживании. Кроме того, программа содержит подсистемы планирования, анкетирования и телемаркетинга. Для поддержки управленческих решений в программе предусмотрены возможности многофакторного анализа продаж, ABC анализа продаж, анализа состояния работы с клиентами и результатов деятельности сотрудников.

Интеграция прикладного решения с финансовыми и учетными программами позволяет создать еди-

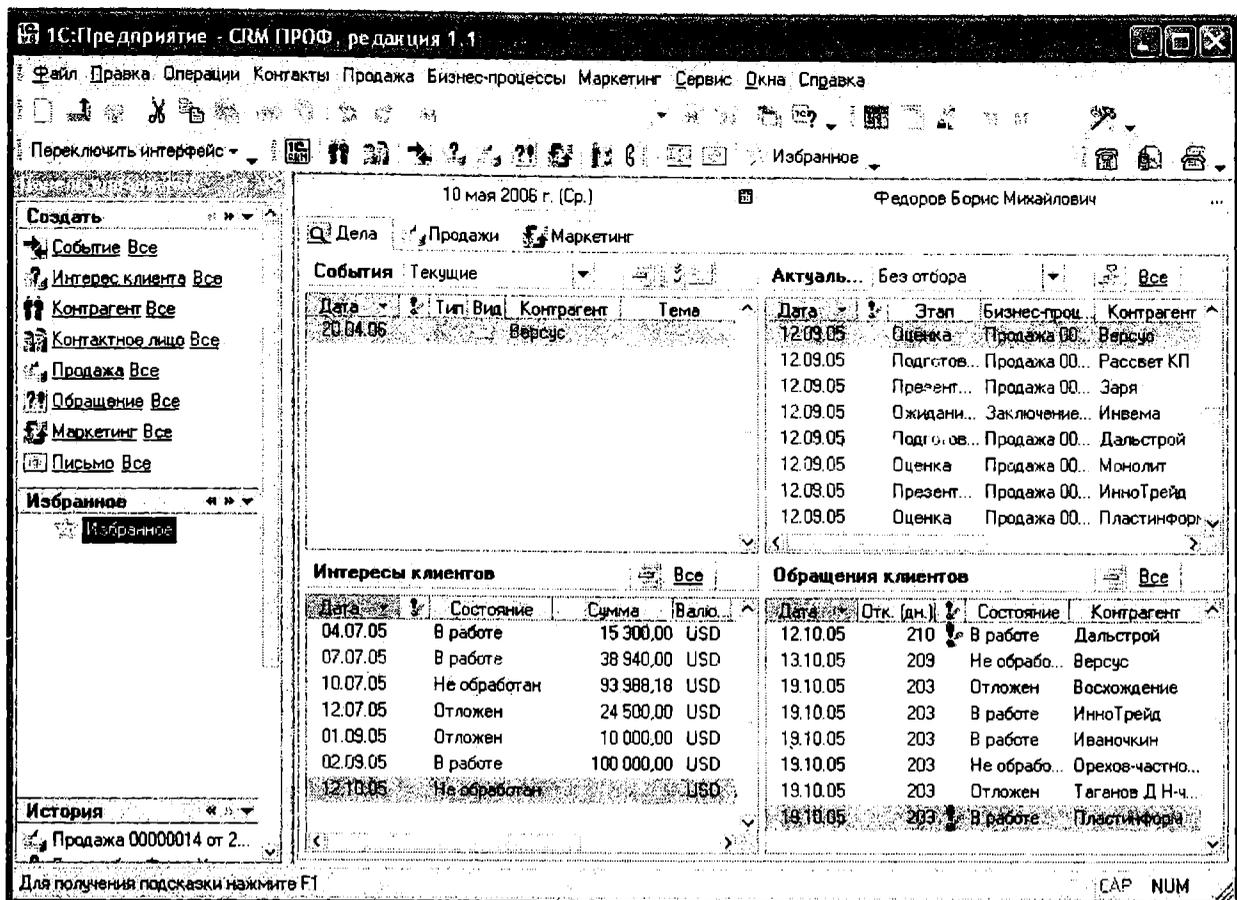


Рис. 1. Интерфейс конфигурации «1С: CRM ПРОФ»

ное информационное пространство по работе с клиентами.

Основные возможности конфигурации «1С: CRM ПРОФ»

Управление контактной информацией

Модель хранения данных о контрагентах, реализованная в системе, ориентирована на удобный и быстрый поиск информации — телефонов, адресов, данных электронной почты и другой контактной информации. Общие типы контактной информации (телефон, адрес и т.д.) в решении заданы жестко и не могут быть изменены. В то же время для каждого контрагента можно задать несколько записей одного типа, например, несколько номеров телефонов, записей об адресе и реквизитах электронной почты. Чтобы различать назначение каждой записи, ей присваивается свой вид, количество видов информации при этом не ограничено. Для адресов контрагентов, например, можно определить следующие виды — юридический, фактический, адрес склада и т.д.

Планирование и контроль событий

Под «событиями» в конфигурации понимаются запланированные или состоявшиеся переговоры по телефону, поездки, встречи, отправка или получение писем и другие мероприятия. Для регистрации запланированных и совершившихся событий в системе применяется документ «Событие».

В системе различаются входящие и исходящие события. Исходящими являются события, определяющие действия менеджера, которые он должен выполнить: написать письмо, организовать встречу и т.д. Входящие события требуют от менеджера контролируемых действий — проверки факта

получения письма, поступления денежных средств и других фактов. Для автоматического напоминания о запланированных событиях в конфигурации предназначен механизм напоминаний. К запланированным событиям в системе относятся произвольное событие с участием контрагента или контактного лица, зарегистрированное с использованием документа «Событие», а также оплата покупателем в соответствии с оформленным для него документом «Счет». Для наглядного отображения запланированных событий конфигурация позволяет формировать рабочий календарь пользователя. На рисунке 2 представлен документ «Календарь пользователя»

Для регистрации вопросов и претензий клиентов, требующих рассмотрения и подготовки ответов, в системе применяется документ «Обращение клиента». Реализованная в программе методика работы с обращениями клиентов позволяет контролировать критические, «проблемные» претензии и накапливать правильные решения по претензиям и вопросам в справочнике «База знаний».

Кроме того, в справочнике «База знаний» можно хранить информацию о товарах и конкурентах, а также служебные инструкции и распоряжения по компании. Информация о товарах может включать описание характеристик товаров, их конкурентных преимуществ и вариантов демонстрации, описание возможных действий, направленных на устранение сомнений покупателей. Данные о конкурентах могут содержать описание их слабых и сильных сторон.

Для быстрого доступа менеджера к информации о продажах и клиентах в конфигурации предназначен «Рабочий стол CRM». Данное интерфейсное

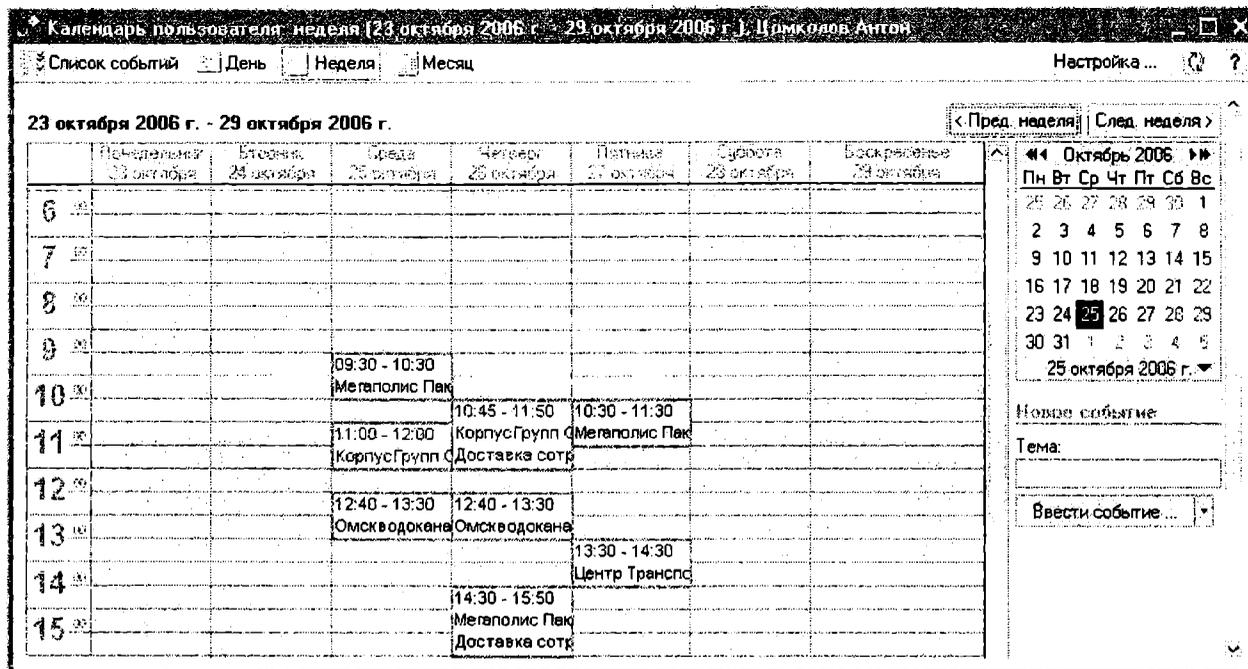


Рис. 2. Интерфейс документа «Календарь пользователя»

решение обеспечивает концентрацию внимания менеджера на текущих актуальных процессах, связанных с его клиентами. Информация на «Рабочем столе CRM» структурирована по разделам — «Дела», «Интересы клиентов», «Контрагенты», «Контактные лица», «Продажи», «Обращения» и «Маркетинг». Панель быстрого запуска рабочего стола позволяет срочно создать необходимые документы и элементы справочников, а также получить доступ к недавно созданным или модифицированным объектам — документам и элементам справочников.

Управление бизнес-процессами

Для объединения отдельных операций в цепочки взаимосвязанных действий, приводящих к достижению конкретной цели, в конфигурации предназначены бизнес-процессы. Использование бизнес-процессов позволяет формализовать процедуры обработки тех или иных событий, возникающих в деятельности организации, и обеспечить участие в них исполнителей.

Как показывает практика, наибольший эффект достигается при автоматизации ключевых бизнес-процессов, начало и завершение которых находятся по отношению к организации во внешней среде.

Бизнес-процесс описывается в системе картой маршрута, отражающей основные этапы выполнения. При запуске бизнес-процесса система автоматически формирует для каждого пользователя список задач, которые он должен выполнить. После завершения информация или задачи передаются от одного участника к другому для выполнения дальнейших действий, предусмотренных маршрутной картой бизнес-процесса. Условия маршрутизации бизнес-процессов могут представлять собой как выбор одного из двух, так и выбор одного из нескольких возможных вариантов маршрута.

В конфигурации «1С: CRM ПРОФ» реализованы такие бизнес-процессы, как «Продажа», «Согласование» и «Заключение договора», при этом «Согласование» и «Заключение договора» являются составными частями бизнес-процесса «Продажа».

Использование бизнес-процессов позволяет добиться от сотрудников правильных типичных

действий в стандартных ситуациях. Анализ данных о количестве открытых процессов, об этапах, на которых они находятся, и о сроках завершения позволяет повысить управляемость бизнесом.

Управление продажами

В системе «1С: CRM ПРОФ» реализована бизнес-логика процесса продажи, предусматривающая выполнение некоторой последовательности действий, начиная от первого контакта с клиентом и заканчивая оформлением документов поступления оплаты и реализации. Предлагаемая схема продажи включает бизнес-процесс «Продажа», а также документы, фиксирующие основные стадии процесса продажи, — «Интерес клиента», «Коммерческое предложение» и «Счет на оплату покупателю». Документ «Интерес клиента» предназначен для регистрации интереса клиентов к товарам и услугам компании. Для подготовки предложения клиентам товаров и услуг используется документ «Коммерческое предложение». На основании каждого из этих документов можно вводить документ «Событие» и фиксировать таким образом состояние переговоров с клиентом, планировать продолжение переговоров и создавать напоминания. [2]

Выводы

По мнению автора, наиболее эффективно для управления взаимоотношениями с клиентами использовать конфигурацию «Управление производственным предприятием 8.0», интегрированную с конфигурацией «1С: CRM ПРОФ». С полным описанием возможностей прикладного решения УПП можно ознакомиться в книге «1С: Предприятие 8.0. Управление производственным предприятием». Описание конфигурации. М.: ЗАО «1С», 2004. — 571 с.: ил.

Возможности УПП 8.0 используются для управления хозяйственной деятельностью предприятия, а функционал CRM используется для управления процессами взаимоотношений с клиентами.

При интеграции «1С: CRM ПРОФ» с программой «Управление производственным предприятием 8.0» организация получает комплексную интегрированную информационную систему (КИС),

управляющую не только процессом взаимоотношений с клиентами, но и всеми основными бизнес-процессами предприятия.

Результаты использования объединенной информационной системы:

1) Управление всеми бизнес-процессами предприятия с помощью единой информационной системы управления.

2) Отсутствие необходимости в обмене информацией между основной системой управления и CRM-системой. Следствием этого являются отсутствие задублированной информации, сокращение времени на поиск данных, экономия времени на обмене данными.

3) Оперативный доступ к истории взаимоотношений с клиентами и возможность комплексного анализа взаимоотношений с клиентами за счет других отчетов КИС: «Оборотно-сальдовая ведомость», «Отчет о продажах», «План-фактный анализ продаж», «Ведомость по взаиморасчетам с контрагентами».

4) Комплексное управление бизнес-процессами предприятия.

5) Уменьшение скорости принятия управленческих решений.

6) И, как конечный результат, повышение эффективности управления бизнесом.

Библиографический список

1. Лянцевич М. Разработка стратегии CRM: в поисках сущности управления взаимоотношениями с покупателями. – СПбГУ.

2. Сидоров И. IC: Предприятие 8.0 для управления взаимоотношениями с клиентами. Финансовая газета, № 50 (730), декабрь 2005 г.

3. Шуремов Е.А. Информационные технологии управления взаимоотношениями с клиентами - М.: «IC-Паблишинг», 2005. – 98 с.: ил.

4. <http://www.crmonline.ru/software/cost/>

Дата поступления статьи в редакцию: 23.11.06 г.
©Слободин В.В.

Календарь научных мероприятий

ЕДИНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

Шестая международная научно-практическая конференция-выставка
20 - 22 сентября 2007 года

Организаторы конференции – Министерство образования и науки РФ, Ассоциация образовательных и научных учреждений «Сибирский открытый университет» (АСОУ) и Томский государственный университет (ТГУ).

Цель конференции – анализ и обобщение результатов выполнения региональных программ информатизации, достижений в области научно-педагогического, нормативно-правового обеспечения применения информационных технологий в образовании, создания электронных средств учебного назначения и системы электронных библиотечных ресурсов по уровням образования, повышения квалификации, переподготовки и профессиональной адаптации специалистов в области информационных технологий, развития телекоммуникационной инфраструктуры, создания системы Интернет – порталов сферы образования. Особое внимание будет уделено обсуждению проблем развития межрегиональной единой образовательной информационной среды.

Тематика конференции будет охватывать методологические, научные, учебно-методические, технологические и организационные вопросы формирования единого образовательного информационного пространства России на всех уровнях образования.

Работа конференции будет организована по следующим секциям:

1. Региональные программы информатизации образования.
2. Методологическое, научно-методическое и кадровое обеспечение информатизации образования.
3. Развитие академической мобильности участников образовательного процесса на основе ИКТ.
4. Электронные средства учебного назначения (средства, методы, технологии).
5. Дистанционные образовательные технологии.
6. Автоматизированные информационные системы в образовании и науке.
7. Электронные библиотечные системы.

В рамках конференции состоится круглый стол «Корпоративные образовательные сети как основа единой образовательной информационной среды».

В работе конференции примут участие руководители Федерального агентства по образованию Российской Федерации, руководители органов управления образования субъектов Российской Федерации, руководители и представители вузов России, ближнего и дальнего зарубежья.

Заявки на участие и тезисы докладов принимаются до **1 июня 2007 г.** Наиболее интересные материалы конференции будут опубликованы по итогам конференции в журнале «Открытое и дистанционное образование». Материалы должны быть присланы в адрес оргкомитета не позднее **5 сентября 2007 г.**

Возможно участие в конференции без доклада (заявка обязательна).

Регистрация участников конференции проводится с **10 марта** на сайте ассоциации по адресу: <http://ou.tsu.ru/registration/>

Контактные телефоны: (3822) 52-94-94, 52-96-78, 53-44-33; **Факс:** (3822) 52-95-79; 52-94-94

Контактные лица: Шакирова Альбина Равильевна (shakirova@ido.tsu.ru), Володина Виктория Сергеевна (volodina@ido.tsu.ru)

Адрес: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, 2-й учебный корпус ТГУ, ИДО.



ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

УДК 620.179.16

**Ю. М. ВЕШКУРЦЕВ
А. Ю. ВОЛКОВ**Институт радиоэлектроники,
сервиса и диагностики
ОАО «Транссибнефть»

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ МГНОВЕННЫХ СМЕЩЕНИЙ ЧАСТИЦ НЕОГРАНИЧЕННОЙ УПРУГОЙ СРЕДЫ

Рассматривается неограниченная изотропная линейная упругая среда, в которой разрыв межатомных или межмолекулярных связей вызывает мгновенное смещение частиц. Изучается характеристическая функция смещений частиц среды, свойства функции. Анализируется приложение функции к контролю дефектов методом акустической эмиссии.

При изучении процессов, сопровождающихся возникновением и распространением сигналов акустической эмиссии, появляется необходимость в определении характеристик звукового излучения в некоторой точке возбуждаемой среды.

Как известно [1, 2], сигналы акустической эмиссии представляют собой поток импульсов, причем параметры этих импульсов (амплитуда, длительность, время возникновения и т.д.) являются случайными и связаны с дефектами. В статье [3] описан случай скачкообразного расширения дефекта в виде сферической полости в неограниченной упругой среде. Данная модель дефекта представляется актуальной, так как образовавшийся в

материале микроразрыв можно рассматривать как полость, на поверхности которой величина напряжений скачком уменьшается от исходного уровня до нуля. Но ввиду того, что в реальных объектах внешняя нагрузка на материал, как правило, действует на интервале времени, существенно превышающем длительность переходного процесса в материале, обусловленного данным скачком, то может появиться поток таких скачков. Исходя из вышеприведенных предположений сформулируем условие рассматриваемой задачи.

Пусть в неограниченной изотропной линейной упругой среде имеется сферическая полость радиусом R , на поверхность которой воздействует

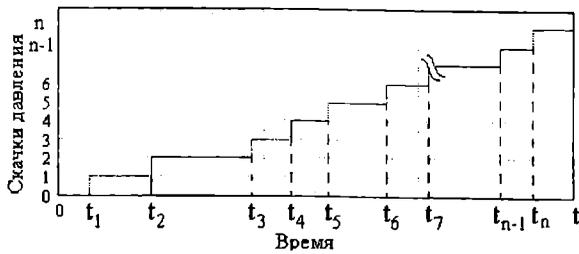


Рис. 1.

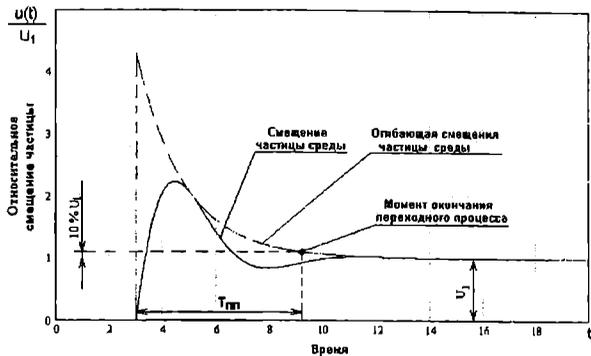


Рис. 2.

направленная по нормали к ней, равномерно распределенная динамическая нагрузка $p(t)$, представляющая собой скачкообразно нарастающее давление (см. рис. 1). Величина скачков давления одинакова $P_i = P_0$, а смещение границы сферической полости гораздо меньше ее радиуса (такое может быть, например, при разрыве межмолекулярных или межмолекулярных связей). Моменты возникновения скачков t_i на временном интервале T случайны, а вероятность возникновения k скачков на этом интервале определяется законом Пуассона [3]:

$$P_k(T) = \frac{(T \cdot N_a)^k}{k!} \cdot \exp(-T \cdot N_a),$$

где N_a – среднее число скачков в единицу времени; $k = 0, 1, 2, \dots, n-1, n$.

Необходимо определить характеристическую функцию мгновенных смещений произвольной точки среды, находящейся на расстоянии r от центра сферической полости, совпадающего с началом координат.

Рассмотрим случай, когда интенсивность скачков такова, что успевает закончиться переходный процесс в упругой среде от очередного скачка, прежде чем возникнет следующий скачок.

Под переходным процессом в упругой среде в данном случае понимается процесс смещения частицы среды из одного неподвижного положения (положения равновесия до воздействия скачка давления) в другое неподвижное положение (положение равновесия после прекращения воздействия скачка давления).

Длительностью переходного процесса ТПП будем считать интервал времени от начала смещения частицы до момента равенства амплитуды отгибающей осцилляций значению $1,1U_1$, где U_1 – величина смещения частиц среды при бесконечном времени наблюдения (см. рис. 2).

В данной статье ограничимся рассмотрением стационарного случая и определим минимальное время, необходимое для прекращения действия переходного процесса от очередного скачка давления в упругой среде.

Для решения задачи воспользуемся выражением [3] для мгновенных смещений частиц от скачкообразного увеличения давления:

$$u(r, t) = \frac{P_0 \cdot R^3}{4 \cdot G \cdot r^2} \cdot \left\{ 1 + \sqrt{2 \cdot (1 - \nu)} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}{1 - \nu} \cdot \frac{r \cdot (r - R)}{R^2} \right] \right\} \cdot \exp\left(-\alpha \cdot \left(t - \frac{r - R}{c}\right)\right) \times \sin\left(\beta \cdot \left(t - \frac{r - R}{c}\right) + \gamma\right) \cdot h\left(t - \frac{r - R}{c}\right), \quad (1)$$

где G – модуль сдвига упругой среды, H/m^2 ; ν – коэффициент Пуассона упругой среды; c – скорость распространения продольных волн в упругой среде, m/c ;

$h(t)$ – функция Хевисайда;

$$\alpha = \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot c}{(1 - \nu) \cdot R}; \quad \beta = \frac{\sqrt{1 - 2 \cdot \nu} \cdot c}{(1 - \nu) \cdot R};$$

$$\gamma = -\arctg\left(\frac{R}{\sqrt{1 - 2 \cdot \nu} \cdot (2 \cdot r - R)}\right).$$

График относительных смещений частицы среды на расстоянии $r = 1000 \cdot R$ от центра сферической полости приведен на рисунке 3. Из графика видно, что переходный процесс заканчивается в пределах 10 с.

Определим минимальный период следования скачков T_{min} , совпадающий с длительностью переходного процесса $T_{пт}$. С этой целью рассмотрим выражение (1) для момента времени $t \rightarrow \infty$. При этом значение смещения частицы среды

$$u_1(r, t \rightarrow \infty) = \frac{P_0 \cdot R^3}{4 \cdot G \cdot r^2}.$$

Минимальный период T_{min} следования скачков давления определим по следующему соотношению:

$$\frac{P_0 \cdot R^3}{4 \cdot G \cdot r^2} \cdot \left\{ 1 + g \cdot \exp(-\alpha \cdot T_{min}) \right\} = 1,1 \cdot \frac{P_0 \cdot R^3}{4 \cdot G \cdot r^2},$$

где $g = \sqrt{2 \cdot (1 - \nu)} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}{1 - \nu} \cdot \frac{r \cdot (r - R)}{R^2} \right]$.

Следовательно,

$$g \cdot \exp(-\alpha \cdot T_{min}) = 0,1,$$

откуда минимальный период следования скачков:

$$T_{min} = \frac{1}{\alpha} \cdot \ln\left(\frac{g}{0,1}\right). \quad (2)$$

В дальнейшем этот период позволяет обеспечить стационарность процесса $u(r, t)$ и независимость мгновенных значений $u(r, t - iT_{min}) = u(r, t - t_i)$.

Общее выражение для одномерной характеристической функции непрерывной случайной величины p определяется формулой [4]:

$$\Theta_1(\nu) = m_1 \{ \exp(j\nu p) \} = \int_{-\infty}^{\infty} W_1(p) \cdot \exp(j\nu p) dp, \quad (3)$$

где ν – параметр характеристической функции;

$W_1(p)$ – одномерная плотность вероятности случайной величины $p(t)$ при всяком t ;

$m_1\{ \cdot \}$ – статистическое среднее.

Кроме того, в [4] приведено выражение для одномерной характеристической функции мгновенных

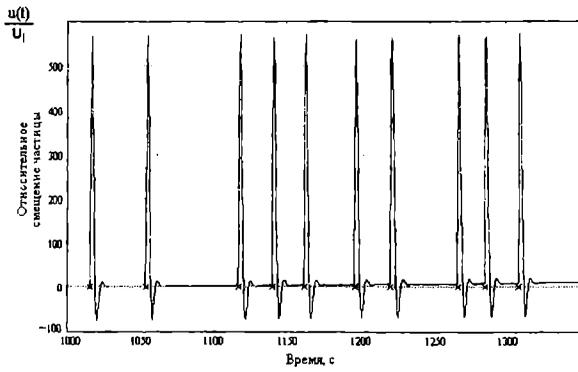


Рис. 3.

венных значений случайного пуассоновского импульсного процесса. Для случая, когда отдельные параметры импульсов независимы и основными влияющими величинами являются амплитуда и время возникновения импульса, преобразуем выражение к следующему виду:

$$\Theta_1(\nu) = \exp \left\{ N_a \cdot \int_{-\infty}^{\infty} W_1(p) \cdot dp \cdot \int_{-\infty}^{\infty} [\exp(j\nu \cdot u(p, t - \tau)) - 1] d\tau \right\},$$

где $u(r, t)$ – детерминированная функция (интегрирование производится по t как по обобщенной переменной вместо t_r , так как характеристическая функция для смещения u , не зависит от номера импульса i).

$$u_i(r, t - t_i) = \frac{P_0 \cdot h(t - t_i) \cdot R^3}{4 \cdot G \cdot r^2}$$

$$\cdot \left\{ 1 + \sqrt{2 \cdot (1 - \nu)} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot (1 - 2 \cdot \nu)}{1 - \nu} \cdot \frac{r(r - R)}{R^2} \right] \right\} \times$$

$$\times \exp(-\alpha \cdot (t - t_i - T_{зад})).$$

$$\cdot \sin(\beta \cdot (t - t_i - T_{зад}) + \gamma) \cdot h(t - t_i - T_{зад}), \quad (4)$$

$$\Theta_1(\nu) = \exp \left\{ N_a \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \delta(p - P_0) \cdot dp \cdot$$

$$\cdot \int_{-\infty}^{\infty} [\exp(j \cdot \nu \cdot A \cdot P_0 \cdot (1 + g \cdot \exp(-\alpha \cdot x)) \cdot$$

$$\cdot \sin(\beta \cdot x + \gamma)) \cdot h(x) - 1] dx \right\}, \quad (5)$$

где $\delta(p)$ – дельта-функция в точке p ;

$$A = R^3 / 4Gr^2;$$

$$x = t - t_i - (r - R) / c;$$

$$T_{зад} = \frac{r - R}{c}.$$

Учитывая фильтрующее свойство дельта-функции и свойство функции Хевисайда $h(x)_{x < 0} = 0$, перепишем последнее выражение:

$$\Theta_1(\nu) = \exp \left\{ N_a \cdot P_0 \cdot \int_0^{\infty} [\exp(j \cdot \nu \cdot A \cdot P_0 \cdot (1 + k \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \cdot \sin(\beta \cdot x + \gamma))) - 1] dx \right\}.$$

Так как при неограниченном увеличении времени наблюдения процесса скачкообразного расширения полости (в случае бесконечного предела интегрирования) радиус сферической полости может измениться настолько, что пренебречь этим будет нельзя, то ограничим время наблюдения расширения полости такой конечной величиной T , чтобы результирующее смещение границы полости было гораздо меньше ее радиуса:

$$\Theta_1(\nu) = \exp \left\{ N_a \cdot P_0 \cdot \int_0^T [\exp(j \cdot \nu \cdot A \cdot P_0 \cdot (1 + k \cdot \exp(-\alpha \cdot x) \cdot \sin(\beta \cdot x + \gamma))) - 1] dx \right\}. \quad (6)$$

Решение интеграла в вышеприведенной формуле аналитически не выражается, поэтому значения характеристической функции вычислялись путем численного интегрирования.

Модуль и фазу характеристической функции можно записать, соответственно, следующими выражениями [5]:

$$|\Theta_1(\nu)| = \sqrt{(\operatorname{Re}(\Theta_1(\nu)))^2 + (\operatorname{Im}(\Theta_1(\nu)))^2}; \quad (7)$$

$$\arg \Theta_1(\nu) = \arctg \left(\frac{\operatorname{Im}(\Theta_1(\nu))}{\operatorname{Re}(\Theta_1(\nu))} \right), \quad (8)$$

где $\operatorname{Re}(\Theta_1(\nu))$ – действительная часть характеристической функции $\Theta_1(\nu)$;

$\operatorname{Im}(\Theta_1(\nu))$ – мнимая часть характеристической функции $\Theta_1(\nu)$.

На рис. 4 представлено семейство графиков модуля характеристической функции мгновенного смещения частицы среды на различных расстояниях (от 3 до 25 м) при следующих идеализированных условиях: $P_0 = 1 \text{ Н/м}^2$; $N_a = 1 \text{ имп/с}$; $R = 1 \text{ м}$; $c = 1 \text{ м/с}$; $G = 1 \text{ Н/м}^2$; $\eta = 0,3$; $T = 30 \text{ с}$.

На рис. 5 приведено семейство графиков модуля характеристической функции мгновенного смещения частицы среды при различном времени наблюдения (от 30 до 500 с) для установленных выше условий на расстоянии 10 м от центра сферической полости.

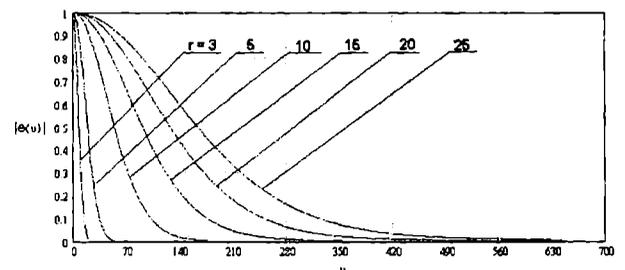


Рис. 4.

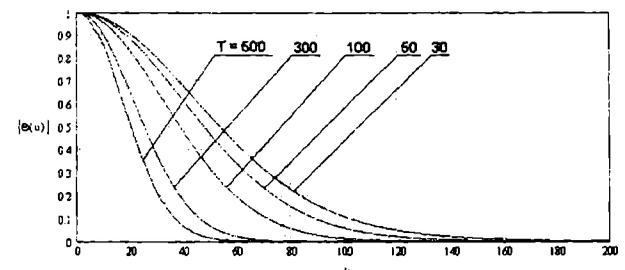


Рис. 5.

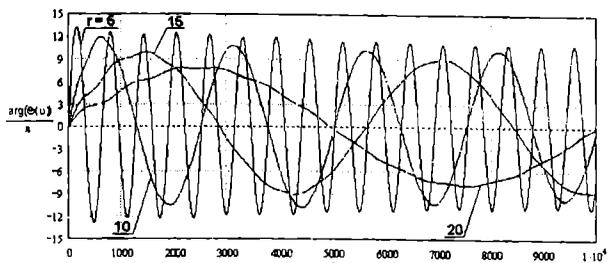


Рис. 6.

На рис. 6 приведено семейство графиков фазы характеристической функции мгновенного смещения частицы среды при времени наблюдения 30 с на различных расстояниях (от 5 до 20 м) от центра сферической полости для установленных выше условий.

На рис. 7 приведено семейство графиков фазы характеристической функции мгновенного смещения частицы среды при различном времени наблюдения (от 30 до 100 с) на расстоянии 10 м для установленных выше условий.

Анализ графиков на рис. 4 – 7 позволяет сделать следующие выводы:

1. При $u = \text{const}$ модуль характеристической функции зависит от расстояния до сферической полости (до дефекта). Следовательно, значение модуля характеристической функции можно использовать для определения координат дефекта.

2. Площадь под кривой модуля характеристической функции зависит от расстояния до сферической полости (до дефекта) и от времени наблюдения за дефектом. Эту площадь можно использовать для диагностики дефекта или мониторинга дефекта.

3. Поскольку модуль характеристической функции случайной величины (дефекта) равен корню квадратному из суммы квадратов действительной и мнимой частей характеристической функции, то сделанные выше выводы в равной степени относятся к обеим ее частям. Это значит, что вполне возможно для диагностики и мониторинга дефектов методом акустической эмиссии использовать знания и опыт, накопленный относительно такой вероятностной характеристики, как характеристическая функция.

4. Фаза характеристической функции изменяется по гармоническому закону, в котором аргумент характеристической функции является переменной величиной, заменяющей текущее время в фазе электрического сигнала. Амплитуда гармонического закона изменения фазы остается практически постоянной и не зависит от расстояния до дефекта (сферической полости). Здесь можно ввести некоторый период изменения фазы $\bar{V} = f(u)$, который зависит

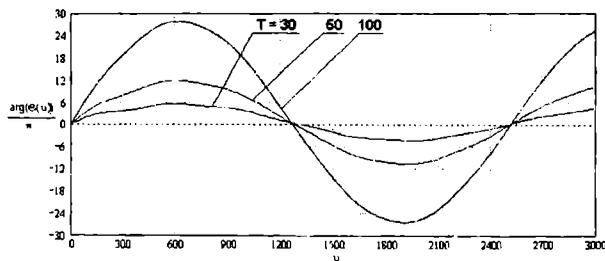


Рис. 7.

от расстояния до дефекта. Контролируя этот период, можно выполнять диагностику и мониторинг дефектов.

5. Фаза характеристической функции аналогично зависит от времени наблюдения за дефектом. Однако амплитуда гармонического закона изменения фазы зависит от времени наблюдения, а период – не зависит. Это еще раз подтверждает мысль, что для диагностики дефектов надо выбрать период изменения фазы характеристической функции. Он изменяется по закону $V_{\text{пер}} = b^2$,

где $b = r_2/r_1$;

r_1 – начальное расстояние до дефекта;

r_2 – увеличенное расстояние до дефекта;

\bar{V} – период фазы характеристической функции при начальном расстоянии до дефекта r_1 .

Библиографический список

1. Трипалин А.С., Буйло С.И. Акустическая эмиссия. Физико-механические аспекты. – Издательство Ростовского университета, 1986. – 160 с.
2. Баранов В.М. Акустические измерения в ядерной энергетике. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
3. Баранов В.М., Грязев А.П. Звуковое излучение при расширении сферической полости в изотропной упругой среде. – Дефектоскопия, 1978, №11. С. 28-34.
4. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть I. Случайные процессы. – М.: Наука, 1976. – 494 с.
5. Вешкурцев Ю.М. Прикладной анализ характеристической функции случайных процессов. М.: Радио и связь, 2003. – 204 с.

ВЕШКУРЦЕВ Юрий Михайлович, доктор технических наук, профессор, ректор института радиотехники, сервиса и диагностики.

ВОЛКОВ Александр Юрьевич, начальник центральной лаборатории металлов и сварки, заместитель начальника отдела обеспечения качества центральной базы производственного обслуживания ОАО «Транссибнефть».

Дата поступления статьи в редакцию: 16.11.06 г.
© Вешкурцев Ю.М., Волков А.Ю.

Книжная полка

Мельников В.П. Информационная безопасность и защита информации: учеб. пособие / В.П. Мельников, А. Клейменов, А.М. Петраков. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 336 с.

В учебнике представлены основные положения, понятия и определения обеспечения информационной безопасности деятельности общества, его различных структурных образований, организационно-правового, технического, методического, программно-аппаратного сопровождения. Особое внимание уделено проблемам методологического обеспечения деятельности как общества, так и конкретных фирм и систем (ОС, СУБД, вычислительных сетей), функционирующих в организациях и фирмах. На реальных примерах описаны криптографические методы и программно-аппаратные средства обеспечения информационной безопасности, их защиты от изучения, вирусного заражения, разрушающих программных действий и изменений.

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ И УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

В работе представлена структура комплексной системы диагностирования технического состояния радиотехнических и управляющих устройств подвижного состава. Проведено моделирование показателей безопасности тяговых электродвигателей постоянного тока и возимых радиостанций.

Обеспечение безопасности движения грузо- и пассажиропотоков является основным принципом при организации транспортных перевозок, особенно при растущих объемах и скоростях.

Одной из наиболее актуальных задач безопасного движения является обеспечение системы своевременного диагностирования и ремонта подвижного состава. Отлаженная система технического обслуживания способна поддерживать электроподвижной состав в работоспособном состоянии, его надежную и безопасную эксплуатацию.

Движение электроподвижного состава по сети железных дорог обеспечивается стабильной, безотказной работой тяговых электродвигателей, являющихся основным элементом электровоза и требующих выявления неисправностей его узлов с их последующим устранением и ведением статистики возможных отказов. Другим важнейшим элементом, обеспечивающим безопасность транспортных потоков, является возимая радиостанция, установленная на локомотиве и обеспечивающая непрерывную радиосвязь машиниста со службами движения - дежурными по станциям и поездным диспетчером. Особенно важно наличие непрерывной радиосвязи в сложных и аварийных ситуациях. Время проведения работ по техническому обслуживанию должно являться оптимальным, поскольку оно обеспечивает безопасность движения и минимизацию затрат на обслуживание локомотивов.

Диагностирование и ремонт узлов электровоза в настоящее время производится на базе локомотивных депо, но работает несколько бригад, причем подчиняются они разным дорожным дирекциям. К примеру, ремонт тяговых электродвигателей (ТЭД) осуществляется работниками локомотивного хозяйства, а ремонт возимых радиостанций - службой связи. Это приводит к простоям локомотива на ремонте. Существующая система диагностирования (рис. 1) представляет собой локальные подсистемы схожей структуры, состоящие из следующих основных блоков: персонального компьютера (ПК), устройства согласования (УС), объекта диагностирования (ОД) и измерительного устройства (ИУ). Система не имеет централизации, а соответственно,

и возможности прогнозирования отказов объекта по статистическим данным на основании диагностирования при предыдущем техническом обслуживании, поскольку персональный компьютер не обладает достаточными ресурсами для их хранения и расчета. Вычислительные машины большой мощности являются дорогостоящим оборудованием, и их применение в локомотивных депо нецелесообразно.

Для реализации поставленной задачи в работе предлагается комплексная система диагностирования, приведенная на рис. 2. Она позволяет на базе единого подхода к диагностированию и анализу информации решать как задачу диагностирования тягового электродвигателя в соответствии с ГОСТ 2582-81 [1], так и систему радиосвязи поездных бригад с диспет-

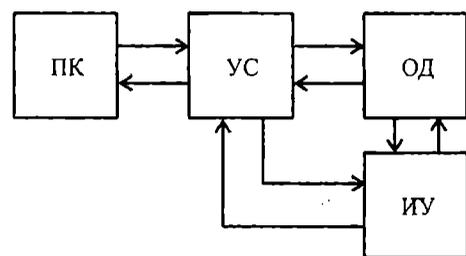


Рис. 1. Локальная система диагностирования

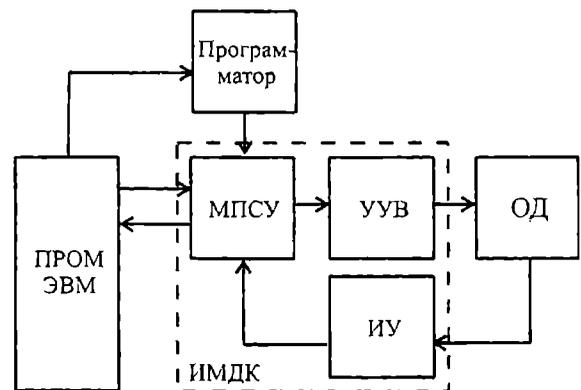


Рис. 2. Комплексная система диагностирования

Исходные данные для моделирования параметров безопасности

Таблица 1

Вид функции распределения	Периодичность ТО, ч	Ошибки диагностирования				Параметры времени, мин			
		α_1	β_1	α_2	β_2	t_3	t_5	t_{11}	t_p
Диагностирование тягового электродвигателя ТЛ-2К1									
$F_{01}(T)=1 - e^{-\lambda_3 T}$	0...17520	0	0	0,05	0,01	30	5	30	15
$F_{02}(T)=1 - e^{-\lambda_{оп} T}$									
$F_{12}(T)=1 - e^{-\lambda_3 T}$									
Диагностирование возимой радиостанции РВ-1М									
$F_{01}(T)=1 - e^{-\lambda_3 T}$	0...17520	0,01	0,005	0,02	0,001	8	10	5	5
$F_{02}(T)=1 - e^{-\lambda_{оп} T}$									
$F_{03}(T)=1 - e^{-\lambda_{п} T}$									
$F_{12}(T)=1 - e^{-\lambda_3 T}$									

чером по ГОСТ 27.002 [2]. Данная система позволяет централизовать информацию о диагностируемом оборудовании и узлах на отдельном промышленном компьютере, обеспечивающем дальнейший анализ полученной информации, что позволит уменьшить время, отводимое на анализ технического состояния диагностируемого оборудования, и уменьшить себестоимость проводимых работ.

Система представляет собой два основных модуля: промышленная электронная вычислительная машина и измерительный модуль диагностического комплекса (ИМДК). Измерительный модуль включает в себя submodule: микропроцессорную систему управления (МПСУ), усилитель управляющего воздействия (УУВ) и непосредственно измерительное устройство. Микропроцессорная система управления синтезирует управляющее воздействие [3], подаваемое на объект диагностирования (ОД) с предварительным усилением управляющего воздействия. Измерительное устройство регистрирует отклик системы и по цепи обратной связи формирует в МПСУ величину рассогласования. Информация об объекте диагностирования сохраняется в дополнительном переносном модуле памяти, из которого она переносится на промышленную ЭВМ. Задачей промышленной ЭВМ является расчет оптимальных управляющих воздействий в соответствии с алгоритмом цифрового управления [4], которые задаются микропроцессорной системе управления с помощью программатора; анализ текущего технического состояния и прогноз вероятности безотказной работы, периодичности технического обслуживания.

В работе применена математическая модель, построенная с использованием теории полумарковских и марковских случайных процессов. Модель позволяет определять показатели безопасности технических систем. Учитывается ряд факторов, в частности: 1) условия эксплуатации и технического обслуживания; 2) «человеческий фактор» — ошибки, совершаемые обслуживающим персоналом (ОП) при проведении работ по ТО, и уровень квалификации персонала; 3) ошибки диагностирования первого и второго рода (α и β) аппаратуры диагностики (АД), как встроенной (имеющей в составе технической системы), так и внешней, используемой при проведении мероприятий по ТО и ремонту; 4) количественное изменение параметров

аппаратуры, влияющих на безопасность, так называемая разрегулировка. Понятие «разрегулировка» не является термином, определенным в нормативной документации. Тем не менее данное понятие часто применяется на практике и означает количественное изменение значения одного или нескольких параметров, по которым определяется безопасность исследуемой системы в процессе её эксплуатации. В данной работе под словом «разрегулировка» будем подразумевать отклонение параметра, определяющего работоспособность системы, от номинальных значений (с учетом допустимых отклонений), оговоренных в нормативно-технической документации на изделие.

Исходными данными для моделирования являются функции распределения времени перехода системы из одного состояния в другое: из работоспособного в защитное $F_{01}(T)$, из работоспособного в опасное $F_{02}(T)$, из защитного в опасное $F_{12}(T)$, из работоспособного в разрегулированное $F_{03}(T)$. Кроме того, используются данные об интенсивности отказов: опасного отказа $\lambda_{оп}$, защитного отказа λ_3 , внезапных λ_p и постепенных отказов $\lambda_{п}$, а также интенсивности переходов из одного состояния в другое. Учет ошибок диагностирования первого (α) и второго (β) рода для встроенной (α_1, β_1) и внешней (α_2, β_2) АД позволяет повысить точность моделирования и адекватность модели исследуемым процессам [5]. Поскольку ТЭД не имеют встроенной АД, то значения ошибок α_1, β_1 приняты равными нулю. Данные, используемые для моделирования, приведены в таблице 1. Также модель позволяет учесть параметры времени проведения работ по ТО: время замены неисправного узла t_3 , время поиска неисправностей t_5 , время проверки системы $t_{п}$.

Таким образом, подготовленные данные могут быть использованы для оценки показателей безопасности технической системы. Основные результаты моделирования представлены в виде графиков зависимостей модифицированных показателей безопасности $K_6(T)$ и $K_{6,тн}(T)$ [6] от периодичности ТО (рис. 3). Функционал безопасности $K_6(T)$ показывает вероятность нахождения системы в работоспособном или защитном состоянии с учетом ошибок диагностирования. Функционал безопасного технического использования $K_{6,тн}(T)$ можно определить как отношение суммарного истинного времени нахождения систе-

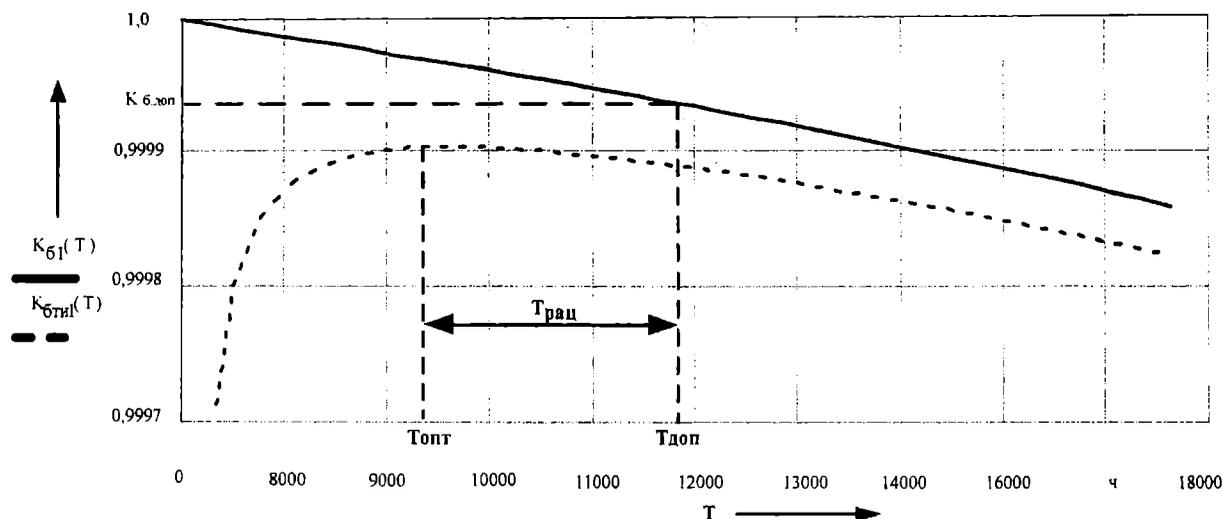


Рис. 3. Результаты моделирования показателей безопасности тягового электродвигателя ТЛ-2К1

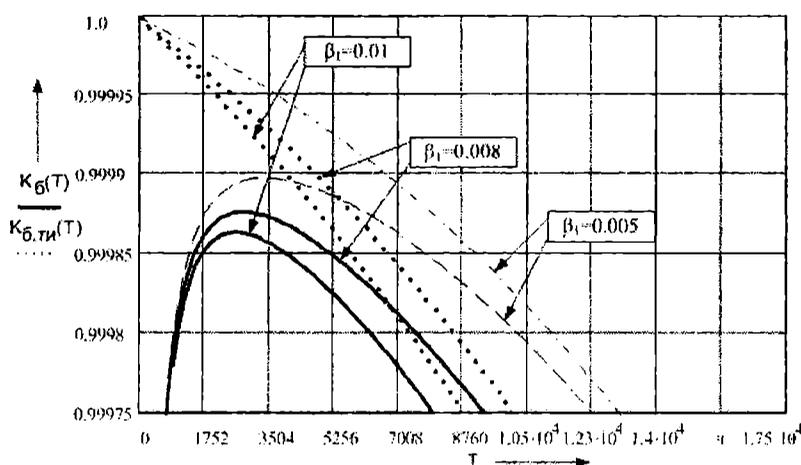


Рис. 4. Результаты моделирования показателей безопасности возимой радиостанции РВ-1М

мы в состояниях, приносящих доход, к общему наблюдаемому времени (т.е. с учетом ошибок диагностирования) эксплуатации системы, состоящему из интервалов работы, восстановления и ТО. Аналитические выражения для $K_b(T)$ и $K_{b.tи}(T)$ не приводятся ввиду их громоздкости. По результатам моделирования определяется рациональная периодичность ТО, т.е. периодичность, при которой обеспечиваются высокие показатели безопасности, с одной стороны, и эффективная эксплуатация системы – с другой.

Результаты моделирования показателей безопасности тягового электродвигателя ТЛ-2К1 приведены на рис. 3.

По результатам моделирования можно определить рациональную периодичность ТО $T_{рац}$, которая составляет 1 год. При такой периодичности обеспечивается уровень безопасности не ниже допустимого $K_{b.доп} = 0,9994$. Оптимальная периодичность составляет 1 год и 1 месяц. Полученные результаты близки к значениям периодичности ТО локомотивов, используемым на практике 400 тысяч километров для технического ремонта типа ТР-3 при средней загрузке локомотива.

Результаты моделирования параметров безопасности возимой радиостанции РВ-1М с учетом ошибок диагностирования второго рода приведены на рис. 4. Получены следующие результаты моделирования: при изменении значений β_1 наблюдается адекватная реакция модели – ухудшение параметров безопасности при увеличении вероятности

ошибок второго рода. Рекомендуемое значение $\beta_1 = 0,005$. Для сохранения уровня безопасности необходимо предъявлять жесткие требования к встроенной системе диагностирования. Рекомендованная периодичность ТО радиостанции составляет 1 год, что вполне согласуется со значением, полученным в процессе эксплуатации данной радиостанции и равной 1 году.

На основании полученных результатов моделирования можно рекомендовать применение данной математической модели расчета показателей безопасности для прогнозирования периодичности ТО различных диагностируемых объектов.

Библиографический список

1. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. - М.: Издательство стандартов, 1981.
2. ГОСТ 27.002-89. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 2002.
3. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б. И. Копылова. - М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. - 832 с.
4. Красулин А.В. Алгоритм цифрового управления электротехническим исполнительным устройством./ Сб. науч. статей аспирантов и студентов ун-та. Вып. 6. Омск: ОмГУПС, 2006. С. 114-119.
5. Держо Г.Г., Литовкин Д.В. О соотношении истинного и наблюдаемого времени нахождения аппаратуры радиосвязи в работоспособном состоянии и его влиянии на параметры

безопасности. Безопасность движения поездов: Тр. науч.-практ. конф. / Моск. гос. ун-т путей сообщения (МИИТ). М., 2003.

б. Держо Г.Г., Филенков В.В. Критерии количественной оценки безопасности технических объектов железнодорожного транспорта // Проблемы электромагнитного влияния и надежность функционирования систем передачи информации на железнодорожном транспорте: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2001. С. 72-75.

КОГУТ Алексей Тарасович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Радиотехнические и управляющие системы», директор ИАТИТ.
КРАСУЛИН Александр Владимирович, программист управления информационных технологий.
ЛИТОВКИН Денис Владимирович, инженер научно-исследовательской части.

Дата поступления статьи в редакцию: 22.11.06 г.
© Когут А.Т., Красулин А.В., Литовкин Д.В.

УДК 537.226.1

Н. Ф. ПОДКОВКО

Омский филиал
Российского заочного института
текстильной и легкой промышленности

РЕФРАКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ГЕТЕРОГЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В результате проведенного обзорного анализа показана перспективность использования рефракционной модели при обработке данных, полученных с помощью радиофизических методов. Рассмотрены основные возможные факторы, ограничивающие применение рефракционной модели. Получены математические формулы, которые могут быть полезны при обработке результатов измерений.

При разработке методов интерпретации данных, полученных с помощью радиотехнических средств, одной из наиболее актуальных является задача адекватного описания взаимодействия электромагнитных волн с исследуемой средой через эффективную комплексную диэлектрическую проницаемость среды $\epsilon = \epsilon'(1 - j\sigma\delta)$.

Исследуемые среды - это, как правило, сложные гетерогенные системы. В общем случае в таких системах необходимо учитывать как процессы рассеяния электромагнитных волн на отдельных неоднородностях, так и взаимное влияние друг на друга компонентов, составляющих смесь. Многие физико-химические аспекты проблемы учета этих факторов еще недостаточно изучены. Однако, исходя из накопленных в науке более чем за сто лет сведений, касающихся диэлектрической проницаемости ϵ различных материалов, можно сделать определенные выводы о возможностях использования наиболее распространенных моделей.

Ниже рассматриваются материалы, состоящие из некоторого числа n химически однородных компонентов, удовлетворяющие следующим условиям:

1) магнитная проницаемость $\mu_i = 1$ (в дальнейшем индексом i будет i -й компонент смеси);

2) характерные размеры частиц l_i каждого из компонентов много меньше длины волны λ_i , для которой определяется ϵ , т.е. процессами рассеяния можно пренебречь и справедливо квазистатическое приближение;

3) отсутствует поляризация, связанная с перемещением под действием электромагнитного поля подвижных носителей зарядов в пределах небольших объемов, ограниченных неоднородностями материала (так называемая структурная, или интерфейсная, поляризация).

Первое условие выполняется для подавляющего большинства природных объектов во всем диапазоне радиочастот (почвогрунты, многие горные породы, снег, лед, фитогенные элементы растений и т.д.). Условия второе и третье накладывают ограничения на допустимый диапазон длин волн снизу и сверху соответственно. Для таких типичных объектов, как почвогрунты, осадочные породы, снег, фитогенные элементы растений, нижняя граница обычно приходится либо на миллиметровый, либо на нижнюю часть сантиметрового диапазона длин волн. Верхняя граница специфична для каждого конкретного материала и варьирует в широких пределах в зависимости от множества факторов, основные из которых: удельное содержание воды и ее соленость; величина запаса катионного обмена, удельное содержание глинистой фракции; наличие и концентрация в водном растворе коллоидных частиц и макромолекул органического происхождения. Так, практически во всем радиодиапазоне не проявляют дисперсии, связанной с интерфейсной поляризацией, сухие почвогрунты и горные породы [1-13], а также, независимо от их влагосодержания, пресноводный лед и чистый

снег [6]. Сухими принято считать материалы, из которых удалена вся влага, за исключением химически связанных молекул воды. Подобное состояние в естественных условиях наблюдается лишь в самых засушливых аридных зонах. При обычной влажности окружающего воздуха исследуемые образцы доводятся до сухого состояния путем стандартной процедуры высушивания при температуре 105°C. Воздушно-сухие (содержащие в себе прочно связанную влагу) почвогрунты проявляют структурную поляризацию при частотах, как правило, не превышающих 1-10 МГц [1-4, 7, 14]. То же самое относится и к горным породам [8-12]. Высокопористые материалы (пористость порядка 10% и более) часто содержат в себе влагу в количествах, заметно превышающих влажность, соответствующую их воздушно-сыхому состоянию. В этом случае граничная частота, начиная с которой интерфейсной поляризацией почвогрунтов и горных пород можно пренебречь, приходится чаще всего на диапазон 10-200 МГц [1-3, 5, 8, 12-14]. В почвах солончакового типа и осадочных породах, насыщенных высококонцентрированными растворами солей, граничная частота иногда достигает микроволнового диапазона. Например, по данным работ [12, 13, 15, 16], граничные частоты могут превышать 1,2 ГГц. Итак, к использованию обсуждаемых ниже методик расчета ϵ следует подходить с известной осторожностью. В частности, на длинах волн от 0,8 до 100 см, характерных для дистанционного зондирования, условия 1, 2 и 3, как правило, выполняются.

Начиная с работ Релея, Лоренца и Максвелла, широкое распространение среди исследователей получил феноменологический подход к расчету ϵ . В рамках этого подхода величина ϵ полностью определяется следующими факторами: диэлектрической проницаемостью ϵ_i отдельных компонентов, из которых образуется смесь; удельным объемным содержанием компонентов V_i ; структурой смеси. В наиболее обобщенном виде феноменологический подход изложен в работе [17]. Смесь представляется состоящей из разнообразных включений, помещенных в некоторую однородную среду, причем включения рассматриваются как независимые рассеиватели (в работах [18, 19] помимо учета формы включений предприняты попытки учета их расположения относительно других компонентов). Показано, что известные феноменологические формулы получаются из общего выражения путем подбора соответствующего вида функции $\epsilon_a = f(\epsilon, \epsilon_i)$, где ϵ_a – так называемая кажущаяся диэлектрическая проницаемость.

Использование феноменологических формул для расчета ϵ гетерогенных материалов затруднительно по ряду причин. Во-первых, реальные включения имеют сложную неправильную форму, которая может значительно отличаться от принятой в феноменологической теории обобщенной эллипсоидальной формы. Во-вторых, в случае многокомпонентной смеси возникает проблема разделения ее на составные части по признаку «включение – включающая среда» (наглядно это видно из работы [20]). В-третьих, исходные допущения, сделанные при выводе многих классических формул смесей (особенно на ранней стадии развития теории), предполагают достаточно малую концентрацию включений. Все эти трудности привели к тому, что на практике чаще применяются упрощенные полупырические формулы.

Наиболее удовлетворительно экспериментальные данные описываются следующими уравнениями:

$$\epsilon^k = \sum_{i=1}^n V_i \epsilon_i^k; \quad (1)$$

$$\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + u} = \sum_{i=1}^n V_i \frac{\epsilon_i - 1}{\epsilon_i + u}, \quad (2)$$

где $-1 \leq k \leq 1$ и $0 \leq u \leq \infty$ – параметры, которые учитывают структуру материала, определяются из эксперимента и называются коэффициентом формы или форм-фактором.

В работе [21] теоретически, исходя из общих представлений о распространении электромагнитных волн в изотропной неоднородной среде, получена рефракционная формула, которая является частным случаем уравнения (1):

$$\sqrt{\epsilon} = \sum_{i=1}^n V_i \sqrt{\epsilon_i}. \quad (3)$$

Рефракционная формула широко применяется в исследованиях, особенно в случаях, когда предпринимается попытка описать зависимость диэлектрической проницаемости материала от его влажности, т.е. когда значения ϵ_i существенно отличаются друг от друга и получаются наибольшие расхождения при использовании различных формул смесей (почвогрунты [21-25], горные породы [13, 15], растительные материалы [26]). В каждой из перечисленных работ благодаря применению рефракционной модели достигнуто хорошее соответствие теоретических расчетов и экспериментальных данных.

В процессе образования смеси отдельные ее компоненты в той или иной степени оказывают влияние друг на друга (примером может служить связующее действие частичек почвы по отношению к почвенной влаге). Поэтому составляющие ϵ_i в уравнении (3) имеют физический смысл эффективных диэлектрических проницаемостей, которые в результате установились в смеси. Эта особенность рефракционной формулы позволяет обойти методологические трудности, которые характерны для применения обычных феноменологических формул. Необходимо лишь на основе разумных физических представлений рассчитать исходные значения ϵ_i . Так, в первом приближении изменение состояния почвенной влаги при связывании ее твердыми частицами почвы учитывается путем введения дополнительного слагаемого ϵ_i в уравнение (3), которое соответствует некоторой «усредненной» диэлектрической проницаемости прочно связанной влаги [22, 23]. Более точно связанную влагу можно учесть в рамках усовершенствованной модели [25], где в качестве исходных параметров используются гидрологические константы почвы.

Наиболее простой и удобной для экспериментальной проверки рефракционной формулы является смесь «твердый диэлектрик – воздух», для которой можно полагать, что в процессе образования смеси диэлектрическая проницаемость ее компонентов остается неизменной. В работе [27] экспериментально и расчетным путем показано, что для наиболее распространенных земных пород значение $a = (\sqrt{\epsilon} - 1)/\rho$ является инвариантой относительно их плотности ρ , причем незначительно меняется для различных пород. Этот же результат можно получить теоретически, используя рефракционную модель. Применительно к системе «твердая

фаза – воздух» имеем: $\sqrt{\epsilon} = \Pi + (1 - \Pi)\sqrt{\epsilon_T}$, где ϵ_T – комплексная диэлектрическая проницаемость твердой фазы; Π – общая пористость материала. Учитывая, что $\Pi = 1 - \rho/\rho_T$, где ρ_T – плотность твердой фазы, получаем:

$$\frac{\sqrt{\epsilon} - 1}{\rho} = \frac{\sqrt{\epsilon_T} - 1}{\rho_T} \quad (4)$$

Приравняв действительные и мнимые части уравнения (4), получим систему двух уравнений:

$$\frac{\sqrt{\epsilon'} \cos(\delta/2) - 1}{\rho} = \frac{\sqrt{\epsilon'_T} \cos(\delta_T/2) - 1}{\rho_T}; \quad (5)$$

$$\frac{\sqrt{\epsilon'} \sin(\delta/2)}{\rho} = \frac{\sqrt{\epsilon'_T} \sin(\delta_T/2)}{\rho_T} \quad (6)$$

Принимая во внимание малость тангенса угла потерь δ для большинства материалов, упростим уравнение (5):

$$\frac{\sqrt{\epsilon'} - 1}{\rho} = \frac{\sqrt{\epsilon'_T} - 1}{\rho_T} \quad (7)$$

Из (7) видно, что при неизменности свойств твердой фазы величина a – инварианта относительно плотности материала ρ . Оценим справедливость равенства (7) на примерах кварцевого песка, сухого снега и искусственного, приготовленного из плавленого стекла пористого материала. Учитывая, что для кристаллического кварца в среднем $\epsilon'_T \approx 4,4$ [9, 10] и $\rho_T \approx 2,68$ г/см³, получим $a = 0,41$, что хорошо согласуется с результатом работы [27], где $a = 0,4$. В работе [28] приведена экспериментальная формула для расчета эффективной диэлектрической проницаемости сухого снега ϵ'_c (смесь «лед – воздух»):

$$\epsilon'_c = 1 + 1,7\rho + 0,7\rho^2 \quad (8)$$

Учитывая, что плотность ρ_T и диэлектрическая проницаемость ϵ'_T для льда равны соответственно 0,917 г/см³ и 3,15, из равенства (7) получим формулу: $\epsilon'_c = (1 + 0,845\rho)^2$, которая дает практически те же результаты, что и формула (8) в диапазоне значений ρ , характерных для сухого снега. И, наконец, как показывают расчеты, благодаря использованию рефракционной модели в случаях, когда пористый материал из плавленого стекла полностью заполнен либо воздухом, либо пресной водой, либо метанолом, получаются результаты, в большей степени соответствующие экспериментальным данным по сравнению с расчетами по модели, предложенной в работе [19]. Значения входных параметров были заимствованы из работы [19].

Решая систему уравнений (5) и (6) относительно δ , получим:

$$\delta = 2 \arctg \left[\frac{\rho \sqrt{\epsilon'_T} \sin(\delta_T/2)}{\rho \sqrt{\epsilon'_T} \cos(\delta_T/2) + \sqrt{\cos \delta_T} (\rho_T - \rho)} \right] \quad (9)$$

Из уравнения (5) имеем:

$$a = \left[\frac{\sqrt{\epsilon'_T} \cos(\delta_T/2) - 1}{\rho_T} + \frac{1}{\rho} \right] \frac{\sqrt{\cos \delta}}{\cos(\delta/2)} - \frac{1}{\rho} \quad (10)$$

По формулам (9) и (10) на ЭВМ были рассчитаны значения a и приведенной в работе [27] инварианты $b = \text{tg} \delta / \rho$, в большом диапазоне изменения параметров ρ_T , ϵ'_T , $\text{tg} \delta_T$, и ρ ($1,5 \leq \rho_T \leq 4$ г/см³; $3 \leq \epsilon'_T \leq 12$; $0,001 \leq \text{tg} \delta_T \leq 1$; $0,25 \leq \rho \leq \rho_T$ г/см³). Как показали расчеты, относительное изменение инварианты a в случае, если не учитываются диэлектрические потери, не превосходит 1% при $\text{tg} \delta_T \leq 0,2$. Для величины b характерно заметное изменение в зависимости от плотности ρ (монотонно уменьшается при увеличении ρ). Поэтому об инвариантности b можно говорить лишь применительно к определенному узкому диапазону значений ρ . Так, для наибольшего интервала из работы [27] $1,2 \leq \rho \leq 2,5$ г/см³ и возможных диапазонов изменения параметров соответствующих пород: $2,5 \leq \rho_T \leq 3,5$ г/см³; $4 \leq \epsilon'_T \leq 6$; $\text{tg} \delta_T \leq 0,2$ – получаем, что отклонение b относительно среднего значения не превышает 15-20%. Этот результат согласуется с данными работы [27], где отмечается, что b с точностью 15% не зависит от плотности ρ .

Из уравнений (5) и (6) можно получить инварианту d , содержащую по аналогии с величиной b только параметры δ и ρ :

$$d = \frac{\text{tg}(\delta/2)(c\rho + 1)}{\rho} = \frac{\sqrt{\epsilon'_T} \sin(\delta_T/2)}{\sqrt{\cos \delta_T} \rho_T} \quad (11)$$

$$\text{где } c = \frac{\sqrt{\epsilon'_T} \cos(\delta/2) - 1}{\rho_T} \approx \frac{\sqrt{\epsilon'} - 1}{\rho} = a \text{ при } \text{tg} \delta_T \leq 0,2.$$

Как уже отмечалось выше, условия инвариантности выполняются, если свойства твердой фазы при уплотнении остаются неизменными. В работе [29] установлено, что для основных и ультраосновных мелкораздробленных горных пород инвариантность a и b сохраняется лишь при ρ менее 2 г/см³. Указанное отклонение, вероятнее всего, объясняется двумя причинами:

- 1) изменением диэлектрических характеристик твердой фазы при значениях ρ , близких к ρ_T ;
- 2) проявлением анизотропных свойств материала вследствие того, что под воздействием достаточно большого давления появляется преимущественная ориентация плоских либо «приплюснутых» частиц в направлении, перпендикулярном направлению приложенной силы. К сожалению, информация о форме частиц материала в работе [29] отсутствует, что не позволяет однозначно выделить эффект анизотропии.

Следует отметить еще одно соображение, указывающее на перспективность использования рефракционной модели. При исследовании связи между показателем преломления прозрачного однородного материала и его плотностью для газов экспериментальным путем была получена формула, по виду совпадающая с уравнением (7) [30]. Если принять гипотезу о том, что закон суммирования показателей преломления (3) справедлив не только для макро-, но и для микрообъемов, соизмеримых с размерами молекул, получим:

$$a = \frac{\sqrt{\epsilon'_M} - 1}{\rho} = \frac{\sqrt{\epsilon'_M} - 1}{\rho_M} \quad (12)$$

где ϵ'_M и ρ_M – соответственно вещественная часть диэлектрической проницаемости и плотность молекулы газа.

Рассмотренная рефракционная модель с учетом оговоренных в начале статьи ограничений может широко применяться при решении разнообразных задач радиофизическими методами. Это задачи дистанционного зондирования, контроля технологических параметров материалов (например, определение их влажности), обработка и интерпретация данных исследований или наблюдений и т.д. В частности, в работе [31] на основе рефракционной модели получена функция:

$$A(\varepsilon', \delta) = \frac{\sqrt{\varepsilon'} \cos(\delta/2) - \sqrt{\cos \delta}}{\sqrt{\varepsilon'} \sin(\delta/2)}, \quad (13)$$

которая оказалась одной из самых устойчивых по отношению к возможным изменениям плотности контролируемого материала среди других подобных функций. Таким образом, при измерении влажности материалов СВЧ-методами влияние флуктуаций плотности на показания влагомера можно существенно уменьшить.

Библиографический список

- R.L. Smith-Rose. The electrical properties of soil for alternating currents at radio frequencies // Proc. Roy. Soc. — 1933. — Vol. 140, no. 841A. — Pp. 359-377.
- R.L. Smith-Rose. The electrical properties of soil at frequencies up to 100 megacycles per second, with a note on the resistivity of ground in the United Kingdom // Proc. Phys. Soc. — 1935. — Vol. 47, part 5, no. 262. — Pp. 923-931.
- Лещанский Ю.И., Лебедева Г.Н., Шумилин В.Д. Электрические параметры песчаного и глинистого грунтов в диапазоне сантиметровых, дециметровых и метровых волн // Изв. вузов. Радиофизика. — 1971. — Т. 14, № 4. — С. 562-569.
- Вадюнина А.Ф., Ткаченко Ю.Г. Зависимость электрических свойств почвы от частоты электрического тока // Вест. моск. ун-та. — 1972. — № 4. — С. 82-86.
- Хипп Дж.Е. Зависимость электромагнитных характеристик почвы от влажности, плотности и частоты // ТИИЭР. — 1974. — Т. 62, № 1. — С. 122-127.
- R.J. Lytle. Measurement of earth medium electrical characteristics: techniques, results and applications // IEEE Trans. Geosci. Electron. — 1974. — Vol. GE-12, no. 1. — Pp. 81-101.
- Ткаченко Ю.Г., Вадюнина А.Ф., Воронин А.Д. Особенности электрических свойств почв в области прочно связанной влаги // Почвоведение. — 1982. — № 10. — С. 42-51.
- B.F. Howell and P.H. Licastro. Dielectric behavior of rocks and minerals // Am. mineralogist. — 1961. — Vol. 46. — Pp. 269-288.
- Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. — М.: Наука, 1965. — 164 с.
- Бондаренко А.Т. Частотная зависимость диэлектрических свойств пород Кольского полуострова // Физика Земли. — 1965. — № 5. — С. 101-107.
- Горные породы в физических полях / А.С. Чантуришвили и др. — Тбилиси: Мецниба, 1971. — 229 с.
- J.P. Poley J.J. Nooteboom and P.J. de Waal. Use of V.H.F. dielectric measurements for borehole formation analysis // Log. Anal. — 1978. — Vol. 19, no. 3. — Pp. 8-30.
- R.N. Rau and R.P. Wharton. Measurement of core electrical parameters at ultrahigh and microwave frequencies // J. Geophys. Technol. — 1982. — Vol. 34. — Pp. 2689-2700.
- P. Hoekstra and A. Delaney. Dielectric properties of soils at UHF and microwave frequencies // J. Geophys. Res. — 1974. — Vol. 79, no. 11. — Pp. 1699-1708.
- W.E. Kenyon. Texture effects on megahertz dielectric properties of calcite rock samples // J. Appl. Phys. — 1984. — Vol. 55, no. 8. — Pp. 3153-3159.
- D. Stroud, G.W. Milton and B.R. De. Analytical model for the dielectric response of brine-saturated rocks // Physical review B. — 1986. — Vol. 34, no. 8. — Pp. 5145-5153.
- A.H. Sihvola and J.A. Kong. Effective permittivity of dielectric mixtures // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. — 1988. — Vol. GE-26, no. 4. — Pp. 420-429.
- W.R. Tinga, V.A.G. Voss and D.F. Blossey. Generalized approach to multiphase mixture theory // J. Appl. Phys. — 1973. — Vol. 44, no. 9. — Pp. 3897-3902.
- P.N. Sen, C. Scala and M.H. Cohen. Self-similar model for sedimentary rocks with application to the dielectric constant of fused glass beads // Geophysics. — 1981. — Vol. 46, no. 5. — Pp. 781-795.
- D. Wobschall. A theory of the complex dielectric permittivity of soil containing water: the semi disperse model // IEEE Trans. Geosci. Electron. — 1977. — Vol. GE-15, no. 1. — Pp. 49-58.
- Определение влажности грунта с помощью СВЧ-датчиков из диэлектрика с большой диэлектрической проницаемостью / Дж.Р. Бирчак, К.Дж. Гарднер, Дж.Е. Хипп, Дж.М. Виктор // ТИИЭР. — 1974. — Т. 62, № 1. — С. 115-121.
- J.R. Wang and T.J. Schumge. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. — 1980. — Vol. GE-18, no. 4. — Pp. 288-295.
- M.C. Dobson, F.T. Ulaby, M.T. Hallikainen and M.A. El-Rays. Microwave dielectric behavior of wet soil. — Part II: dielectric mixing models // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. — 1985. — Vol. GE-23, no. 1. — Pp. 35-46.
- Шутко А.М. СВЧ радиометрия водной поверхности и почвогрунтов. — М.: Наука, 1986. — 190 с.
- Подковко Н.Ф. Модель комплексной диэлектрической проницаемости почвогрунтов в диапазоне СВЧ // Вопросы радиоэлектроники. Серия ОБР. — 1990. — № 1. — С. 73-80.
- F.T. Ulaby and R.P. Jedlicka. Microwave dielectric properties of plant materials // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. — 1984. — Vol. GE-22, no. 4. — Pp. 406-414.
- Кротиков В.Д. Некоторые электрические характеристики земных пород и их сравнение с характеристиками поверхностного слоя Луны // Изв. вузов. Радиофизика. — 1962. — Т. 5, № 6. — С. 1057-1061.
- M.E. Tiuri, A.H. Sihvola, E.G. Nyfors and M.T. Hallikainen. The complex dielectric constant of snow at microwave frequencies // IEEE J. Ocean. Eng. — 1984. — Vol. OE-9, no. 5. — Pp. 377-382.
- Шмулевич С.А., Троицкий В.С. О зависимости диэлектрических свойств горных пород от их объемного веса // Доклады АН СССР. — 1971. — Т. 201, № 3. — С. 593-594.
- Лоренц Г.А. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. — М.: ГИТТЛ, 1956. — 472 с.
- Подковко Н.Ф. Анализ не зависящих от плотности материала функций, используемых при определении влажности СВЧ-методами / Радиофизика и исследование свойств вещества. Республиканский сборник. Выпуск 9. — Омск: Изд-во ОмГПУ, 1994. — С. 35-41.

ПОДКОВКО Николай Федорович, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и автоматизации промышленных установок.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.10.06 г.
© Подковко Н.Ф.

Книжная полка

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ В МИКРОВОЛНОВОМ ДИАПАЗОНЕ

В данной работе описана схема эксперимента для исследований электродинамических свойств жидкостей в микроволновом диапазоне, приведены расчетные формулы в рамках одноволновой модели и результаты пробных экспериментов.

В данное время продолжается изучение применения электромагнитных (ЭМ) волн микроволнового диапазона (УВЧ — 0,3–3 ГГц, СВЧ — 3–30 ГГц) в нефтедобывающей промышленности [1]. Обычно применяются достаточно низкие частоты (13,56 МГц), хотя и утверждается, что **эффективность нагрева увеличивается с ростом частоты** [2]. По отзывам специалистов [1], модель для труб нефтедобывающей скважины в виде коаксиальной линии далеко не всегда адекватно описывает систему. Представляет интерес изучение волноводных типов мод [4], которые для диаметров труб, применяемых в скважинах, будут иметь оптимальные частоты в микроволновом диапазоне.

В литературе приводятся некоторые электродинамические параметры нефти и нефтесодержащих материалов, но исследования ограничивались диапазоном ВЧ, и лишь в [2] были приведены исследования параметров в диапазоне частот до 1 ГГц.

Чаще всего для определения электродинамических параметров веществ используется методика измерений характеристик объемного резонатора. Несмотря на хорошую точность, очевиден недостаток такого подхода — невозможность перестройки частоты в широком диапазоне.

Для определения электродинамических свойств нефти и жидких нефтесодержащих материалов (нефтяные отложения в скважинах, трубопроводах и т. п.) в диапазоне частот 2 – 18 ГГц были проведены экспериментальные исследования отрезка коаксиальной линии, который имеет разбираемую конструкцию и полностью заполняется исследуемым веществом.

На рис. 1 показана схема экспериментальной установки. Д1, Д2 и Д3 — детекторные головки, НО — направленные ответвители (прямой и обратной волны). Для измерений в диапазоне от 2 до 8 ГГц использовался измеритель P2-103, а в диапазоне 8 – 18 ГГц — P2-104. Характеристическое сопротивление Z_c соединительных отрезков коаксиальных линий составляет 50 Ом.

После калибровки (вместо объекта измерения подключалось эталонное сопротивление) в систему подключался **объект измерения**, который представлял собой отрезок коаксиальной линии длиной $l = 9$ см с диаметром внутреннего проводника $D_a = 2a = 3$ мм и диаметром внешнего проводника $D_b = 2b = 7$ мм.

Размеры коаксиального отрезка выбраны так, чтобы при отсутствии заполнения его характеристическое сопротивление $Z_c = 50$ Ом и в линии

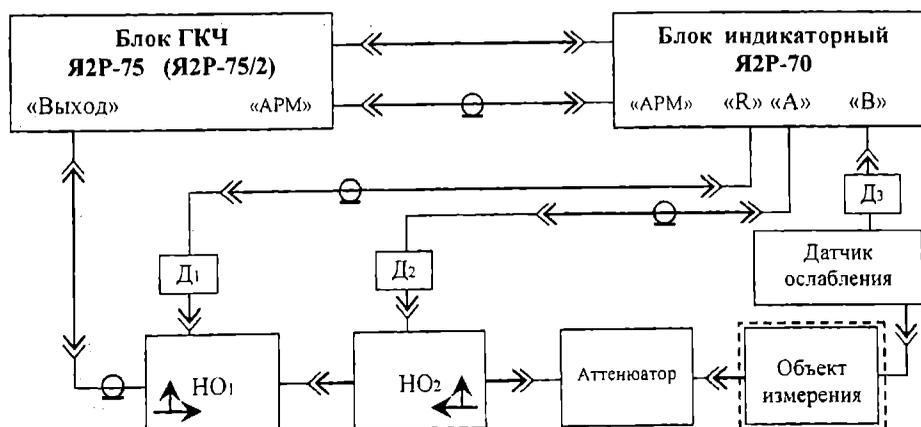


Рис. 1. Схема эксперимента с P2-103 (P2-104)

отсутствовали бы высшие типы волн, ниже критической частотой $f_{кр}^{H_{11}}$ из которых обладает мода H_{11} :

$$f < f_{кр}^{H_{11}} \sqrt{\epsilon} = \frac{c}{\pi(a+b)}, \quad (1)$$

где c – скорость света, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость заполнения отрезка линии.

С помощью измерительной системы измерялись частотные характеристики КСВН (коэффициента стоячей волны по напряжению) и затухания.

При отсутствии заполнения отрезок согласован с кабелями измерительной системы, поэтому отраженная волна будет практически отсутствовать, а ослабление сигнала будет определяться потерями в проводниках и контактных соединениях отрезка.

При заполнении отрезка линии веществом изменится и КСВН, и затухание. Из этой информации можно определить электродинамические характеристики заполнения: ϵ , $\text{tg } \delta$ (тангенс угла диэлектрических потерь), $\tilde{\epsilon}$ (комплексная относительная диэлектрическая проницаемость), ϵ' (вещественная часть $\tilde{\epsilon}$: $\epsilon' = \epsilon$), ϵ'' (мнимая часть $\tilde{\epsilon}$, связанная с потерями в диэлектрике).

$$\tilde{\epsilon} = \epsilon' - i\epsilon'' = \epsilon(1 - i \text{tg } \delta) = \epsilon \sqrt{1 + (\text{tg } \delta)^2} e^{-i\delta}, \quad (2)$$

где $\text{tg } \delta = \text{tg } \delta_{\text{пол}} + \text{tg } \delta_{\text{пр}} = \text{tg } \delta_{\text{пол}}$, $\text{tg } \delta_{\text{пол}}$ – тангенс

угла поляризационных потерь, $\text{tg } \delta_{\text{пр}} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon \epsilon_0}$ – тан-

генс угла потерь на проводимость.

Как известно, даже на НЧ нефть является диэлектриком (проводимость σ практически равна нулю), поэтому на УВЧ и СВЧ ЭМ потери в нефти определяются только **поляризационными эффектами** ($\text{tg } \delta_{\text{пол}}$). В дальнейшем будем полагать, что магнитными свойствами нефть не обладает ($\mu = 1$).

Измерив КСВ, можно определить Γ (коэффициент отражения), а затем рассчитать $\tilde{\epsilon}$ вещества, заполняющего отрезок.

На входе объекта измерения существует граница раздела сред (скачок Z_c).

$$|\Gamma| = \frac{\text{КСВ}-1}{\text{КСВ}+1} = \left| \frac{Z_c / \sqrt{\tilde{\epsilon}} - Z_c}{Z_c / \sqrt{\tilde{\epsilon}} + Z_c} \right| = \frac{|1 - \sqrt{\tilde{\epsilon}}|}{|1 + \sqrt{\tilde{\epsilon}}|} = \frac{|1 - \sqrt{\epsilon \sqrt{1 + (\text{tg } \delta)^2} e^{-i\delta/2}}|}{|1 + \sqrt{\epsilon \sqrt{1 + (\text{tg } \delta)^2} e^{-i\delta/2}}|}. \quad (3)$$

На выходе объекта измерения будет обратный скачок Z_c , что дает по модулю тот же коэффициент отражения, что и формула (3), но с противоположным знаком. Полный коэффициент отражения на входе $\Gamma_{\text{вх}}$ определяется суперпозицией волн, отраженных от входа и выхода.

Для получения количественных характеристик удобно воспользоваться моделями и методиками [3]. После преобразований матриц рассеяния базовых элементов (рис. 2: скачок Z_c , отрезок согласованной линии с потерями, а обратный скачок Z_c является нагрузкой устройства с $\Gamma_{\text{н}} = -\Gamma$) получаем итоговую S -матрицу:

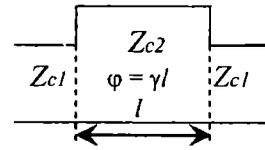


Рис. 2.

$$S = \begin{bmatrix} \dot{\Gamma} & \dot{\Gamma} e^{-\gamma l} \\ \dot{\Gamma} e^{-\gamma l} & -\dot{\Gamma} e^{-2\gamma l} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где $\dot{\Gamma} = \sqrt{1 - \Gamma^2} = \frac{2\sqrt{\tilde{\epsilon}}}{1 + \sqrt{\tilde{\epsilon}}}$, $\gamma = \alpha + i\beta$, α и β – коэф-

фициенты затухания и фазы, соответственно:

$$\alpha = \frac{\pi f \sqrt{\epsilon} \sqrt{2}}{c} \sqrt{\sqrt{(\text{tg } \delta)^2 + 1} - 1} \approx \frac{\pi f \sqrt{\epsilon}}{c} \text{tg } \delta, \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\pi f \sqrt{\epsilon} \sqrt{2}}{c} \sqrt{\sqrt{(\text{tg } \delta)^2 + 1} + 1} \approx \frac{2\pi f \sqrt{\epsilon}}{c} \left(1 + \frac{(\text{tg } \delta)^2}{8} \right). \quad (6)$$

Если потери малы ($\text{tg } \delta \ll 1$), то формулы (5) – (6) упрощаются:

$$\alpha \approx \frac{\pi f \sqrt{\epsilon}}{c} \text{tg } \delta, \quad (7)$$

$$\beta \approx \frac{2\pi f \sqrt{\epsilon}}{c} \left(1 + \frac{(\text{tg } \delta)^2}{8} \right). \quad (8)$$

С помощью метода нагруженного многополюсника [3] получим коэффициент отражения на входе и коэффициент прохождения на выходе:

$$\dot{\Gamma}_{\text{вх}} = \frac{\dot{\Gamma} - \dot{\Gamma}(\dot{\Gamma}^2 + \dot{\Gamma}^2) e^{-2\gamma l}}{1 - \dot{\Gamma}^2 e^{-2\gamma l}} = \frac{\dot{\Gamma}(1 - e^{-2\gamma l})}{1 - \dot{\Gamma}^2 e^{-2\gamma l}}, \quad (9)$$

$$\dot{\Gamma}_{21} = \frac{\dot{\Gamma}^2 e^{-\gamma l}}{1 - \dot{\Gamma}^2 e^{-2\gamma l}} = \frac{(1 - \dot{\Gamma}^2) e^{-\gamma l}}{1 - \dot{\Gamma}^2 e^{-2\gamma l}}. \quad (10)$$

Решая совместно уравнения (3), (5) – (10), можно вычислить необходимые параметры заполнения ϵ и $\text{tg } \delta$, а затем и $\tilde{\epsilon}$, ϵ' , ϵ'' с помощью (2).

Анализ (9) показывает, что частотная зависимость $\Gamma_{\text{вх}}$ при малых Γ и малых потерях (α) имеет явно выраженную периодичность.

$$\dot{\Gamma}_{\text{вх}} \approx \dot{\Gamma}(1 - e^{-2\gamma l}) - 1 - e^{-2i\beta l}. \quad (11)$$

Минимумы будут наблюдаться при $\beta l = \pi n$:

$$f_{\text{min}} = \frac{cn}{2l \sqrt{\epsilon (1 + 0,25(\text{tg } \delta)^2)}}. \quad (12)$$

Максимумы будут наблюдаться при $\beta l = \pi(n + 0,5)$:

$$f_{\text{max}} = \frac{c(n + 0,5)}{2l \sqrt{\epsilon (1 + 0,25(\text{tg } \delta)^2)}}. \quad (13)$$

Измерив расстояние между двумя максимумами или минимумами (как известно, точнее получает-

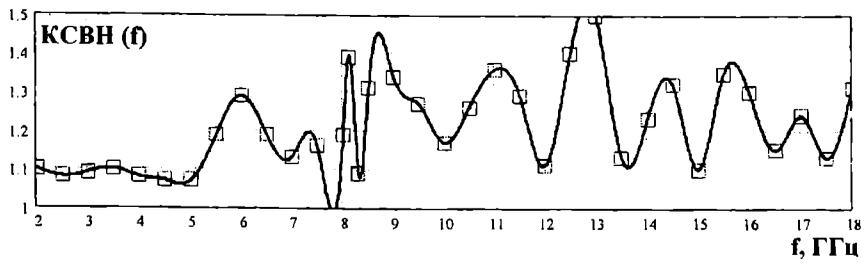


Рис. 3. Зависимость КСВН (f) отрезка линии без заполнения

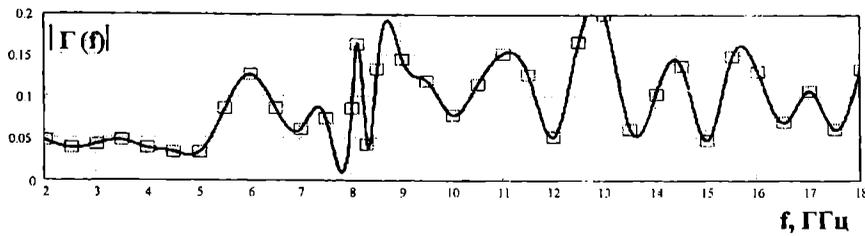


Рис. 4. Зависимость $\Gamma(f)$ отрезка линии без заполнения

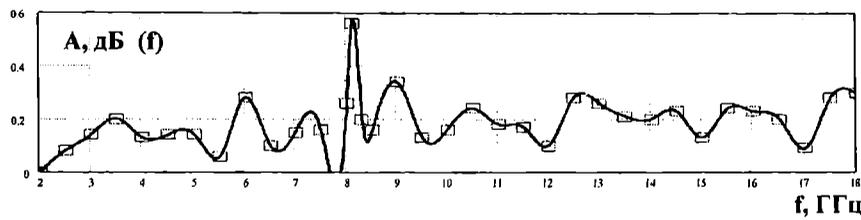


Рис. 5. Зависимость от f ослабления в дБ отрезка линии без заполнения

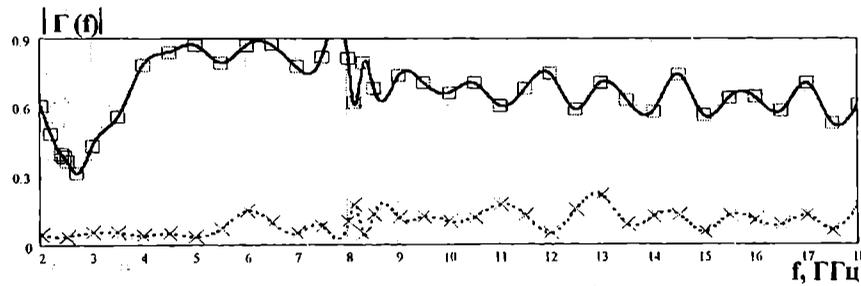


Рис. 6. Зависимость $\Gamma(f)$ отрезка линии с водой

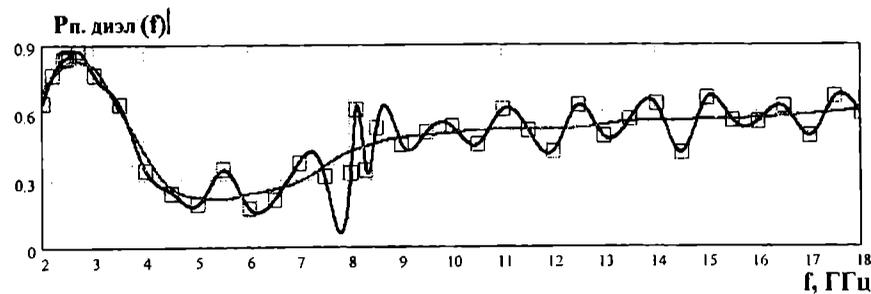


Рис. 7. Зависимость относительной мощности поляризационных потерь в отрезке линии с водой

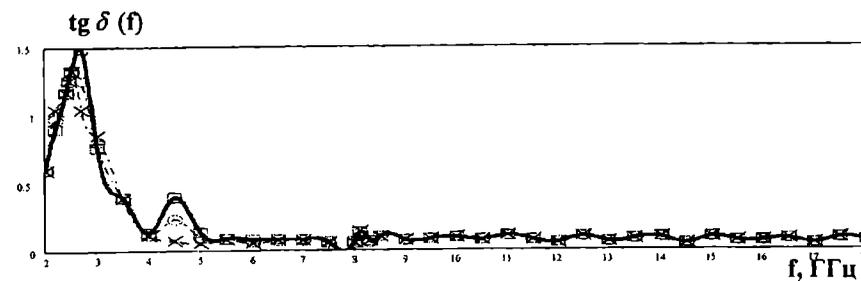


Рис. 8. Зависимость $\text{tg } \delta(f)$ отрезка линии с водой

ся измерение для минимумов), можно выразить необходимые параметры для определенного диапазона ($f \in f_n \dots f_{n+1}$):

$$\varepsilon \left(1 + 0,25 (\operatorname{tg} \delta)^2 \right) = \frac{c^2}{4l^2 (f_{n+1} - f_n)^2}. \quad (14)$$

При больших Γ начинает проявлять себя знаменатель (9), и характер зависимости $\Gamma_{\text{вх}}(f)$ усложняется.

Перед началом экспериментов с нефтяными образцами были проведены исследования двух отрезков без заполнения, а также с заполнением водой.

На рис. 3 – 5 приведены частотные зависимости (КСВН, $|\Gamma(f)|$, A в дБ), усредненные для двух отрезков линии без заполнения в диапазоне 2 – 18 ГГц.

Из рис. 4 видно, что полного согласования нет даже в незаполненном отрезке. Эти данные позволяют выделить систематическую погрешность эксперимента, что позволит скорректировать результат для заполненного отрезка.

Анализ рис. 5 показывает, что в незаполненном отрезке преобладают потери в контактных соединениях над потерями в проводниках.

Учесть погрешность можно вычитанием полученных результатов из зависимостей $|\Gamma(f)|$ и $A(\text{дБ})(f)$ для заполненного отрезка. Наиболее точные результаты получаются при анализе относительных мощностей. Полную мощность, подведенную к входу объекта измерения, принимаем за единицу.

$$P_{\text{полн}} + P_{\text{чист}} = 1 - P_{\text{отр}} - P_{\text{нагр}} = 1 - |\dot{\Gamma}_{\text{вх}}|^2 - |\dot{T}_{21}|^2. \quad (15)$$

После преобразований получаем (17):

$$\alpha_{\text{полн}} = \frac{1}{l} \left[\ln \left(\sqrt{1 - |\dot{\Gamma}_{\text{вх}}|^2} \right) - \ln |\dot{T}_{21}| \right] - \alpha_{\text{чист}}. \quad (16)$$

$$\alpha_{\text{полн}} = \frac{1}{l} \left[\ln \left(\sqrt{1 - |\dot{\Gamma}_{\text{вх}}|^2} \right) - \ln |\dot{T}_{21}| - \ln \left(\sqrt{1 - |\dot{\Gamma}_{\text{чист}}|^2} \right) + \ln |\dot{T}_{\text{чист}}| \right]. \quad (17)$$

После вычисления $\alpha_{\text{полн}}$ по формуле (7) определяем $\sqrt{\varepsilon} \operatorname{tg} \delta$.

На рис. 6 – 8 приведены частотные зависимости пробного эксперимента с водой. На рис. 6 – 8 виден очевидный резонанс потерь в диапазоне частот 2,4 – 2,8 ГГц, который, как известно, используется в микроволновом нагреве водосодержащих продуктов ($f = 2,45$ ГГц).

При вычислениях ЭМ параметров воды оказалось, что существует два решения, которые

различаются как ε и $1/\varepsilon$ (это следует из анализа рис. 2 и формулы (3)). Очевидно, что решения с $\varepsilon < 1$ следует исключить.

Полученные результаты согласуются с опубликованными.

Предполагается, что потери в исследуемом веществе будут незначительны. Если $\operatorname{tg} \delta > 0,1$, следует использовать для вычисления α и β формулы (5) – (6).

Таким образом, с помощью рассмотренной методики можно определять ЭМ параметры жидких веществ в микроволновом диапазоне. Результаты экспериментов с нефтью и нефтяными отложениями будут приведены в последующих публикациях.

Библиографический список

1. Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень: Изд-во ТюмГНТУ, 2001 – 2005.
2. Кицис С. И. К оптимальной частоте ВЧ нагрева призабойной зоны нефтяной скважины // Известия вузов. Нефть и газ. – Тюмень: Изд-во ТюмГНТУ, 2001, № 2. – С. 50-57.
3. Богачков И. В. Матричные методы анализа СВЧ-устройств: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 88 с.
4. Елецкий А. И., Катунский Е. А., Богачков И. В. Предварительная оценка затухания электромагнитных волн за счет нефтяного загрязнения волновода // Омский научный вестник. – Вып. 2 (27), июнь. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. – С. 122 – 124.
5. Майстренко В. А., Богачков И. В., Елецкий А. И., Катунский Е. А. Экспериментальные исследования электромагнитных свойств нефти и нефтяных отложений в диапазоне 2 – 8,5 ГГц // Омский научный вестник. – Выпуск 1 (34). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – С. 95 – 101.
6. Майстренко В. А., Богачков И. В., Елецкий А. И., Катунский Е. А. Экспериментальные исследования электромагнитных свойств нефти и нефтяных отложений в диапазоне 8 – 18 ГГц // Омский научный вестник. – Выпуск 2 (35). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – С. 148 – 150.

МАЙСТРЕНКО Василий Андреевич, доктор технических наук, профессор, проректор по информатизации ОмГТУ, зав. кафедрой «Средства связи и информационная безопасность».

БОГАЧКОВ Игорь Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Средства связи и информационная безопасность».

ЕЛЕЦКИЙ Алексей Ильич, инженер кафедры «Средства связи и информационная безопасность».

КАТУНСКИЙ Евгений Александрович, ведущий инженер ЦКБА, старший преподаватель кафедры «Средства связи и информационная безопасность».

Дата поступления статьи в редакцию: 30.07.06 г.
© Майстренко В.А., Богачков И.В., Елецкий А.И., Катунский Е.А.

Книжная полка

Ранеев Г.Г. Информационно-измерительная техника и электроника: учебник / Г.Г. Ранеев, В.А. Суругина, В.И. Калашников. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 512 с.

В учебнике рассмотрены полупроводниковые приборы; усилители переменного и постоянного тока; операционные усилители; компараторы; усилители и генераторы на операционных усилителях; логические элементы, комбинационные логические схемы, счетчики, регистры, запоминающие устройства; преобразователи кодов, индикаторы; информационно-измерительная техника; средства измерений; измерительные преобразователи и аналоговые электромеханические электроизмерительные приборы; электронные аналоговые и цифровые измерительные приборы, осциллографы, вольтметры, частотомеры; информационно-измерительные системы.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ, ВЕТЕРИНАРНЫЕ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК 632.937.15:578.087.1

**Г. В. БАРАЙЦУК
Л. И. ФРОЛОВА**

Омский государственный
аграрный университет

ДЕЙСТВИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА ДИНАМИКУ РОСТА ОДНО- И ДВУЛЕТНИХ САЖЕНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД

Приведены результаты биометрических исследований по действию экологически чистых препаратов, созданных на основе микроорганизмов и природных веществ, на темпы роста однолетних и двухлетних саженцев хвойных пород.

Хвойные породы ценны как в хозяйственном, так и в эстетическом плане. Не последнее по ценности место среди хвойных пород занимают можжевельники, используемые для озеленения.

Зеленые насаждения очищают воздух от различных механических примесей: пыли, сажи, копоти и различных газов, вредных для здоровья человека. В городах и населенных пунктах зеленые насаждения имеют исключительное значение и являются неотъемлемой частью их планировки. Сады и парки украшают местность, дополняют ее архитектурный ансамбль, изменяют состав воздуха в сторону обогащения его кислородом за счет освобождения его из углекислоты при ассимиляции. В процессе дыхания растения потребляют кисло-

род и выделяют в окружающий воздух углекислый газ. Но при этих двух процессах баланс складывается в пользу ассимиляции, поэтому в лесных и зеленых массивах под воздействием атмосферных явлений происходит озонация воздуха. Такой воздух является в высшей степени целебным.

Объекты и методика исследований

Объектами исследования являются: можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), можжевельник казацкий (*Juniperus sabina* L.) и туя западная (*Thuja occidentalis* L.).

Производство посадочного материала этих культур основывается на вегетативных способах размножения. Сущность вегетативного размно-

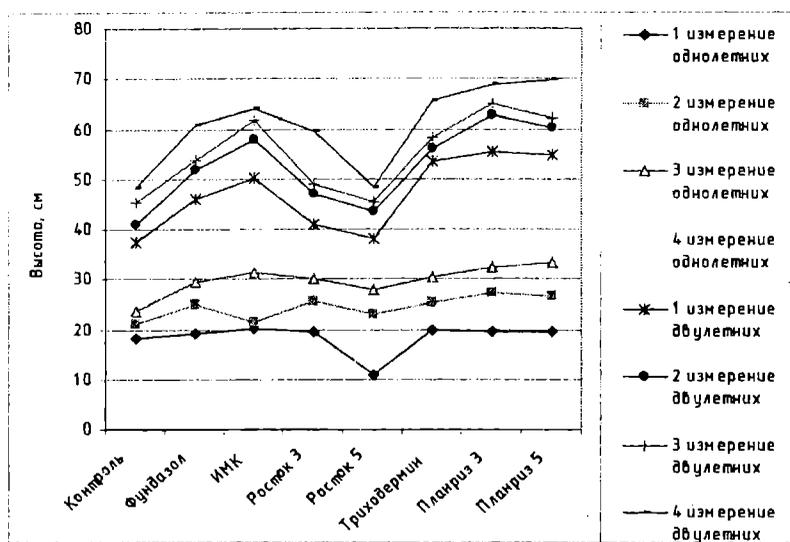


Рис. 1. Динамика роста саженцев можжевельника казацкого в вегетационный период 2006 г.

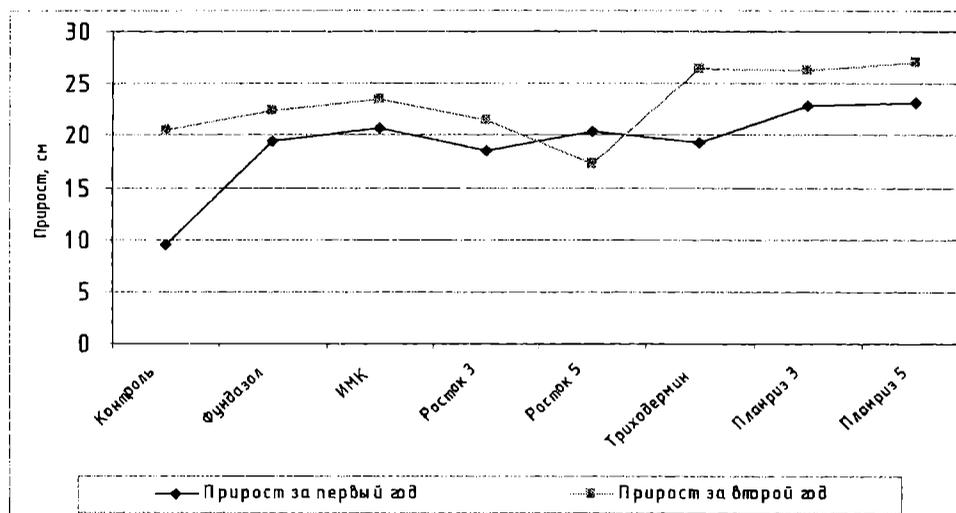


Рис. 2. Прирост однолетних и двулетних саженцев можжевельника казацкого в 2006 г.

жения состоит в получении целого растения от его части. При этом способе размножения потомство наследует все особенности и свойства материнского организма. При выращивании посадочного материала из зелёных черенков используют стимуляторы роста, что позволяет ускорить корнеобразовательный процесс, улучшить развитие корневой системы и увеличить выход укорененных черенков (Тарасенко, 1991).

Черенкование проводилось ежегодно в конце июня. Посадку черенков производили в парники с размещением 5×5 см (400 шт./м²). Высаживали черенки на глубину 2,5 см, плотно обжимая субстрат вокруг черенка. В качестве субстрата, наносимого слоем 3...5 см на поверхность дерновой перегнойной земли, использовали речной песок.

Общеизвестно, что большой отход уже укоренившихся черенков наблюдается за счёт их загнивания в условиях высокой влажности. Одним из возможных вариантов усовершенствования технологии зелёного черенкования может явиться использование биологических препаратов, обладающих антагонистическим и стимулирующим действием.

Изучалась эффективность применения следующих препаратов: препарат Планриз, нараба-

тывающийся на основе бактерий *Pseudomonas fluorescens*; препарат Росток, представляющий собой 1% раствор гуминовых кислот, полученный из торфа; препарат Триходермин, созданный на основе почвенного гриба *Trichoderma lignorum*. Эталонами служили варианты с применением химического препарата Фундазол и стимулятора роста (4-индол-3-ил) масляной кислотой (ИМК). Контролем был вариант без обработки черенков.

Поскольку образование корней у хвойных пород процесс длительный и, в основном, каллус и корни образуются через 30 — 50 дней после их посадки (Тарасенко, 1991), когда обычно бывают дожди и пониженная температура, для обеспечения защиты черенков от фитопатогенов в схему опыта было заложено трёх- или пятикратное применение препаратов через 15 дней. «Списком разрешённых препаратов...» допускается использование препарата Планриз до 8 раз за вегетацию. Создатели препарата Росток рекомендуют трёхкратное его применение (Грехова, 2005). Триходермин вносился двукратно через месяц согласно регламенту его применения «Списком разрешённых препаратов...».

Результаты опытов статистически обработаны как двухфакторный опыт методом дисперсионного

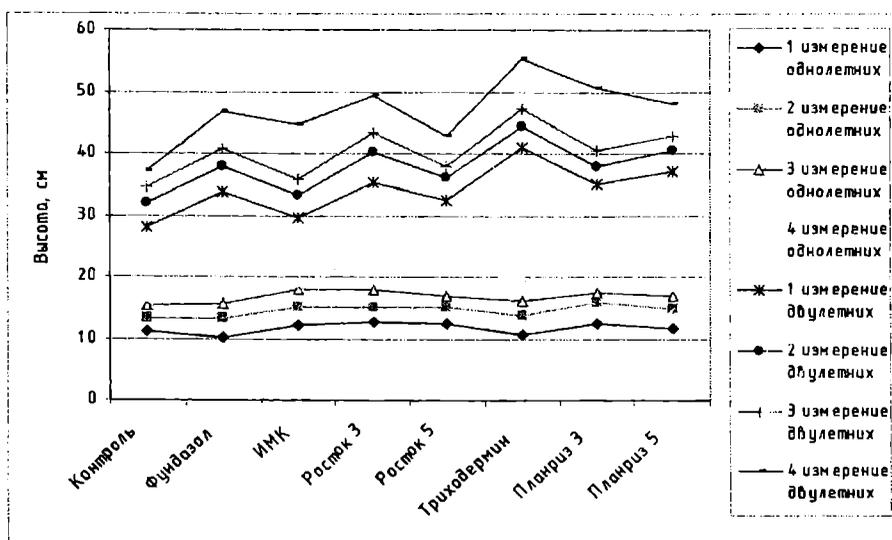


Рис. 3. Динамика роста саженцев туи западной в вегетационный период 2006 г.

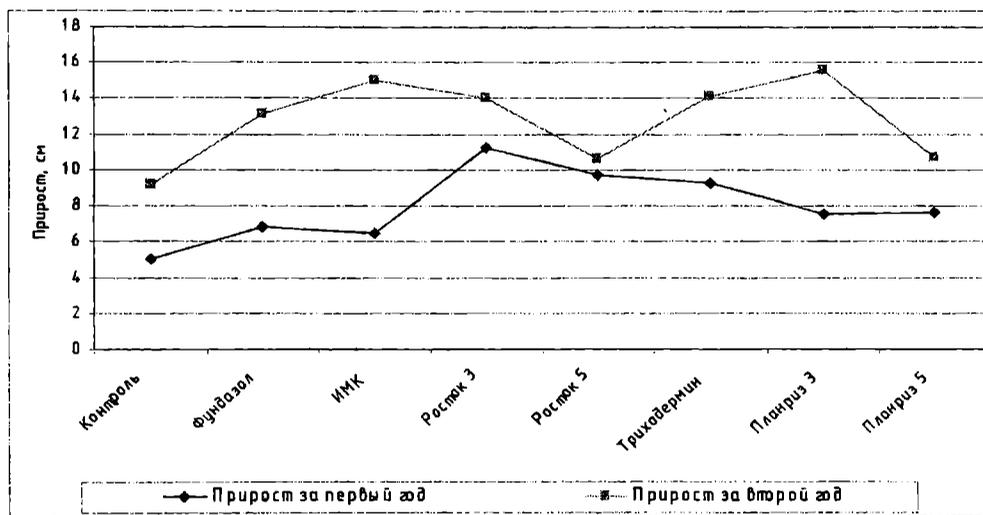


Рис. 4. Прирост однолетних и двулетних саженцев туи западной в 2006 г.

анализа (Доспехов, 1985) с помощью стандартных приложений программы Excel.

Результаты исследования

Четырёхкратное измерение однолетних и двулетних саженцев можжевельника казацкого показано на рис. 1.

Рост всех опытных вариантов опережал контроль без обработки. Из химических эталонов лучшим вариантом был ИМК. Более быстрый рост по сравнению с вариантами Фундазол и ИМК был в вариантах Триходермин, Планриз 3 и Планриз 5.

Вариант Росток 3 по темпам роста саженцев был на уровне Фундазола, в то время как Росток 5 ниже его. На второй год саженцы в вариантах с использованием препарата Росток росли медленнее химических эталонов, а Росток 5 — на уровне контроля без обработки. То есть стимулирующего действия препарата не выявляется, напротив, фиксируется ингибиторный характер воздействия. Видимо, при пятикратном применении препарата не создаются условия для проявления стимулирующего действия гуминовых кислот, составляющих действующее вещество Ростка.

Прирост однолетних и двулетних саженцев можжевельника казацкого представлен на рис. 2.

Однолетние саженцы с использованием препарата Планриз росли лучше других (рис. 1 и 2). Рост остальных опытных вариантов был на уровне химических эталонов и выше контроля без обработки. Более высокие темпы роста двулетних саженцев по сравнению с ИМК и Фундазолом были у вариантов Триходермин и Планриз.

В заключение анализа данных по динамике роста одно- и двулетних саженцев можжевельника казацкого можно констатировать:

1. Темпы роста и прирост у двулетних саженцев можжевельника казацкого выше, чем у однолетних.

2. Лучшими препаратами, способствующими росту можжевельника казацкого, являются Триходермин и Планриз.

3. Пятикратное применение Планриза экономически не оправдано, т.к. результаты либо аналогичны трёхкратному применению, либо несколько ниже.

Измерение высоты однолетних саженцев туи западной в течение вегетационного периода 2006 г. показало более высокие темпы роста, у вариантов с биологическими препаратами — четвертое измерение однолетних (рис. 3).

Двулетние саженцы туи западной более интенсивными темпами росли в вариантах Триходермин

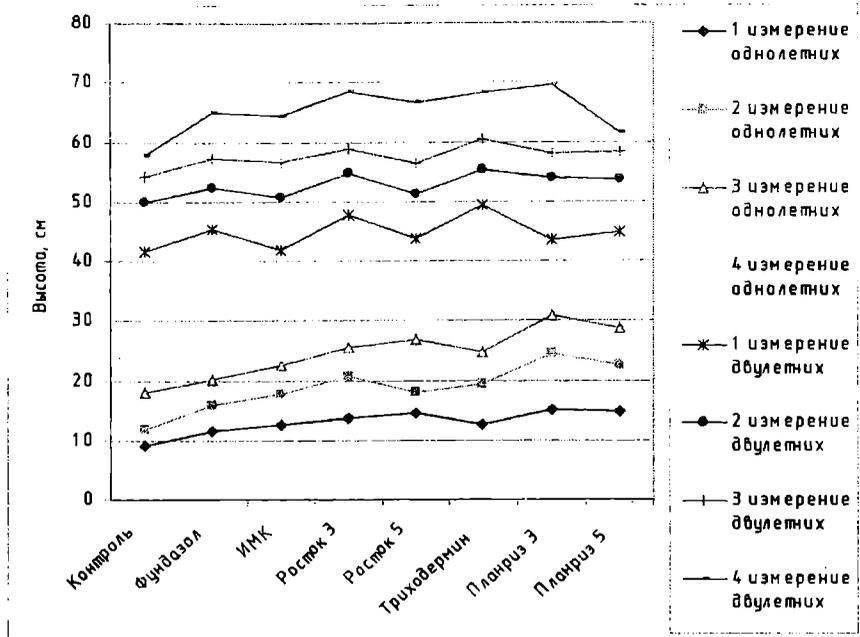


Рис. 5. Динамика роста саженцев можжевельника обыкновенного в 2006 г.

и Планриз 3. Выше химических эталонов были варианты Росток 3, Планриз 5 (рис. 3).

При анализе прироста саженцев туи западной, представленном на рис. 4, налицо более высокие темпы роста у двулетних саженцев. Лучшим ростом в этом случае обладал вариант с трёхкратным использованием препарата Планриз. Выше уровня химического препарата Фундазол были варианты Росток 3 и Триходермин (рис. 4). Прирост однолетних саженцев в вариантах с биологическими препаратами был выше контроля и химических эталонов.

В заключение анализа данных по динамике роста однолетних и двулетних саженцев туи западной можно констатировать:

1. Темпы роста двулетних саженцев туи западной выше, чем у однолетних.

2. Более высокой скорости роста саженцев туи западной способствовали препараты Триходермин, Планриз и Росток в трёхкратном применении.

Динамика роста саженцев можжевельника обыкновенного представлена на рис. 5. Темпы роста однолетних саженцев в вариантах с биологическими препаратами были выше контроля и химических эталонов. У двулетних саженцев вариант с пятикратным применением Планриза был ниже по скорости роста химических эталонов. Кривые четвертого измерения однолетних и двулетних саженцев на рис. 5 наглядно демонстрируют этот факт.

Прирост саженцев можжевельника обыкновенного за первый год показывает, что варианты с использованием биологических препаратов росли быстрее контроля и химических препаратов, кроме препарата Росток 5 (рис. 6). В вариантах с использованием препарата Планриз прирост двулетних саженцев снижался за счёт их более интенсивного роста в первый год.

По динамике роста и приросту саженцев можжевельника обыкновенного можно констатировать:

1. Налицо преимущества использования биологических препаратов, обеспечивающих более

высокие темпы роста можжевельника обыкновенного.

2. Более высокие темпы роста однолетних и двулетних саженцев зафиксированы у вариантов Росток 3, Планриз 3 и Триходермин.

3. Пятикратное использование препаратов Росток и Планриз не коррелирует с лучшим результатом.

Прирост однолетних и двулетних саженцев всех изучаемых пород показан на рис. 7. Наименьшая существенная разница определена по фактору А — породы хвойных, по фактору В — препараты по взаимодействию факторов А и В. По фактору А все данные опыта достоверно отличаются друг от друга, то есть биологические особенности каждого вида из изучаемых пород имеют существенное значение. Различия по фактору В и взаимодействию факторов А и В не всегда достоверны.

На графике отчетливо видно, что туя западная даёт меньший прирост однолетних саженцев. При этом нет достоверного различия между трёх- и пятикратным применением Планриза. На можжевельник казацкий испытываемые препараты оказывают стимулирующее действие, в первый год он растёт интенсивнее всех изучаемых декоративных культур. В этом опыте не фиксируется достоверного различия между химическим эталоном Фундазол и вариантом Триходермин, а также между трёх- и пятикратным применением Планриза. Темпы роста можжевельника обыкновенного в первый год приближаются к можжевельнику казацкому. В этом случае не установлено достоверного различия между контролем без обработки и вариантом Росток 5.

Кривые роста можжевельника казацкого в первый и второй год роста очень близки. Во второй год жизни эта культура достоверно снижает темпы роста в силу своих культурно-достоверных особенностей. *Juniperus sabina* L. — низкорослый, стелющийся кустарник высотой 1,5 — 2 м (Булыгин, 2002). Можжевельник казацкий, произрастающий в парке ОмГАУ, — не более 1,5 м. При этом вариант Росток 5 по приросту достоверно ниже контроля без обработки.

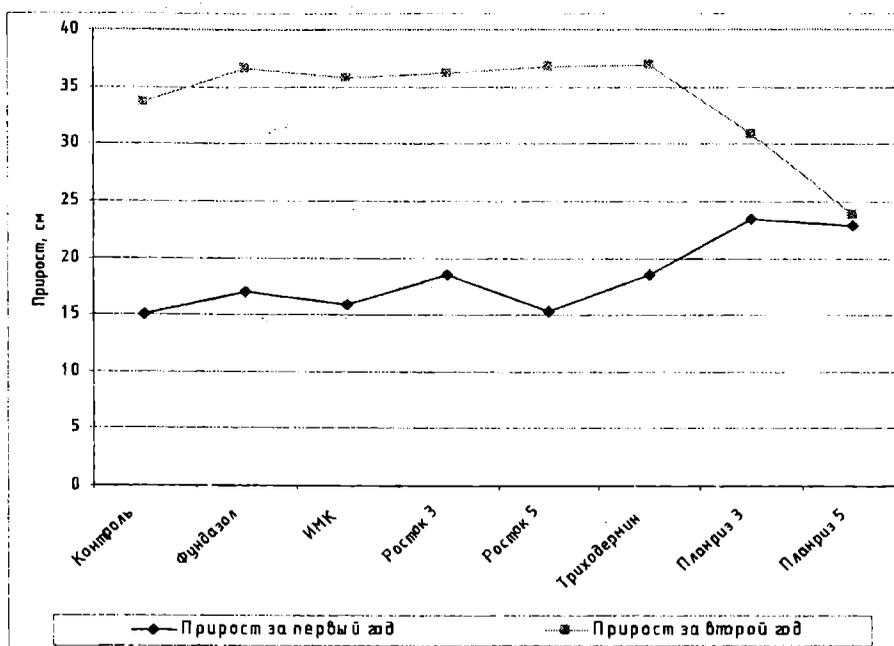


Рис. 6. Прирост однолетних и двулетних саженцев можжевельника обыкновенного в 2006 г.

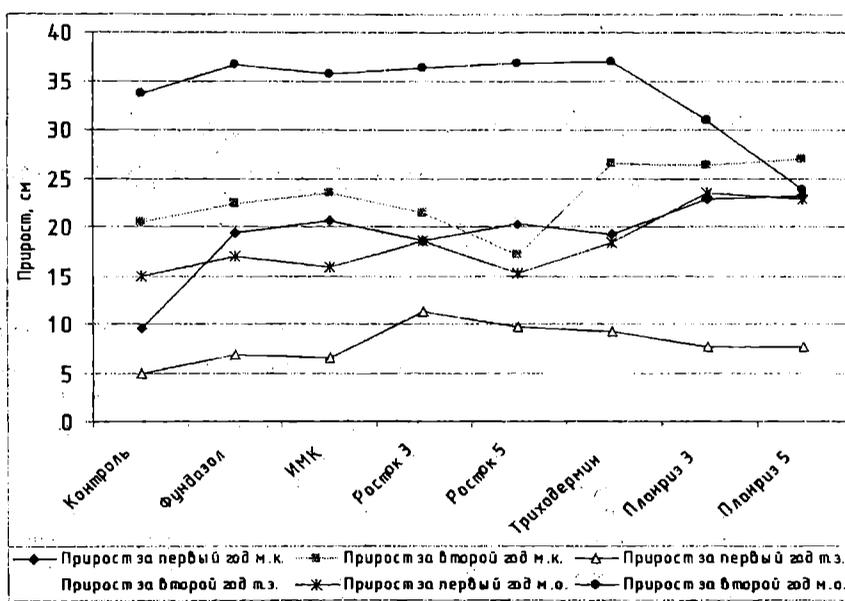


Рис. 7. Прирост однолетних и двулетних саженцев хвойных пород в 2006 г.

Однолетние саженцы: $HCP_A = 0,41$ $HCP_B = 0,42$ $HCP_{AB} = 0,34$;

Двулетние саженцы: $HCP_A = 0,39$ $HCP_B = 0,49$ $HCP_{AB} = 0,4$

Самые высокие по темпам роста – двулетние саженцы можжевельника обыкновенного. Такая высокая скорость роста этой культуры достоверно связана с её биологическими особенностями. Маточные растения, произрастающие в парке ОмГАУ, достигают 6–7 м в высоту. Согласно ботаническому описанию можжевельник обыкновенный – куст или дерево высотой до 8–15 м, весьма изменчивый по форме кроны, чаще всего она узкая, конусовидная или яйцевидная (Булыгин, 2002). В этом опыте рост саженцев в вариантах Росток 3, Росток 5 и Триходермин был на уровне химического эталона Фундазол, достоверно не отличаясь от него.

На второй год роста туя западная занимает промежуточное положение между двумя изучаемыми видами можжевельников по темпам роста. Триходермин и трёхкратное применение Планриза достоверно стимулируют развитие этой культуры, а прирост саженцев в варианте с пятикратным применением Ростка достоверно ниже

контроля без обработки. Туя западная (*Thuja occidentalis* L.) может быть деревом до 20 м или кустарником с пирамидальной кроной. Она относится к медленно растущим породам (Булыгин, 2002). В парке ОмГАУ туя западная растёт деревом до 9 м высотой.

Выводы

1. Темпы роста и прирост у двухлетних саженцев изучаемых декоративных культур выше, чем у однолетних.
2. Можжевельник казацкий в первый год растёт интенсивнее всех других изучаемых хвойных пород.
3. Самые высокие темпы роста – у двулетних саженцев можжевельника обыкновенного.
4. Более высокой скорости роста саженцев хвойных пород способствовали препараты Триходермин, а также Планриз и Росток в трёхкратном применении.

5. Пятикратное применение препаратов Планриз и Росток экономически не оправдано, т.к. результаты либо аналогичны трёхкратному применению, либо ниже.

Библиографический список

1. Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М.: МГУЛ, 2002. — 346 с.
2. Грехова И.В., Комиссаров И.Д. Тюменский гуминовый препарат // Земледелие, № 4, 2005. - С. 30-32.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.

4. Тарасенко М.Т. Зелёное черенкование садовых и лесных культур. — М.: Колос, 1991. — 269 с.

БАРАЙЩУК Галина Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой лесоводства и защиты растений.

ФРОЛОВА Людмила Ивановна, аспирант кафедры лесоводства и защиты растений.

Дата поступления статьи в редакцию: 16.10.06 г.
© Барайщук Г.В., Фролова Л.И.

УДК 577.4: 57+634.92:632.187
С 12

Н. А. КАЛИНЕНКО
Н. Н. НИКИТИНА
Н. И. САБАЕВА

Омский государственный
педагогический университет

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПОСЛЕ ПОЖАРА

В статье представлены результаты изучения эколого-биологических особенностей восстановления растительного покрова после пожаров в условиях Приишимья юга Тюменской области. Установлено, что гари за 2-3 года покрываются травянистой растительностью. Растительный покров свежих гарей формируется из глубоко стержнекорневых и корневищных видов, сохранивших ростовые почки после пожара, а также из видов-анемохоров. Травянистая растительность в условиях боров является конкурентом за влагу для древесных растений. Полученные результаты будут использованы в работах по сохранению и рациональному использованию биоразнообразия лесных ресурсов Приишимья.

Сосновые боры на территории Приишимья являются особо ценным комплексом лесной растительности. Свообразная экосистема сформирована в течение многих столетий в экстремальных почвенно-климатических условиях лесостепи. Их экологическое значение — водоохранное, почвозащитное, санитарно-гигиеническое, рекреационное, а также лесосырьевое — трудно переоценить.

Однако за последние десятилетия вследствие природных условий и большой антропогенной нагрузки лесными пожарами сосновым лесам был нанесен колоссальный ущерб - в огне погибло свыше 1841,2 га сосновых лесов [5].

Целью наших исследований являлись процессы восстановления фундаментальных биоценозов сосновых лесов Приишимья после пожаров на основе анализа экологических условий на гарях.

Исследования проводились на кафедре экологии и охраны окружающей среды ОмГПУ и кафедре ботаники Ишимского государственного педагогического института им. П.П. Ершова по проекту экологического мониторинга изучения состояния

и сохранения биоразнообразия растительных сообществ на юге Тюменской области (в пределах Приишимья).

Исследования проводились на мониторинговых площадках, заложенных на гарях и участках, не подверженных пожару. Геоботанические описания выполнялись стандартными методами [1;2]. В процессе экспедиций ежегодно проводился учет растений (видовой состав, проективное покрытие, численность, встречаемость) на 100 площадках (1м²) на гари и контроле, а также последующий подсчет встречаемости отдельных растений. Всего сделано по 300 количественных описаний на гари и в контроле. Выполнено около 40 полных геоботанических описаний в различных лесорастительных условиях, собрано более 1500 листов гербария.

Изучение лесовосстановления проводилось по стандартным методикам на всех элементах микро-рельефа. Особенностью изучения полога возобновления явилось то, что после устойчивого низового пожара предварительного подроста не было, изучалось только последующее возобновление, вклю-

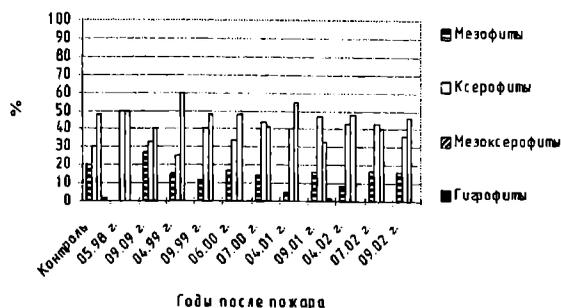


Рис. 1. Динамика основных экологических групп растений на гарях в зоне подтайги (Ишимский лесхоз)

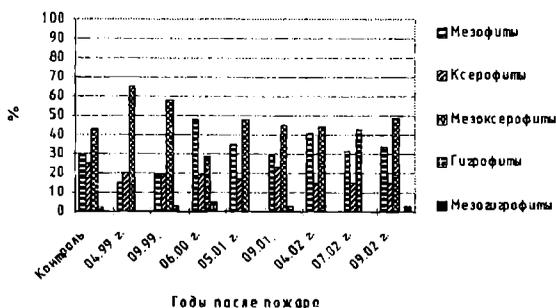


Рис. 2. Динамика основных экологических групп растений на гарях в зоне подтайги (Викуловский лесхоз)

чая семян. Подсчет самосева сосны проводился стандартными методами, принятыми в лесоводстве [6;8;9]. Появление всходов и подрост на контроле учитывался с 1996 года, т.е. после пожаров.

Для описания лесной растительности использовались пробные площади 25x25 м (625 м²), которые закладывались с учетом экологических условий произрастания сосны. При характеристике древесного яруса отмечалась сомкнутость крон, формула состава древостоя, бонитет, ярусность древостоя и подрост [1;2;3;4;7;10]. За период с 1995 по 2005 год в пределах изучаемой территории пожару подверглись леса общей площадью 322,1 тыс. га, из них хвойных — 4662,34 га.

По отношению к пирогенному фактору и горимости хвойные леса относятся к часто горимым и лесам 1 класса пожароопасности [5].

Кроме сосны обыкновенной к обороту огня приспособился весь комплекс эдификаторов и доминантов напочвенного покрова хвойного фитоценоза.

Это пирофиты — растения, чьи почки возобновления находятся глубже 5 см, либо переживающие пожар в виде плодов, семян и других диаспор. Все эти виды и были зафиксированы в лесхозах на гари сразу после пожара (*Carex supina*, *Veronica spicata*, *Gypsophila altissima*, *Koeleria glauca*, *Koeleria cristata* и др.).

Вторая группа — эксплеренты или виды, поселившиеся на гарях, впервые проникнув на их территорию, как правило, извне. Прежде всего, это собственно лесные виды: *Hieracium umbellatum*, *Aegopodium podagraria*, *Anthriscus sylvestris*, *Dianthus deltoides* и др. Из рудеральных видов: *Erigeron canadensis*, *Lactuca serriola*, *Chamerion angustifolium*, *Crepis tectorum* и др.

Колебания численности видов на гари зависят от скорости и направленности сукцессионного процесса. В первые три года после пожара (1998 - 2000) наблюдался направленный рост количества экземпляров доминантных видов на единицу площади. Происходил интенсивный процесс заселения свободного субстрата, образовавшегося после низового пожара. Однако необходимо отметить, что нарастание численности шло неодинаково у разных видов и сильно зависело от увлажнения и мезорельефа гарей, а также биологических особенностей каждого вида. Отсутствие конкуренции в первые годы после пожара привело к разрастанию в понижениях и на северных склонах бугров сорных эксплерентных видов. Их надземная масса превысила контрольную в 2-4-8 раз. Массонакопление многолетних растений происходит медленно, тем не менее к четвертому году они постепенно вытесняют по массе однолетние рудеральные виды.

Гари в Викуловском лесхозе не отличаются существенно от гарей в Ишимском лесхозе. На гарях

в различных элементах рельефа сложились отличающиеся по составу и строению растительные ассоциации. Это связано с разной экспозицией склонов, гидротермическим режимом почв, отсутствием древостоя (вывал сгоревших деревьев составил 90-95% в 2002 г), погодно-климатическими условиями.

Анализ динамики экологическая группа отражает отношение растений к какому-либо экологическому фактору и объединяет виды, одинаково на него реагирующие. Отношение к влаге является одним из главных экологических критериев, определяющих условия произрастания видов. Данные, полученные в результате фитомониторинга, позволяют нам проанализировать динамику соотношения отдельных экологических групп на гарях (рис 1, 2). В контроле были взяты средние данные за 5 лет.

В контроле преобладают мезоксерофиты — это объясняется большим расходом воды на транспирацию растений. Растения этой же экологической группы первыми в большом количестве и поселяются на выгоревших участках — это свидетельствует о недостаточном увлажнении почвы и не способствует поселению собственно лесных видов как в зоне подтайги, так и лесостепи.

Как показали исследования, суммарное количество всходов древесных растений по пробным площадям практически не зависит от погодных условий года, но зависит от климатической зоны. Чем засушливее зона, тем меньше количество всходов сосны и тем неравномернее их появление.

В зоне южной лесостепи количество всходов на вершинах гребней незначительное (табл. 1).

Более всего всходы появляются в пониженных местах. Это связано с лучшими гидрологическими условиями. Обычно всходы сосны образуют узкую кайму вокруг понижения. Впоследствии здесь формируется вполне благонадежный подрост.

В зоне подтайги самосев поселяется на всех элементах рельефа, обеспечивая необходимый запас для восстановления насаждений. Приведенные в таблице данные показывают, что по сравнению с подтаежной зоной в южно-лесостепной зоне возобновление сосны неудовлетворительное.

Лучший ход естественного возобновления отмечен в редицах. Из 40 учетных площадок, заложенных в редицах, на 20 имеется хорошее и удовлетворительное возобновление, на 14 — слабое и на 6 возобновление плохое или отсутствует.

Большое влияние на появление самосева оказывает степень освещения. Формирование подростка происходит, главным образом, в пределах полуденной тени.

Несмотря на высокую напряженность экологических факторов и пожары хвойные древостой

Количество последующего возобновления сосны в зависимости от лесорастительных условий, тыс. шт/га

Природно-климатическая зона	Элемент рельефа	Вариант	Год исследования			
			1999	2000	2003	2005
Зона южной лесостепи (Казанский лесхоз)	вершина	гарь	0	0	0	0,1
		контроль	0,1	0,5	0,8	1,0
	южный склон	гарь	0	0	0,1	0,1
		контроль	0,4	0,6	0,7	1,8
	северный склон	гарь	0,3	0,05	0,05	0,1
		контроль	1,1	1,5	2,1	2,5
	низина	гарь	0	0	0,3	0,3
		контроль	0,4	0,5	0,5	0,5
Лесостепная (Викуловский лесхоз)	вершина	гарь	25,0	11,6	12,0	18,0
		контроль	12,6	10,3	10,0	17,0
	южный склон	гарь	32,0	12,4	15,0	16,0
		контроль	14,0	18,0	18,0	24,0
	северный склон	гарь	31,0	19,3	20,0	28,0
		контроль	26,0	17,9	19,0	20,0
	низина	гарь	35,0	25,0	16,0	38,0
		контроль	23,4	14,2	10,0	11,0

обладают значительной позиционной устойчивостью и, в конечном счете, более или менее успешно восстанавливаются естественным путем. Неравномерность экологических условий, складывающихся на гарях, находит отражение в структуре возникшего древостоя — это разновозрастность, неравномерная полнота, куртинность.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

— гари довольно быстро, за 2-3 года, покрываются травянистой растительностью, растительный покров свежих гарей формируется из глубоко стержнекорневых и корневищных видов, сохранивших ростовые почки после пожара, а также из видов-анемохоров, налет семян которых возможен за десятки километров;

— травянистая растительность в условиях боров является конкурентом за влагу (хотя возможно и биохимическое воздействие, так называемая аллелопатия), она более приспособлена к климатическим условиям лесостепи, и только высота и долговечность деревьев дают им возможность противостоять «агрессии» трав — затеняя кронами поверхность земли, деревья угнетают травяной покров, лишая его света;

— вместе с тем роль травянистой растительности для лесовосстановления неоднозначно отрицательна, травянистая растительность гораздо быстрее, чем древесная, закрепляет поверхность от дефляции, что особенно важно на гарях.

Библиографический список

1. Александрова В.Д. Динамика растительного покрова // Полевая геоботаника. - М., 1964. - Т. 3. - С. 300-432.
2. Александрова В.Д. Классификация растительности. - Л.: Наука, 1969. - 274 с.

3. Быков Б.А. Фитоценоз как саморегулирующаяся система // Вестн. АН Каз. ССР. - 1967. - № 1. - С. 29 - 37.

4. Воронов А.Г. Геоботаника / А.Г. Воронов. - М.: Высш. шк., 1983. - 384 с.

5. Калинин Н.А., Никитина Н.Н., Сабаева Н.И. Состояние и сохранение биоразнообразия лесных экосистем после пожара на территории Приишимья / Н.А.Калининко, Н.Н. Никитина, Н.И. Сабаева. — Ишим: изд-во ИГПИ им. П.П. Ершова, 2006. - 156 с.

6. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов: методич. указания / А.В. Побединский. — Красноярск, 1962. — 60 с.

7. Понятовская А.А. Учет обилия и характера размещения растений в сообществах // Полевая геоботаника. 1964. — Т. 3. — С. 209 — 285.

8. Программа и методика биогеоценотических исследований / Под ред. Н.В. Дылиса. — М.: Наука, 1974. — 402 с.

9. Раменский Л.Г. Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова / Л.Г. Раменский. — Л.: Наука, 1971. — 330 с.

10. Юннатов А.А. Заложение экологических профилей и пробных площадей // Полевая геоботаника. - М.; Л.: Наука, 1964. - Т. 3. - С. 9-35.

КАЛИНИНКО Николай Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

НИКИТИНА Надежда Николаевна, кандидат биологических наук, доцент.

САБАЕВА Надежда Ивановна, аспирант кафедры экологии и охраны окружающей среды.

Дата поступления статьи в редакцию: 27.11.06 г.
© Калинин Н.А., Никитина Н.Н., Сабаева Н.И.

Книжная полка

Калапникова Е.А., Кочиева Е.З., Миронова О.Ю. Практикум по сельскохозяйственной биотехнологии: Учеб. пособие для вузов. — М.: КолосС, 2006. — 144 с.

Некрас Ю.В. Формирование механизма управления производством на мелиорированных землях. — Владивосток: Изд-во Дальневост.ун-та, 2006. — 156 с.

ИЗУЧЕНИЕ СОРТОВ ГОЛОЗЁРНОГО ЯЧМЕНЯ МИРОВОЙ КОЛЛЕКЦИИ ВИР В УСЛОВИЯХ СИБИРСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ

В результате изучения мировой коллекции ВИР выделены сорта голозерного ячменя с хозяйственно-ценными признаками и свойствами, которые служат исходным материалом при создании нового поколения сортов голозерного ячменя кормового и крупяного назначения.

Площадь посева ячменя в Омской области составляет более 300 тыс. га. Основным направлением является возделывание на кормовые цели. Это связано с тем, что зерно ячменя обладает редкими кормовыми достоинствами. В его белковом комплексе 20 аминокислот, 8 из которых — незаменимые. В то же время существует необходимость в селекции голозерного ячменя, так как по фуражным достоинствам он стоит выше пленчатого, к тому же и содержание незаменимых аминокислот в его зерне на 20-40 % выше, чем в зерне пленчатого ячменя.

Голозерный ячмень в первую очередь представляет интерес для хозяйств, которые занимаются выращиванием нежвачных животных (куры, свиньи). Это связано с тем, что зерно голозерного ячменя значительно питательней зерна пленчатого ячменя, пшеницы и кукурузы. Белок голозерного ячменя более полноценен по сумме незаменимых аминокислот, чем белок вышперечисленных культур, что позволяет животным полнее переваривать корм.

Во многих регионах мира давно возделываются хорошо приспособленные к местным условиям голозерные ячмени. Так, голозерный ячмень в Юго-Восточной и центральной Азии занимает 95 %, а в северо-восточном Китае, Корее, Японии почти 50 % от занимаемых площадей под этой культурой. Необходимо заметить, что этому способствовало то, что в этих районах значительное внимание уделяется селекции голозерного ячменя. В этом направлении настойчиво работают селекционеры Италии, Голландии, Чехии и другие, где голозерный ячмень широко используется не только для кормления нежвачных животных, а также для переработки в диетическую ячменную муку либо в такие продукты, как быстрые завтраки, заменители кофе и т.д. В России посевы голозерного ячменя ничтожны и носят любительский характер. Это связано с тем, что в России отсутствуют сорта голозерного ячменя, которые могли бы, во-первых, формировать урожайность на уровне лучших пленчатых сортов, характеризоваться повышенным содержанием белка, лизина, устойчивостью к засухе, полеганию и болезням.

Для организации и проведения в стране масштабной и успешной селекционной работы по выведению перспективных сортов голозерного ячменя требуется богатый и полноценный исходный материал. Поэтому важнейшей предпосылкой, необхо-

димой для широкого развертывания селекционной работы по выведению высококачественных сортов голозерного ячменя, является изучение мировой коллекции ВИР с целью создания обширного дополнительного генетического фонда новых форм с хозяйственно-ценными признаками.

В Омской области голозерному ячменю уделяется большое внимание, разработана программа по селекции данной культуры. И в настоящее время учеными-селекционерами ГНУ СибНИИСХ созданы сорта голозерного ячменя Омский Голозерный-1 и Омский Голозерный-2 разновидностей нудум и целесте, отличающиеся повышенным содержанием белка, лизина и стабильной урожайностью. Первый сорт районирован по 10-му региону, второй передан на государственное сортоиспытание.

В данный момент работы в области селекции ячменя направлены на повышение его продуктивности, засухоустойчивости, устойчивости к болезням и вредителям, улучшение качества зерна.

Методика. Образцы голозерного ячменя мировой коллекции ВИР изучали на полях лаборатории селекции ячменя ГНУ СибНИИСХ СО РАСХН; предшественник — третья культура (пшеница) после пара. За 2004-2006-й годы исследований было изучено 80 образцов различного географического происхождения. Семена высевали на делянках площадью 3 м², срок посева и норма высева оптимальные для зоны. Стандарты — сорт пленчатого ячменя Омский 88 и голозерного ячменя Омский Голозерный-1 располагали через каждые 10 номеров. Перед посевом определялись посевные качества семян. Фенологические наблюдения проводились по основным фазам развития по методике, предусмотренной ГСИ. Содержание белка в зерне (Nx 6,25 %) определяли в лаборатории физиологии и биохимии растений ГНУ СибНИИСХ СО РАСХН. Изучались полевая всхожесть и сохраняемость растений к уборке. После уборки был проведен структурный анализ.

Результаты и обсуждение. Погодные условия за период исследований имели ряд отличительных особенностей.

Вегетационный период 2004 года был наиболее засушливым и характеризовался повышенными температурами воздуха и дефицитом осадков. В целом за май — август выпало 148 мм осадков, или 75 % от средней многолетней нормы.

Таблица 1

Средняя урожайность лучших образцов коллекции голозерного ячменя ВИР в сравнении с сортами-стандартами, 2004 – 2006 гг.

№ п/п	Название образца	Разновидность	Урожайность, т/га			
			2004 г.	2005 г.	2006 г.	Средняя
1.	Омский-88(St)	Медикум	5,30	3,99	4,53	4,61
2.	Ом. Голозерный-1(St)	Нудум	4,48	4,09	3,83	4,13
3.	H 5/95F8	Нудум	6,16	5,60	5,84	5,87
4.	Челябинский	Нудум	6,45	5,83	4,57	5,62
5.	H28/96F4	Нудум	5,32	5,10	5,54	5,32
6.	Сложный гибрид	Нудум	5,33	5,23	5,34	5,30
7.	H19/95F8	Нудум	5,05	5,00	5,34	5,13
8.	К 4526	Нудум	5,39	5,12	4,67	5,06
9.	H11/95F8	Нудум	5,47	5,12	4,56	5,05

HCP 05 (сорта) = 0,36 т/га, HCP 05 (годы) = 0,42 т/га

Таблица 2

Вегетационный период наиболее продуктивных образцов коллекции голозерного ячменя ВИР, 2004 - 2006 гг.

№ п/п	Название образца	Вегетационный период, дней				Урожайность, т/га
		2004 г.	2005 г.	2006 г.	Средняя	
1.	Омский 88 (St)	81	77	75	78	4,61
2.	Омский Голозерный-1 (St)	79	77	76	77	4,13
Группа скороспелых сортов (< 70 дней)						
1.	Колхозный-7	71	70	69	70	3,33
2.	К 25894	72	71	68	70	3,01
Группа среднеспелых сортов (71- 75 дней)						
1.	H5/95F8	71	73	70	71	5,87
2.	Сл. гибрид	71	73	72	72	5,30
3.	H11/95F8	71	72	74	72	5,05
4.	H19/95F8	73	74	73	73	5,13
5.	H3/96F8	74	73	73	73	4,75
6.	Челябинский	80	70	75	75	5,62
7.	К - 4526	80	74	70	75	5,06
Группа позднеспелых сортов (> 75 дней)						
1.	H15/95F8	80	73	76	76	3,62
2.	Рамос	80	74	73	76	4,84
3.	Местный	82	73	72	76	3,70
4.	Condor	78	76	76	77	4,11
5.	Голозерный	82	74	77	78	4,15

Повышенные температуры воздуха вегетационного периода 2005 года сопровождались недобором осадков (64-79 % от нормы). Ежедневные осадки в период налива и созревания затруднили уборку зерновых, вызвали их полегание и прорастание зерна в колосе.

Сухая и жаркая погода начала периода вегетации растений 2006 года не очень благоприятно сказалась на прорастании семян ячменя и способствовала получению недружных всходов, что, как и в предыдущем году, повлекло за собой резкое снижение кустистости. Сухая и теплая погода июля не смогла до конца положительно повлиять на формирование колоса и налив. В результате – недобор урожая.

Таким образом, период исследований охватил все основные особенности погодных условий, характерные для климата южной лесостепи Омской области.

В результате оценки в условиях сибирского Прииртышья коллекционных образцов было выявлено значительное разнообразие форм по продуктивности, вегетационному периоду, содержанию белка в зерне, массе 1000 зерен.

Учитывая то, что повышение урожайности голозерного ячменя занимает доминирующее положение среди остальных признаков, все планируемые исследования в первую очередь направлены на решение этой задачи.

В результате оценки коллекционных образцов голозерного ячменя было выявлено значительное разнообразие форм по продуктивности. Урожайность голозерного ячменя за 3 года исследований колебалась от 2,18 до 5,87 т/га. Это позволило выделить наиболее урожайные образцы, существенно превышающие по этому показателю сорта-стандарты (таблица 1). Следует отметить, что наибольший интерес представляют образцы голозерного

Таблица 3

Масса 1000 зерен образцов коллекции голозерного ячменя ВИР, 2004 - 2006 гг.

№ п/п	Название образца	Масса 1000 зерен, граммов				± к стандартам	
		2004 г.	2005 г.	2006 г.	Средняя	Ом. 88	Ом. Г-1
1.	Омский 88 (St)	46,2	45,8	46,8	46,3	-	-
2.	Омский голозерный-1(St)	46,0	44,3	45,0	45,1	-	-
Группа образцов с низкой массой 1000 зерен (< 40 г)							
1.	Сложн. гибрид	38,7	38,0	40,0	38,9	- 7,4	- 6,2
Группа образцов со средней массой 1000 зерен (40,1- 45,0 г)							
1.	H3/96F8	41,3	40,0	42,1	41,1	- 5,2	- 4,0
2.	H5/95F8	48,0	37,0	42,3	42,4	- 3,9	- 2,7
3.	H19/95F8	46,5	40,0	42,6	43,0	- 3,3	- 2,1
4.	Челябинский	44,4	40,9	44,9	43,4	- 2,9	- 1,7
5.	H11/95F8	49,6	38,4	43,7	43,9	- 2,4	- 1,2
Группа образцов с высокой массой 1000 зерен (45,1-50,0 г)							
1.	H28/96F4	47,0	44,6	44,9	45,5	- 0,8	+ 0,4
2.	Местный	47,8	45,8	46,3	46,6	+ 0,3	+ 1,5
3.	К 20144	51,6	46,7	49,7	49,3	+ 3,0	+ 4,2
4.	Рамос	50,0	44,8	54,6	49,8	+ 3,5	+ 4,7
Группа образцов с очень высокой массой 1000 зерен (> 50,0 г)							
1.	Азия	56,4	54,1	50,7	53,7	+ 7,4	+ 8,6
2.	Местный	54,4	54,9	55,0	54,8	+ 8,5	+ 9,7
3.	Колхозный 7	56,8	53,2	54,6	54,9	+ 8,6	+ 9,8
4.	К - 4526	56,7	51,0	57,2	55,0	+ 8,7	+ 9,9
5.	Местный	62,7	50,6	54,1	55,8	+ 9,5	+ 10,7

Таблица 4

Результаты биохимического анализа образцов коллекции ярового голозерного ячменя, 2004 - 2005 гг.

№ п/п	Название образца	Содержание				
		белка, %	± к сортам-стандартам		крахмала, %	жира, %
			Ом. 88	Ом. Г-1		
1.	Омский 88 (St)	12,1	-	-	58,3	3,1
2.	Омский Голозерный-1 (St)	13,9	-	-	58,9	3,3
Группа образцов с низким содержанием белка (< 12 %)						
1.	Нога	11,8	-0,3	-2,1	58,9	3,5
2.	Сложный гибрид S-273	12,0	-0,1	-1,9	57,8	3,4
Группа образцов со средним содержанием белка (12,1-14,0 %)						
1.	Сложный гибрид	13,1	+ 1,0	-0,8	60,6	3,4
2.	Condog	13,2	+ 1,1	-0,7	58,5	3,9
3.	Челябинский	13,7	+ 1,6	-0,2	57,6	3,7
4.	H5/95F8	13,7	+ 1,6	-0,2	57,2	3,6
5.	H28/96F4	14,0	+ 1,9	+ 0,1	59,7	3,6
Группа образцов с высоким содержанием белка (14,1-17 %)						
1.	H3/96F8	14,3	+ 2,2	+ 0,4	58,9	3,5
2.	H11/95F8	14,6	+ 2,5	+ 0,7	57,0	3,6
3.	H15/95F8	14,8	+ 2,7	+ 0,9	59,6	3,5
4.	К-4526	15,5	+ 3,4	+ 1,6	57,5	3,3
5.	Рамос	15,9	+ 3,8	+ 2,0	57,2	3,4
Группа образцов с очень высоким содержанием белка (> 17%)						
1.	Namoi	17,2	+ 5,1	+ 3,3	61,0	3,2
2.	К-20144	17,6	+ 5,5	+ 3,7	55,8	2,9

ячменя разновидностей нудум (голозерные дву-рядные) и целесте (голозерные многорядные).

Продолжительность вегетационного периода образцов коллекции голозерного ячменя ВИР в среднем за три года (2004, 2005, 2006 гг.) колебалась

от 70 до 79 дней. Количество скороспелых образцов составило 3 %, среднеспелых – 71 %, позднеспелых – 26 %. При анализе образцов коллекции голозерного ячменя ВИР по вегетационному периоду учитывалось то, что позднее созревание голозер-

ного ячменя способствует совпадению сроков его уборки со сроками уборки основной продовольственной культуры — пшеницы. Поэтому были выделены образцы, принадлежащие к группам скороспелых и среднеспелых сортов с продолжительностью вегетационного периода от 70 до 75 дней, которые позволяют произвести уборку до созревания яровой пшеницы — основной продовольственной культуры (таблица 2).

Крупность зерна — одно из важнейших факторов в формировании урожайности сорта: чем выше масса 1000 зерен при равенстве всех остальных показателей, тем выше продуктивность. При анализе образцов коллекции ярового голозерного ячменя ВИР по массе 1000 зерен количество образцов с низкой массой 1000 зерен составило 7,5 %, со средней — 30,0 %, с высокой — 30,0 %, с очень высокой — 32,5 %. Учитывая то, что одним из путей увеличения урожайности сортов ярового ячменя является повышение их крупнозерности, нами выделена группа образцов коллекции ярового голозерного ячменя ВИР с очень высокой массой 1000 зерен (таблица 3), которая привлечена к скрещиванию с целью повышения крупности зерна при сохранении прежнего уровня других элементов структуры урожая.

В одних и тех же условиях произрастания голозерные ячмени по своей биологической природе способны накапливать больше белка, чем пленчатые. По результатам биохимического анализа, проведенного в 2004 — 2005 годах лабораторией физиологии и биохимии растений, количество образцов коллекции ярового голозерного ячменя ВИР с низким содержанием белка составило 3 %, со средним — 30 %, с высоким — 64 %, с очень высоким — 3%. Группы образцов с высоким и очень высоким содержанием белка в зерне превосходят по данному показателю сорта-стандарты (таблица 4). Поэтому наибольший практический интерес для нас представляют образцы коллекции ВИР, относящиеся к группам с высоким и очень высоким содержанием белка.

В результате оценки в 2004 — 2006 годах в условиях сибирского Прииртышья 80 коллекционных образцов из различных стран мира отобраны по комплексу хозяйственно-ценных признаков лучшие двурядные голозерные ячмени. Данные образ-

цы будут рекомендованы к использованию в селекционной работе лаборатории селекции ячменя и проса СибНИИСХ в качестве исходного материала для гибридизации с сортами местной селекции.

Результаты многолетнего изучения сортообразцов коллекции ВИР позволили выделить лучшие из них по комплексу признаков. Использование в скрещивании лучших образцов коллекции ВИР стало результатом создания в ГНУ СибНИИСХ СО РАСХН двух сортов голозерного ячменя. Методом индивидуального отбора из гибридной комбинации [(Голозерный х Омский 88)х(Голозерный х Омский 91)] был получен сорт ярового голозерного ячменя Омский Голозерный-1 разновидности нудум. Зерно желтое, голое, крупное, масса 1000 зерен 45,0-50,0 грамма. Максимальная урожайность — 5,87 т/га. Он имеет повышенное содержание белка и лизина, за счет чего обеспечивается сбалансированность кормов по питательности. Сорт формирует урожайность на уровне пленчатых стандартов, среднеспелый, устойчив к каменной головне и высокоустойчив к пыльной головне. Устойчивость к полеганию выше средней. Сорт не имеет аналогов в регионах Сибири, вполне конкурентоспособен с сортами пленчатого ячменя. Может быть использован и в крупяной промышленности. Районирован по 10-му региону в 2004 году.

Методом сложных скрещиваний сортов [(Голозерный х Нутанс 4304)х Рикотензе + Паллидум 4414] с последующим индивидуальным отбором в F3 выведен сорт голозерного ячменя Омский Голозерный-2 разновидности целесте. Зерно желтое, голое, масса 1000 зерен 40,0 - 42,0 грамма, сорт среднеспелый, высокорослый, соломина прочная. Максимальная урожайность 5,92 т/га. Сорт обладает иммунитетом ко всем видам головни, имеет повышенное содержание белка и лизина в зерне и проходит испытание во всех зонах 9 и 10 региона.

КРОЛЕВЕЦ Сергей Сергеевич, аспирант лаборатории селекции ячменя ГНУ СибНИИСХ.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.11.06 г.
© Кролевец С.С.

Книжная полка

Переверзев В. Н. Современные почвенные процессы в биогеоценозах Кольского полуострова / В. Н. Переверзев; Поляр. — альп. ботан. сад-ин-т Кол. НЦ РАН. — М.: Наука, 2006. — 12 л. — ISBN 5-02-034071-5 (в пер.).

В монографии рассказано о том, что впервые в условиях Субарктики проведены многолетние комплексные исследования современных процессов в почвах: динамики их состава и свойств, водной миграции химических элементов в пределах почвенного профиля, трансформации органического вещества и формирования гумусового комплекса. Выявлены показатели почвенного состояния, адекватно реагирующие на изменение гидротермических условий. По результатам экспериментальных работ рассмотрены теоретические вопросы современного почвообразования в суровых климатических условиях. Разрабатывается концепция экологической обусловленности формирования и эволюции почв в соответствии с природными условиями территории.

Чебышев А.Н. Биологический тематический словарь: учебное пособие / Н.В. Чебышев, М.В. Козарь, А.Н. Демченко. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 416 с.

Словарь содержит термины по общей биологии, ботанике, зоологии и анатомии. Раздел «Общая биология» содержит подразделы: «Цитология», «Размножение и индивидуальное развитие», «Генетика и селекция», «Эволюция», «Возникновение и развитие жизни на Земле», «Происхождение человека», «Экология».

Для студентов высших учебных заведений. Может быть полезен школьникам и учителям общеобразовательных средних учебных заведений.

ГЕТЕРОТРОФНЫЕ ЭВГЛЕНОВЫЕ ЖГУТИКОНОСЦЫ ВОДОЁМОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье рассмотрен таксономический состав гетеротрофных, или бесцветных, эвгленовых жгутиконосцев некоторых водоемов южной части Омской области. Показаны особенности распределения отдельных видов в разнотипных водоемах и определена частота их встречаемости.

Введение

Недостаточная изученность роли гетеротрофных эвгленид в экосистемах континентальных пресных водоемов предопределяет необходимость изучения их состава, структуры и функции эвгленопланктона и бентоса как таксоценозов. Идентификация всего качественного состава планктонных и бентосных гетеротрофных эвгленид и изучение экологии отдельных видов даст возможность получить адекватное представление об их разнообразии. Количественная оценка развития эвгленопланктона и бентоса, анализ структурных характеристик и изменчивости этих параметров во времени и в условиях гетерогенности окружающей среды позволят выявить влияние природных и антропогенных факторов на его состояние. На основании определения функциональной активности планктонных и бентосных гетеротрофных эвгленид, с учётом данных о структурной организации сообщества, становится возможной оценка роли гетеротрофных эвгленид в создании и трансформации органического вещества в пресноводных экосистемах.

Материал и методика

Материал собирался в водоемах Омска и южной части Омской области в 2003 – 2006 гг. Основными местами сбора проб были пресные озера, находящиеся в черте города Омска: Чередовое, озера памятника природы «Птичья Гавань», озеро парка Победы, Озерки, озера Моховое северное и Моховое южное, парка 30-летия ВЛКСМ. Другими водоемами южной части области, обследованными нами, явились озера и старицы окрестностей села Таврическое (Фрегат, Луговое), озера окрестностей сел Шербакуль и Нововаршавка, озеро Жарылдыколь. Указанные водоемы являются неглубокими, в большинстве своем зарастающими водоемами с пологими, заросшими камышом и рогозом берегами, с илистым или песчано-илистым дном, с зарослями макрофитов в прибрежной части. Обследованные нами водоемы испытывают различную степень воздействия человека. Большинство переливных выше пресных озер в той или иной степени испытывают на себе пресс расположенных поблизости населенных пунктов. Это сказывается на качестве воды, грунта, кислородном и температурных режимах, биологическом и химическом равновесии и т.п.

В 13 водоемах всего было собрано 86 проб. Материал собирался с применением стандартных методов сбора протистологических и гидробиологических проб (Гусева, 1956; Жадин, 1956; Киселев, 1956а, 1956б). Определение видов проводилось по описаниям, содержащимся в литературе (Попова, Сафонова, 1976; Ветрова, 1980; Лихачев, 1999).

Результаты

В водоемах южной части Омской области (от Омска и вплоть до границ с Республикой Казахстан) в озерах и старицах реки Иртыш отмечено 36 видов свободноживущих гетеротрофных эвгленовых жгутиконосцев (Euglenozoa, Euglenoidea), относящихся к 17 родам (табл. 1). По родовому составу гетеротрофные эвглениды лидируют среди всех эвгленовых жгутиконосцев. Доля бесцветных эвгленовых в общем родовом составе равна 60,7%. Противоположное положение отмечено для видового разнообразия. В водоемах Омской области гетеротрофные эвглениды значительно уступают фоторотрофным видам. Так, по нашим и литературным данным (Лихачев, 1997, 1999), доля гетеротрофных форм в общем видовом составе класса Euglenoidea для обследованных водоемов составляет всего 15,6%.

По видовому разнообразию в обследованных водоемах лидирует род *Astasia* – 7 видов, что составляет 19,4% от общего видового состава гетеротрофных эвгленид указанных водоемов. На втором месте род *Petalomonas* – 4 вида, или 11,1%. Роды *Menoidium*, *Urceolus* и *Distigma* каждый представлены 3 видами, или соответственно по 8,3%. Роды *Anisonema*, *Sphenomonas*, *Petanepta* и *Heteronema* представлены двумя видами каждый, или по 5,6%. Восемь родов гетеротрофных эвгленид в обследованных водоемах имеют низкое видовое разнообразие и представлены каждый 1 видом, или по 2,8%, а в сумме – 22,2%.

Распределение отмеченных для обследованных водоемов видов гетеротрофных эвгленид в разнотипных водоемах неодинаково.

Видовое разнообразие в разных озерах варьирует от 7 до 25 видов и от 1 до 5 в пробе. Среднее число видов во всех обследованных пресных озерах подзоны – $12,5 \pm 0,4$, а в пробе – $1,2 \pm 0,9$. Средняя частота встречаемости гетеротрофных эвгленид в водоемах составляет $37,2 \pm 0,9$, а в пробах – $2,6 \pm 0,6$.

Особи вида *Petanepta trichophorum* отмечены в 100% водоемов. Из других гетеротрофных эвглено-

Таблица 1

Видовое разнообразие и частота встречаемости гетеротрофных звеньев в водоемах и пробах в %
(Омск и Омская область, 2003 – 2006 гг.)

Роды, виды	Частота встречаемости в водоемах и пробах в %													Средняя частота встречаемости	Кол-во проб/ Доля от общего кол-ва проб в %
	озера и старицы														
	Череповое	Птичья Гавань	Парк Победы	Озёрки	Моховое северное	Моховое южное	Парк 30-летия ВЛКСМ	Таврическое (Фрегат)	Луговое	Шербакуль	Новоаршавка	Жарындаркаль			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1. <i>Entosiphon sulcatum</i>	40	60		30	40			25	50		20		37,9±1,2	19/35,8	
2. <i>Dinema gresolium</i>	20	10							100	25			38,8±2,0	8/28,6	
3. <i>Anisonema acinus</i>	30	20		40									30,0±2,5	9/30,0	
4. <i>A. ovale</i>				20			10						15,0±3,2	3/15,0	
5. <i>Petalomonas inflexa</i>	10			20			20						16,7±1,8	5/16,7	
6. <i>P. medicanellata</i>	20					60							40,0±4,5	5/33,3	
7. <i>P. mira</i>	10					20							15,0±4,2	2/13,3	
8. <i>P. steinii</i>								25	75		10		36,7±3,1	5/27,8	
9. <i>Sphenomonas teres</i>	10			10	20	20	10						14,0±1,1	5/12,5	
10. <i>S. quadrangularis</i>											10	25	17,5±2,8	2/14,3	
11. <i>Menoidium mini-mum</i>		30			20		10						20,0±1,9	5/20,0	
12. <i>M. pellicidum</i>		40	10									25	25,0±1,5	6/25,0	
13. <i>M. tortuosum</i>		50	20					25	25				30,0±2,7	9/32,1	
14. <i>Cyclidiopsis acus</i>	50	40		70	40			50	25	25	60	50	45,6±0,5	30/49,2	
15. <i>Rahdomonas incurva</i>		20						100	50				56,7±6,8	8/44,4	
16. <i>Gyropagne kosmos</i>	40			50				100	100		60		70,0±0,6	19/50,0	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17. <i>Astasia curvata</i>	70			60	60	40							57,5±0,9	21/70,0
18. <i>A. dangeardii</i>	50			60	20	10							35,0±1,0	13/43,3
19. <i>Astasia inflata</i>	40	30	30		20		30	25	25		50	25	30,6±0,7	22/32,8
20. <i>A. klebsii</i>	50	40	20	20	20	60	20	50	25	25	70	25	32,7±0,4	31/36,1
21. <i>A. longa</i>	80	70	40	60	40	40	30	75	25	25	30	25	41,5±0,2	41/47,7
22. <i>A. sagittifera</i>	20		30					25			20		23,8±0,8	8/23,5
23. <i>A. skadowskii</i>	10		20					50			40		60,0±0,6	9/26,5
24. <i>Euglenopsis vorax</i>			20					25			20		21,7±2,3	5/20,8
25. <i>Peranema granuliferum</i>		30									40		35,0±3,1	7/35,0
26. <i>P. trichophorum</i>	100	100	70	100	80	60	40	100	100	50	100	50	73,1±0,1	70/81,4
27. <i>Heteronema acus</i>	60	40		60	40			75	50	25	30		47,5±0,9	27/47,4
28. <i>H. scabrum</i>	20	20		30				25					23,7±1,3	8/23,5
29. <i>Urceolus cyclostomus</i>										25	40	25	30,0±2,4	6/33,3
30. <i>U. sabulosus</i>	20	10											15,0±1,6	3/15,0
31. <i>U. cyrusorum</i>	40	20		30				75			30		41,3±1,9	12/35,3
32. <i>Distigma curvata</i>	40							25					31,7±2,4	8/33,3
33. <i>D. proteus</i>	60	70		60				100	75		60		70,8±0,4	29/60,4
34. <i>D. striato-granulata</i>	30			40									35,0±2,1	7/35,0
35. <i>Notosolenus arcosimptus</i>								100			40		70,0±3,4	8/57,1
36. <i>Hawkinea quadrata</i>	40			50							20		55,0±1,5	11/36,7
Средняя частота встречаемости в %	25 38,4	18 38,9	9 28,9	18 45,0	11 36,4	8 38,8	8 21,3	19 56,6	13 44,2	8 28,1	19 39,5	7 32,1	36 37,2±0,9	
Общая частота встречаемости в пробах														1242,1
Средняя частота встречаемости в пробах в %														2,6±0,6
Кол-во проб	10	10	10	10	5	5	10	4	4	4	10	4	Всего проб: 86	

вых можно отметить виды рода *Petalomonas*: *P. mira* и *P. steinii*. Их частота встречаемости практически одинакова — от около 15 до 40% проб.

Отмечен вид *Anisopema acinus*, также характерный для озер и малых водоемов центральной лесостепи. Но если в водоемах центральной лесостепи особи вида встречаются редко, то в малых водоемах южной лесостепи данный вид далеко не редкость. Особи вида отмечены в 30% проб. Все остальные виды в малых водоемах южной лесостепи имеют меньшие показатели частоты встречаемости.

Заключение

Таким образом, гетеротрофные эвгленовые жгутиконосцы в обследованных водоемах, имея представительный родовой состав, по видовому разнообразию значительно уступают фототрофным видам эвгленид. Лишь некоторые виды из гетеротрофных эвгленид (роды *Astasia*, *Peranema*) широко распространены в озерах лесостепи Омской области и имеют высокую частоту встречаемости как в водоемах, так и в пробах.

Библиографический список

1. Ветрова З.И. Эвгленофитовые водоросли / В кн.: Флора континентальных водоемов Украинской ССР. Киев: Наук. думка, 1986. — 346 с.
2. Гусева К.А. Методы эколого-физиологического исследования водорослей / Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956, т. 4, ч. 1. - с. 122-159.

3. Жадин В.И. Методика изучения донной фауны водоемов и экологии донных беспозвоночных / Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956, т. 4, ч. 1. - С. 279-382.

4. Киселев И.А. Методика исследования планктона / В кн.: Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956а, т. 4, часть 1. - С. 183-256.

5. Киселев И.А. Методы исследования нейстона / В кн.: Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956б, т. 4, часть 1. - С. 266-271.

6. Лихачев С.Ф. Эвгленовые водоемы Омской области / Омск: изд-во ОмГПУ, 1997. — 242 с.

7. Лихачев С.Ф. Атлас эвгленовых жгутиконосцев из водоемов юга Западной Сибири и северного Казахстана / Омск: ОмГПУ, 1999, - 160 с.

8. Попова Т.Г., Сафонова Т.А. Эвгленовые водоросли / В кн.: Флора споровых растений СССР. Л.: Наука, 1976, т. 9, вып. 2. - 288 с.

9. Усачев П.И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона / Тр. Всес. гидробиол. общ., 1961, XI.

ГАВРИЛОВА Наталья Владимировна, соискатель кафедры зоологии.

ЛИХАЧЕВ Сергей Федорович, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.
© Гаврилова Н.В., Лихачев С.Ф.

УДК 632.937.15:576.8

Г. В. БАРАЙЦУК
О. Ф. ХАМОВА

Омский государственный
аграрный университет
Сибирский НИИ
сельского хозяйства

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ХВОЙНЫХ ПОРОД

Показано изменение биологической активности почвы под действием препаратов на основе микроорганизмов и природных веществ в сравнении с химическими в процессе выращивания саженцев хвойных пород.

В современной научной литературе немногочисленны работы, посвященные изучению микробиологических показателей почвы после применения тех или иных препаратов. Сложность этой проблемы обоснована Д.Г. Звягинцевым (1980). В основе принципа биологической диагностики почв лежит представление о том, что почва как среда обита-

ния составляет единую систему с населяющими её популяциями разных организмов. Микроорганизмы своей жизнедеятельностью в значительной мере влияют на процессы, происходящие в почве, создавая условия для развития тех или иных биогеоценозов. Они очень чуткие индикаторы, резко реагирующие на различные изменения в среде,

и в зависимости от интенсивности воздействия и длительности неблагоприятных факторов среды обитания дают на них ответ, проявляющийся в специфических и неспецифических реакциях изменения. Отсюда и необычная динамичность микробиологических показателей.

Общее количество микроорганизмов в почве свидетельствует об интенсивности биохимических процессов, протекающих в ней. Однако почвы характеризуются не только составом и численностью разных групп биоты, но и суммарной активностью, а также активностью биохимических процессов, обусловленных наличием в почве определённого запаса ферментов, выделенных прижизненно в результате деятельности растений и микроорганизмов и аккумулярованных почвой после разрушения клеток (Шебалова Н.М., 2002).

Результаты исследований, посвященных изучению биологической активности почв при применении пестицидов, противоречивы. Было установлено как негативное влияние пестицидов на почвенную микрофлору (Воробьев Н.И. и др., 2004; Шилкина Е.А. и др., 2004; Солдатов В.А., 2001), так и отсутствие чёткого выраженного отрицательного действия (Заплетнюк Ю.А. и др., 2004; Хамова О.Ф. и др., 2002, 2003).

В то же время почти все авторы отмечают стимулирование микробиологических процессов при использовании пестицидов в производственных дозах. Как правило, сразу после химической обработки в почве наблюдается угнетение развития микрофлоры, длительность этого периода зависит от многих биотических и абиотических факторов. Затем наступает вспышка в жизнедеятельности микроорганизмов, сменяющаяся депрессией (Солдатов В.А., 2001).

Выращивание посадочного материала из зелёных черенков остаётся актуальной проблемой. Разные культуры в силу своих биологических особенностей дают разный процент укоренения по существующей технологии зелёного черенкования. Поскольку для укоренения черенков создаётся высокая влажность, возникают условия для их загнивания, что значительно уменьшает выход посадочного материала. Одним из вариантов решения данной проблемы может явиться использование препаратов на основе биологических веществ, обладающих антагонистическими и стимулирующими свойствами.

С 2000 г. в ФГОУ ВПО ОмГАУ начаты эксперименты по использованию биологических препаратов при выращивании посадочного материала хвойных пород: туи западной (*Thuja occidentalis*), можжевельника казацкого (*Juniperus sabina*) и можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis*), широко применяемых для озеленения городской зоны.

Цель настоящей работы – изучить влияние биологических препаратов на почвенную микрофлору при выращивании посадочного материала хвойных пород из зеленых черенков в сравнении с химическим препаратом Фундазол и стимулятором роста – 4 – (индол-3-ил) масляной кислотой (ИМК), обработка которыми рекомендуется существующей технологией для повышения результатов укоренения.

Методика исследований

Черенкование проводилось ежегодно в конце июня. Заготовленные черенки слегка увлажняли

и перед посадкой обрабатывали препаратом Корневин, содержащим 5 г индолилмасляной кислоты на 1000 г гальки. Посадку черенков производили в парники с размещением 5x5 см (400 шт./м²). Высаживали черенки на глубину 2,5 см, плотно обжимая субстрат вокруг черенка. В качестве субстрата, наносимого слоем 3...5 см на поверхность дерново-перегнойной земли, использовали речной песок.

Изучалась эффективность применения следующих препаратов:

1. Препарат Планриз, нарабатывающийся на основе бактерий *Pseudomonas fluorescens*, обладающий защитным и стимулирующим действиями (Воронин, 1995).

2. Препарат Росток производства Тюменской государственной сельскохозяйственной академии, представляющий собой 1% раствор гуминовых кислот, полученный из торфа и обладающий стимулирующим действием (Грехова И.В., 2005).

3. Препарат Триходермин, созданный на основе почвенного гриба *Trichoderma lignorum*, который в процессе своего роста выделяет три антибиотика: триходермин, веридин, глиотоксин, обеспечивающих защиту от фитопатогенов. Препарат также обладает стимулирующим эффектом (Бухотина Ю.В., 2004).

Поскольку образование корней у хвойных пород процесс длительный и, в основном, каллус и корни образуются осенью, когда обычно бывают дожди и пониженная температура, для обеспечения защиты черенков от фитопатогенов применение препаратов Планриз и Росток происходило через 15 дней трёх- или пятикратно. Триходермин – двукратное через месяц согласно Списку разрешённых препаратов.

Препараты испытывались в закрытых парниках. Эталонами служили варианты, где применяли химический препарат Фундазол и стимулятор роста ИМК. Контрольными были варианты без обработки черенков.

Численность почвенных микроорганизмов определялась на твердых питательных средах: бактерий, использующих органические формы азота, – на мясо-пептонном агаре (МПА); микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота, учитывалась на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофилов – на среде Мишустина, бактерий, мобилизующих минеральные фосфаты, – на среде Муромцева-Герретсена, грибов – на подкисленной среде Чапека.

Ферментативная активность почвы определялась в воздушно-сухих образцах: инвертазы – по Купревичу с определением сахаров по Бертрану, уреазы – по Гофману с колориметрическим окончанием, каталазы – газометрически.

Исследования проводились в течение 2003 – 2005 гг.

Результаты исследования

Укореняемость зависит от биологического вида растений. Так, процент укореняемости черенков различных видов можжевельника может варьировать от 8 до 44...100. В результате проведенных нами в 2000 – 2005 гг. полевых опытов можжевельник казацкий в контроле без обработки препаратами имел гораздо большую укореняемость (46,9%), чем туя западная (5,6%) и можжевельник обыкновенный (17,7%). В опытных вариантах процент укоренения в 1,5-2 раза выше. Таким образом, применение биологических препаратов значи-

Таблица 1

Влияние биологических препаратов на почвенную микрофлору (среднее из 2-х определений, 2004 г.)

Фактор А	Фактор В					
	Контроль	ИМК	Фундазол	Планриз	Росток	Триходермин
Микроорганизмы						
Грибы, тыс.	23,4	17,8	19,1	22,6	31,4	25,3
Исп. орг. формы азота, млн.	36,3	66,5	51	42,8	51,9	46,7
Исп. минер. формы азота, млн.	53,6	52,4	57,8	42,4	42,1	44,2
Мобил. минер. фосфаты, млн.	90,2	161	94	74	87,4	175
Олигонитрофилы, млн.	186,8	275,4	191,9	140	170,4	234,4
Общее количество, млн.	367	555,3	394,7	299,2	351,8	500,2
$HCP_A = 8,45$	$HCP_B = 4,38$					
$HCP_{AB} = 3,08$						

тельно повышает результативность зеленого черенкования. Поэтому и возникла необходимость обосновать их использование с помощью изучения почвенной микрофлоры.

Общеизвестно, что грибы являются чувствительными к пестицидам микроорганизмами и угнетаются большим числом химических препаратов в течение более длительного времени, чем бактерии и актиномицеты. В вариантах с применением биопрепаратов Росток, Планриз, Триходермин наблюдалась стимуляция численности грибов, что коррелирует с благоприятными условиями развития почвенной микрофлоры (табл. 1).

Наблюдения за почвенной микрофлорой в 2004 году показали, что численность микроорганизмов, утилизирующих органические соединения азота (на МПА), под влиянием биопрепаратов увеличилась в среднем на 18-43% к контролю. В наибольшей степени (на 43%) количество аммонификаторов превышало контрольный вариант при использовании биопрепарата Росток, представляющего собой раствор гуминовых кислот, выделенных из торфа и, видимо, послуживших дополнительным источником питания для органотрофных микроорганизмов (табл. 1).

В значительной степени стимулировало численность бактерий-сапрофитов, растущих на МПА, на 40 и 83% соответственно, применение химических препаратов Фундазол и ИМК, являющихся также органическими соединениями. При дисперсионном анализе данных двухфакторного опыта была установлена $HCP_{AB} = 3,08$, означающая, что опытный вариант Росток не существенно отличается от эталона Фундазол, т.е. находится на одном уровне.

Численность микроорганизмов, использующих в питании минеральные формы азота (на КАА), при применении биопрепаратов была ниже уровня контроля и эталонных химических средств защиты (ИМК и Фундазол). Видимо, образующийся в процессе разложения органических соединений азота аммиак большей частью нитрифицировался и использовался в питании черенков, способствуя их укоренению. Другой возможной причиной потерь минерального азота мог быть процесс денитрификации, который усиливается при высокой влажности субстрата.

Численность фосфатмобилизирующих бактерий коррелирует с процессом мобилизации фосфора. Превышение численности фосфоромобилизаторов наблюдается в вариантах с Триходермином и ИМК.

Наиболее важная особенность олигонитрофилов – их способность развиваться при очень низком азотном уровне в субстрате, что отличает их от других групп микроорганизмов. Олигонитрофилы чрезвычайно разнообразны по таксономическому составу и физиологическим свойствам. В основном они представлены неспорносными бактериями, микобактериями и очень небольшим числом актиномицетов. В наших опытах низкая обеспеченность субстрата азотом нитратов (до 10 мг/кг) вызвала развитие олигонитрофильных микроорганизмов. Их количество превышало контроль в вариантах с ИМК и Триходермином.

В среднем за период исследований в 2004 г. наиболее высокая общая численность микроорганизмов была в вариантах с применением биопрепарата Триходермин и стимулятора ИМК, соответственно на 40 и 55% выше в сравнении с контролем. Антибиотические вещества, выделяемые грибом-антагонистом триходерма, негативно влияли на патогенные микроорганизмы, способствуя развитию полезной бактериальной микрофлоры. Известно о других положительных воздействиях гриба на почву благодаря выделению ферментов хитиназы, целлюлазы, глюканазы: усилению процессов разложения органических соединений в почве, стимуляции различных групп микроорганизмов, улучшению структуры почвы (Бухотина Ю.В., 2004).

Опыт 2005 г. был заложен аналогично 2004 г. При этом численность грибов при использовании биопрепаратов была достоверно выше контроля без обработки и фунгицида Фундазол. Эти результаты подтверждают данные 2004 г. о благоприятных условиях для развития почвенной микрофлоры.

Так же, как и в 2004 г., при внесении биопрепаратов в субстрате увеличилось количество аммонификаторов, растущих на МПА, особенно в вариантах с Ростком и Планризом, соответственно на 78 и 105% к контролю. В 1,5 раза в сравнении с контролем возрастало количество аммонифицирующих бактерий и при использовании фунгицида Фундазол, что можно объяснить его органической природой, а также содержанием в его составе азота (табл. 2).

Количество микроорганизмов, потребляющих азот в виде аммиака и растущих на КАА, менялось в сравнении с контролем незначительно. У вариантов с биологическими препаратами сохранялась тенденция 2004 г. к снижению численности (табл. 2).

Влияние биологических препаратов защитного и стимулирующего действия на численность почвенных микроорганизмов в 2005 г.

Фактор А	Фактор В					
	Контроль	ИМК	Фундазол	Планриз	Росток	Триходермин
Грибы, тыс.	9,6	16,5	8,3	15,5	14,4	38,5
Исп. орг. формы азота, млн.	54,2	64,1	86	112	97	74
Исп. минер. формы азота, млн.	28,5	21,3	37,0	26,2	21,1	21,4
Мобил. минер. фосфаты, млн.	34,1	24,5	66,6	59	39,5	21
Олигонитрофилы, млн.	111,4	109,7	125,3	110,8	74,8	79,3
Общее количество, млн.	228,5	219,6	315	308	232,4	196,7
$HCP_A = 3,58$	$HCP_B = 3,37$					
$HCP_{AB} = 2,37$						

Численность фосфатмобилизующих бактерий в 2005 г. в вариантах с внесением Планриза, Ростка и Фундазола была достоверно выше контроля (табл. 2).

В опыте 2005 г. развитие олигонитрофильных микроорганизмов в вариантах с биологическими препаратами было на уровне контроля без обработки (Планриз) либо ниже его (табл. 2).

Общая численность микроорганизмов в опыте 2005 г. в вариантах с биопрепаратами Росток, Триходермин и ИМК была на уровне контроля, а от внесения *Pseudomonas* (Планриз) повысилась на 32%. Применение препарата Фундазол способствовало росту общей численности микроорганизмов на 34,5% в сравнении с контролем.

Чтобы проследить динамику изменения микробиологических показателей почвы, анализировались два отбора проб – в сентябре и октябре. Установленная тенденция была аналогична для всех наблюдаемых лет. Данные представлены на примере 2004 г. (рис. 1).

Налицо самая большая численность в эталонном варианте – ИМК. Количество микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы в опытном варианте Триходермин сравнимо с эталонным вариантом

Фундазол. На представленном рисунке отчетливо видна закономерность, выявленная в данном опыте, – численность микроорганизмов в контрольном и эталонных вариантах падает через месяц, в то время как в опытных вариантах наблюдается тенденция к повышению. Дисперсионный анализ двухфакторного опыта (А – сроки отбора; В – препараты) показал, что контрольный и эталонные варианты достоверно отличаются друг от друга как по срокам анализа, так и по действию препаратов на микробный комплекс. Опытные варианты отличаются друг от друга по фактору В, т.е. имеют существенное различие по характеру действия препаратов на почвенные микроорганизмы. По фактору А, т.е. по срокам отбора проб, существенной разницы не зафиксировано.

В то же время наименьшая существенная разница факторов А и В во взаимодействии позволяет сделать вывод, что повышение численности микробного комплекса в вариантах Росток и Триходермин существует.

Численность бактерий на почвенном агаре, в целом отражающая экологическую ситуацию в почве, незначительно изменялась под влиянием биопрепаратов Планриз и Росток – на 16-17% к кон-

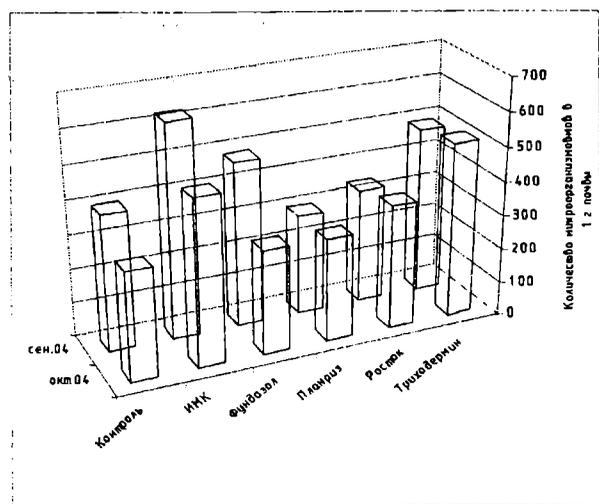


Рис. 1. Динамика изменения общего количества почвенных микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы по разным срокам отбора проб в 2004 г. $HCP_A = 67,32$ $HCP_B = 23,79$ $HCP_{AB} = 12,59$

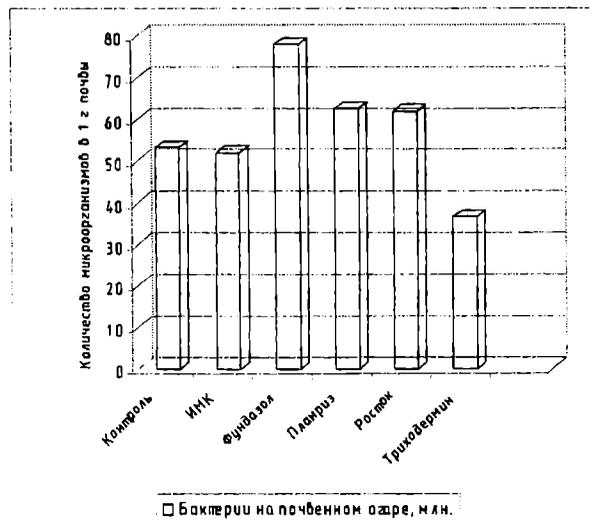


Рис. 2. Количество бактерий на почвенном агаре в 2003 - 2005 гг. $HCP_{0,5} = 4,43$ $HCP_{0,1} = 7,52$

Влияние биопрепаратов на ферментативную активность почвы

Ферменты	ИМК	Фундазол	Планриз	Росток	Триходермин
Уреаза, мг NH ₂ /г	0,22	0,19	0,28	0,23	0,25
НСР _{0,5} = 0,04					
Каталаза, см ³ O ₂ в мин/г	0,8	0,8	1,02	0,89	0,86
НСР _{0,5} = 0,17					
Инвертаза, мг инвертного сахара в 1 г	5,2	5,3	5,7	6,7	6
НСР _{0,5} = 0,41					

тролю соответственно (рис. 2), что подтверждает данные Е.А.Шилкиной и Н.А.Заика (2004).

При внесении Триходермина количество бактерий на почвенном агаре снизилось в сравнении с контролем на 31%, что связано с трёхкратным увеличением численности грибов. Фундазол достоверно оказал стимулирующее воздействие на рост микроорганизмов на почвенном агаре. Их количество возросло на 46,5% к контролю. Не установлено достоверной разницы в количестве бактерий на почвенном агаре между контролем и ИМК, а также Планризом и Ростком. В то же время биологические препараты достоверно отличались по повышенной численности бактерий на почвенном агаре от контроля без обработки и ИМК.

Таким образом, применение препаратов биологической природы в целом положительно воздействовало на микрофлору почвы: в варианте с Ростком — обогащая почву энергетическим материалом для жизнедеятельности микроорганизмов; при использовании Планриза — введением полезных бактерий *Pseudomonas*, с Триходермином — благодаря антагонистическим и другим полезным свойствам гриба, улучшающим структурное состояние и питательный режим почвы. Развитие полезной микрофлоры, увеличение численности агрономически важных групп микроорганизмов способствовало усилению биологической активности почвы, подавлению фитопатогенов и лучшему укоренению черенков.

Функциональное состояние микроорганизмов почвы, напряженность и направленность биохимических процессов, протекающих в почве, отражает её ферментативная активность. Считается, что показатели ферментативной активности почвы более точны, чем показатели численности основных групп почвенных микроорганизмов, и их целесообразнее использовать для биомониторинга почв.

Ферменты, относящиеся к классу оксиредуктаз (каталаза, дегидрогеназы, пероксидазы, полифенолоксидазы и др.), катализируют окислительно-восстановительные реакции, являющиеся основным звеном в процессе синтеза гуминовых веществ в почве (Звягинцев Д.Г., 1980).

Фермент инвертаза участвует в биохимических превращениях углеводов, которые содержатся в почвенном органическом веществе, микроорганизмах и растениях в значительном количестве. Углеводы составляют 60% растительных остатков, поступающих в почву. Активность инвертазы коррелирует с количеством живых корней в почве (Хамова О.Ф. и др., 2002).

К ферментам, участвующим в превращении белковых веществ, относится уреазы, которая ка-

тализирует распад мочевины на аммиак и углекислоту. Образовавшийся в результате уреазной реакции аммиак служит источником питания растений (Звягинцев Д.Г., 1980).

Определение активности гидролитических (инвертаза, уреазы) и окислительно-восстановительного (каталаза) ферментов показало, что ослабления действия ферментных систем под влиянием биопрепаратов не происходило. Напротив, в вариантах с внесением препаратов Росток, Триходермин и Планриз активность инвертазы возросла по сравнению с эталонами: ИМК и Фундазол (табл. 3).

Уреазная активность в варианте с внесением ИМК достоверно не отличалась от вариантов с биологическими препаратами. Достоверная разница была зарегистрирована только с химическим препаратом Фундазол. В данном случае превышение активности фермента уреазы колебалось от 21 до 47% (табл. 3).

Химические эталоны по каталазной активности имели идентичные значения, которые не достоверно отличались от вариантов Росток и Триходермин. Достоверная разница в каталазной активности по отношению к эталонным вариантам была получена только в варианте Планриз, который показал превышение ИМК и Фундазола на 27% (табл. 3).

Химические препараты показали сходную, достоверно не отличимую, активность фермента инвертазы. В то же время химические эталоны достоверно отличались от вариантов с использованием биологических препаратов, превышение последних колебалось от 10 до 28%.

Анализ данных по ферментативной активности в динамике позволил выявить закономерность, заключающуюся в том, что она возрастает в вариантах опыта с биологическими препаратами осенью (рис. 3, 4, 5).

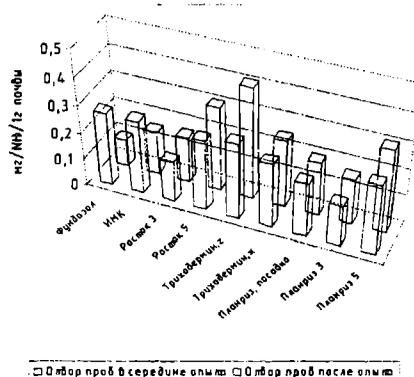


Рис. 3. Содержание фермента уреазы в почвенных образцах

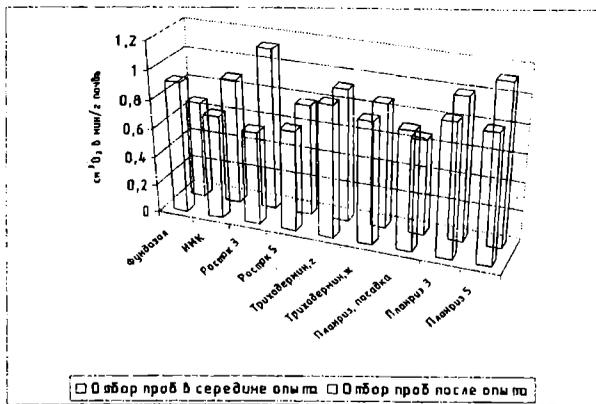


Рис. 4. Содержание фермента каталазы в почвенных образцах

В то же время у химического эталона (Фундазол) ферментативная активность к концу опыта падает у всех трёх изучаемых ферментов, в то время как ИМК вызывала увеличение каталазы и инвертазы в почве после полевого опыта. Этот факт дает основание констатировать «продолженное» положительное влияние биологических препаратов на почву.

Заключение и выводы

Применение биопрепаратов Росток, Планриз, Триходермин в парниках для предотвращения загнивания черенков способствует увеличению численности агрономически полезных групп микроорганизмов, усилению ферментативной активности почвы. Повышение биологической активности почвы способствует подавлению развития фитопатогенов, улучшая условия укоренения черенков.

1. Биологическая активность почвы стимулируется не только биологическими препаратами, но и химическими. В наших исследованиях биологические препараты по своему действию превышали контроль без обработки, но значение численности почвенных микроорганизмов у химических эталонов было выше.

2. Эксперименты, проведённые в динамике, позволили выявить кратковременное преимущество химических препаратов, так как вслед за высокой численностью почвенных микроорганизмов у химических эталонов наступает их снижение.

3. Биологические препараты благоприятно влияют на почвенную микрофлору, вызывая рост и размножение грибов и в целом микроорганизмов, усваивающих азот и фосфор. Полученные данные не расходятся с литературными источниками, констатирующими высокую биологическую активность почвы в связи с применением рекомендуемых доз химических препаратов, и в то же время налицо преимущество биологических препаратов – повышенная численность индикаторных почвенных микроорганизмов – грибов.

4. Биологические препараты не вызывают ослабления действия ферментных систем, напротив, оказывают «продолженное» положительное влияние на почву.

Библиографический список

1. Бухотина Ю.В. Особенности применения триходермина // Защита растений, № 11, 2004. С. 23-24.
2. Воронин А.М. Биопрепараты для защиты и стимуляции роста растений на основе бактерий рода *Pseudomonas*/

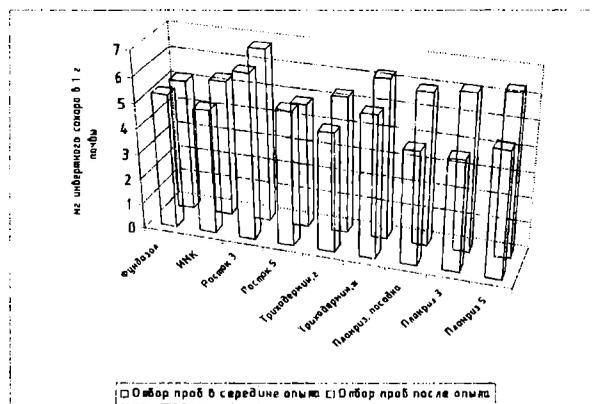


Рис. 5. Содержание фермента инвертазы в почвенных образцах

А.М. Воронин, В.В. Кочетков // Защита растений в условиях реформирования агропромышленного комплекса: экономика, эффективность, экологичность.: Тез. докл. – Санкт-Петербург, 1995. – С. 292.

3. Воробьев Н.И., Кутузова Р.С., Круглов Ю.В. Математический анализ при оценке ризосферного микробного сообщества // Почвы – национальное достояние России. Книга 1. / Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск: Наука-центр, 2004. – С. 608.

4. Грехова И.В., Комиссаров И.Д. Тюменский гуминовый препарат // Земледелие, № 4, 2005. – С. 30–32.

5. Заплетнюк Ю.А., Банкина Т.А., Семенова Н.Н. Влияние инсектицида нового поколения конфидора и гербицида зенкора на биологическую активность почвы. // Почвы – национальное достояние России. Книга 1. / Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск: Наука-центр, 2004. – С. 625.

6. Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М.: Изд. Моск. ун-та, 1980. – 224 с.

7. Солдатов В.А. Использование плантицидов при лесовыращивании / Экологические аспекты лесовыращивания и лесопользования. – Новосибирск: СО РАН, 2001. – С. 89-126.

8. Хамова О.Ф., Юшкевич Л.В., Леонова В.В. Биологическая активность чернозема, выщелоченного при минимизации основной обработки почвы в южной лесостепи Западной Сибири / Агрехимия, 2002, № 4. – С. 11-16.

9. Хамова О.Ф. Регулирование режима органического вещества и биохимической активности почвы / Земледелие на равнинных ландшафтах и агротехнологии зерновых в Западной Сибири (на примере Омской области) / Под ред. И.Ф. Храмцова и В.Г. Холмова. РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИСХ. – Новосибирск, 2003. – С. 102-124.

10. Шебалова Н.М. Влияние нефтепродуктов на состав микробоценозов лесных почв // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург, 2002. – Вып. 22. – С. 169-173.

11. Шилкина Е. А., Заика Н. А. Влияние химических и биологических фунгицидов на микробиоту ризосферы семян *Pinus sylvestris* // Микология и алькология. Матер. юбил. конф., посвящ. 85-летию каф. микологии и алькологии МГУ. – М., 2004. – С. 153.

БАРАЙЩУК Галина Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой лесоводства и защиты растений.

ХАМОВА Ольга Федоровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии.

Дата поступления статьи в редакцию: 02.11.06 г.

© Барайщук Г.В., Хамова О.Ф.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРОД МОЛОЧНОГО СКОТА В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Установлены различия в удоях коров молочных пород в Омской области, которые составляли от 7,1% в пользу красной степной породы в степной зоне до 16,7% в пользу черно-пестрой породы в южной лесостепной зоне и 10,6% в северной лесостепной зоне. Доля влияния породного фактора на рентабельность производства молока составила 8%.

Минсельхоз России совместно с РАСХН разработал концепцию-прогноз развития животноводства России до 2010 г., предусматривающую направления и меры перехода отрасли от упадка к стабилизации и наращиванию объемов производства животноводческой продукции: мяса на душу населения — до 73 кг, молока — до 386 кг. Планируется увеличить производство молока в 1,7 раза, мяса в 2,3 и яиц в 1,3 раза [1].

Ведущей отраслью животноводства остается скотоводство, которым занимаются 90% сельскохозяйственных предприятий России. Молочно-мясное скотоводство имеется более чем в трехстах сельскохозяйственных предприятиях Омской области, позволяя задействовать трудоспособное население и препятствуя опустыниванию огромных территорий. Несмотря на высокую значимость скотоводства для области, с 1990 по 2005 год общая численность крупного рогатого скота снизилась с 1 млн. 687 тыс. до 635 тыс. голов, в т.ч. коров — с 567 тыс. до 234 тыс. голов.

Прошедшие десятилетия характеризуются усиленной интенсификацией молочного скотоводства в развитых странах, что выражается в росте продуктивности и снижении численности скота, а в экономике — в более рациональном использовании имеющихся ресурсов [2]. При увеличении удоя коров с 1800 кг до 4600 кг уровень кормления увеличивается на 77%, т.е. на 1% повышения уровня кормления удой молока возрастает на 1,5%; на 1 ц молока расход кормов сокращается на 42%; затраты труда — в 2,7 раза, производство молока на дойрку — в 2,4 раза; себестоимость снижается в 1,5 раза; рентабельность возросла с 18,2 до 38,3% [3]. Для России альтернативы интенсификации молочного скотоводства нет, во многом из-за динамики демографической ситуации, вследствие которой из-за убыли сельского населения с многочисленным и низкопродуктивным скотом будет некому работать.

Одним из ключевых факторов успеха в молочном скотоводстве является обоснованный выбор породы, которая должна сочетать высокие продуктивные качества и технологичность с адаптированностью к конкретным условиям. Не отрицая в принципе правильность этого утверждения, не следует его абсолютизировать, рассматривая «породные качества» и «конкретные условия» как некие константы. В России традиционно улучшение

качеств отечественного скота связывают с межпородным скрещиванием, но этим надеждам не суждено сбываться, так как обычно нарушается принцип необходимости соответствия генотипа определенным условиям среды (равно и наоборот). Иными словами, «лучшим» животным необходимы «лучшие» условия кормления и содержания. Еще правильнее сначала изменить условия «местным» животным, а уже затем, при необходимости, их преобразовывать. Возможно, что в ряде случаев это было бы и излишне.

Использование для воспроизводства не адаптированных к условиям России зарубежных производителей сокращает сроки производственной жизни коров и снижает экономическую эффективность производства [4]. Негативные примеры имеются и в Омской области, в которой в 30-х гг. XX в. были созданы племенные заводы по красной степной и черно-пестрой породам: «Омский», «Нижеиртышский», «Михайловский», «Учхоз № 1 ОмГАУ», «Северо-Любинский». Названные хозяйства до начала 90-х годов были племенными заводами союзного уровня, но к настоящему времени первая четверка уже ликвидирована, а пятый приближается к этому «рубелю».

К настоящему времени соотношение черно-пестрой и красной степной пород, традиционно разводимых в Омской области, приблизилось к 1:1, хотя в 1985 г. черно-пестрого скота было 1/3. Считается, что черно-пестрый скот потенциально более продуктивен и технологичен, тогда как красный степной больше приспособлен к местным условиям.

Проблема «чистопородности» скота была в принципе снята в середине 80-х годов XX в. путем установления перечня «улучшающих» пород, согласно которому определяющим стала не общность происхождения (генетическая схожесть), а масть. Получить «помесей» в этом случае можно только при скрещивании неродственных или, точнее, отдаленно родственных пород, например, красной степной и черно-пестрой. Однако потомки красных степных коров и красно-пестрых голштинских быков все равно считаются чистопородными красными степными, при том что различие между красно-пестрыми и черно-пестрыми голштинами заключается лишь в наличии у первых рецессивного гена красной масти в гомозиготном состоянии.

Показатель	Годы				
	2000	2001	2002	2003	2004
Продолжительность жизни, дн.	2534	2556	2412	2436	2393
черно-пестрая порода	2607	2584	2531	2575	2437
красная степная порода	2457	2532	2356	2346	2373
Пожизненный удой 3,6% молока, кг	15980	16215	16601	16677	17341
черно-пестрая порода	15358	15997	16141	15786	16844
красная степная порода	16717	16345	16881	17337	17657
Удой 3,6%-ного молока на 1 день жизни, кг	6,31	6,34	6,88	6,84	7,25
черно-пестрая порода	5,89	6,19	6,38	6,13	6,91
красная степная порода	6,81	6,45	7,17	7,39	7,44
Себестоимость молока на 1 день жизни, руб.	14,27	18,34	23,06	25,23	30,07
черно-пестрая порода	15,82	20,81	26,44	27,37	33,20
красная степная порода	12,16	15,23	19,50	22,21	27,82
Выручено за молоко на 1 день жизни, руб.	23,13	26,12	27,74	32,09	38,10
черно-пестрая порода	22,59	25,50	28,53	30,78	38,17
красная степная порода	23,68	26,73	26,47	34,69	37,71
Прибыль на 1 день жизни, руб.	8,85	7,77	4,68	6,86	8,03
черно-пестрая порода	6,77	4,69	2,09	3,41	4,98
красная степная порода	11,52	11,50	6,97	12,48	9,89
Рентабельность производства молока, %	62,0	42,3	20,3	33,6	26,8
черно-пестрая порода	42,8	22,5	7,9	12,6	12,7
красная степная порода	94,8	75,6	35,9	55,7	38,3

В 2004 г. в области работали 3 племенных завода и 7 племенных репродукторов по черно-пестрой породе. Стада одного племенного статуса существенно отличаются как по поголовью, так и по продуктивности. Например, численность коров в племенном репродукторе ЗАО «Овощевод» составляет 170 коров, а в СПК «Ольгинский» – 1230 голов, или в 7 раз больше. Удой коров в ЗАО «Соляное» 3893 кг, а в ОАО «Омский бекон» – 6247 кг молока, что почти в 2 раза выше.

Популяция черно-пестрого скота Омской области представлена чистопородными животными различных генотипов вследствие использования быков родственных пород. Бонитировочные стандарты черно-пестрой породы (1974 г.) уже не отвечают современным требованиям, так как ориентированы на животных с удоем 3-4 тыс. кг молока [5]. Даже в этом случае, если в племенной части популяции 98,1% коров имели оценку 1 класс и выше, то в товарных стадах лишь 42,9%. Коров классов элита и элита-рекорд, которые и должны преимущественно входить в группу воспроизводства, в племенных стадах 72,8%, а в товарных лишь 10,3%. Существенные различия связаны, прежде всего, с уровнем удоев, который в племенных стадах выше, чем в товарных, в 1,7 раза.

Если исходить из целевых стандартов для голштинизированного скота [6], то коров, сочетающих все учитываемые признаки, даже в племенной части популяции явно недостаточно: по 1-й лактации таковых было 32,3%, по второй – 19,7% и 3-й лактации – 8,8%. Это свидетельствует об отсутствии возможности использования предлагаемых стандартов даже в основной массе племенных стад.

Омская область остается одним из регионов в Российской Федерации со значительной долей

красного степного скота. В 2004 г. в области работали 2 племенных завода и 8 племенных репродукторов по этой породе. Охват бонитировкой у красного степного скота ниже, чем у черно-пестрого, и составляет 43,2%, что обусловлено его сосредоточенностью в отдаленных хозяйствах с малой численностью скота. Тем не менее по «старым» стандартам в племенных стадах 96,1% коров имели оценку 1 класс и выше, а в товарной – 37,8%. Коров классов элита и элита-рекорд было соответственно 79,7% и 21,4%.

Селекционная работа с красным степным скотом предусматривает дифференцированный подход к типу животных в зависимости от уровня их продуктивности. Согласно Программе использования голштинских быков в стадах Омской области выделено две категории стад по уровню продуктивности: 3001-4000 кг и свыше 4001 кг [7]. Если исходить из стандартов для 1-й категории, то животных, комплексно сочетающих все учитываемые признаки, крайне мало: по 1-й лактации – 19,5%, 2-й – 12,3%, 3-й – 4,1%. Значительно лучше ситуация при сравнении со стандартами 2-й категории: соответственно 54,9%, 33,8% и 18,5%.

В племенных стадах независимо от породности на долю коров приходится 35-40%. Коровы старше 3 лактации составляют лишь 15-20%, что не позволяет эффективно использовать их не только с точки зрения экономической эффективности производства, но и селекции. Малая продолжительность использования коров (3,2-3,7 лактации) не обеспечивает проявления наивысшей продуктивности животных и не способствует накоплению желательного генофонда. Доля выбытия коров по причине низкой продуктивности не превышает 10-20%, тогда как из-за нарушения репродуктив-

Таблица 2

Параметры эффективности производства молока

Показатель	Звонаревокутское (черно-пестрая)	Новоазовское (красная степная)
Площадь сельхозугодий, всего	10022	12882
Наличие скота, всего	3022	1892
В т.ч. коровы	1004	841
%	33,2	44,5
Ежегодный ввод нетелей, %	29	28
Выход телят, %	72	74
Возраст 1-го отела коров, мес.	30	29,9
Средний срок использования, лакт.	3,23	3,39
Удой на фуражную корову, кг	4250	3924
Рентабельность производства молока, %	44,6	40,6

ных функций и болезней вымени выбывает 35-65% коров. В результате сервис-период в 1,5-2 раза продолжительнее нормы (90 дней), что приводит к снижению удоев на 15-25% и выходу говядины на 1 корову на 60-70 кг. Кроме того, повышаются расходы на осеменение в 2-3 раза [8].

Оценка «истинных» породных качеств сложна из-за того, что внутрипородная изменчивость скота одного направления продуктивности часто выше межпородной. Сравнительная оценка пород не может быть ограничена испытанием опытных групп, так как не дает ответа на такие вопросы, как величина продуктивности при различных уровнях кормления, устойчивость к заболеваниям, продолжительность хозяйственного использования и т.п.

При пороодоиспытании необходим анализ массовых данных хозяйств зоны (области), который является определяющим. При этом могут быть установлены: 1) сложившаяся экономическая эффективность производства молока и мяса при использовании различных пород скота; 2) степень отзывчивости животных той или иной породы на улучшение условий кормления, то есть выявление потенциальных возможностей разводимых пород.

Установлены различия в уровне удоев коров разных пород в одной и той же природно-экономической зоне, которые составляли от 7,1% в пользу красной степной породы в степной зоне до 16,7% ($P < 0.01$) в пользу черно-пестрой породы в южной лесостепной зоне и 10,6% ($P < 0.05$) в северной лесостепной зоне.

Потенциальный удой красного степного скота в большинстве хозяйств области находится на уровне около 4 тыс. кг молока, а для черно-пестрого — 5 тыс. кг. Однако 75% хозяйств, занимающихся разведением красной степной породы, и 45% — черно-пестрой породы, не используют имеющийся потенциал даже и на 1/2, так как достижение удоя до 2,5 тыс. кг не обусловлено генетическими причинами. В этих стадах сосредоточено соответственно 55% и 37% поголовья коров.

По уровню молочной продуктивности преимущество за черно-пестрой породой, у которой выше удой и почти в два раза больше численность коров в высокопродуктивных стадах с удоем свыше 4 тыс. кг. Более объективное суждение о породной обусловленности различий в продуктивности и экономической эффективности эксплуатации скота можно получить на основе данных из племенных стад (табл. 1).

Имеется положительная динамика показателей продуктивности за последние 5 лет: удой возрос в

целом по популяции на 14,8%, содержание жира в молоке на 0,03 абс.%, среднесуточный прирост на 52%, выход телят на 2,5%. Однако уменьшение продолжительности хозяйственного использования коров на 0,24 лактации негативно сказалось на экономической эффективности производства молока. Отмеченные тенденции характерны для обеих пород, но в большей степени именно черно-пестрая порода, несмотря на свою «репутацию» технологичной и экономичной, уступает по показателям зоотехнической и экономической эффективности.

Более объективной оценка влияния породного фактора на эффективность использования скота будет в хозяйствах с близкими параметрами. В частности, из племенных хозяйств таковыми являются племрепродукторы ЗАО «Звонаревокутское» и ЗАО «Новоазовское», которые расположены в нескольких десятках километров от г. Омска и граничат друг с другом (табл. 2).

Существенных различий в эффективности производства молока не установлено, хотя в ЗАО «Новоазовское» доля коров в стаде выше на 11%. Срок продуктивного использования коров молочного стада является на сегодня важнейшим экономическим показателем, учитывая возрастающую себестоимость выращивания ремонтного молодняка.

Породный фактор в молочном скотоводстве в настоящее время не следует переоценивать, так как доля его влияния на рентабельность производства молока не превышает 8%, а решающее влияние за факторами, отражающими уровень организации производства в целом. Для более существенной оценки эффективности используемого в области молочного скота необходимо использование информационных систем, в частности, программного комплекса «СЕЛЭКС — Россия» (г. С.-Петербург), который до сего времени действует в децентрализованном виде.

Библиографический список

1. Концепция-прогноз развития животноводства в России до 2010 г. // Российская академия сельскохозяйственных наук, Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. — Москва, 2002.
2. Оверчук Л.А. Молочное скотоводство Англии / Л.А. Оверчук — М.: Агропромиздат, 1987. — 192 с.
3. Данкверт С.А. Стабилизация и развитие животноводства в России. / С.А. Данкверт. — М: Изд-во ВНИИПлем, 2003 — 362 с.
4. Чинаров И. Пути эффективного ведения молочного скотоводства в рыночных условиях / И. Чинаров, С. Погода-

ев. // Молочное и мясное скотоводство. — 2005. — № 2. — С. 8-10.

5. Инструкция по бонитировке крупного рогатого скота молочных и молочно-мясных пород. — М.: Колос, 1975. — 32 с.

6. Программа совершенствования племенных и продуктивных качеств скота черно-пестрой породы Российской Федерации. — М.: Изд-во ВНИИПлем, 1993. — 75 с.

7. Данилов В.П. Советская доколхозная деревня: социальная структура, социальные отношения. / В.П. Данилов. — М.: Наука, 1979 — 360 с.

8. Гулева А.Я. Племенная работа с использованием голштинской породы при разведении молочного скота в Омской

области / А.Я. Гулева // Актуальные вопросы животноводства Западной Сибири: сб. науч. тр. ИВМ ОмГАУ. — Омск.: Изд-во ОмГАУ, 2002. — С. 3-7.

ГАУС Максим Федорович, аспирант кафедры разведения сельскохозяйственных животных.

КАРЕВ Дмитрий Николаевич, соискатель кафедры разведения сельскохозяйственных животных.

Дата поступления статьи в редакцию: 26.09.06 г.

© Гаус М.Ф., Карев Д.Н.

УДК 633. 111. 1 "321": 631. 524. 86

В. В. ЛЁУШКИНА
Н. А. ПОПОЛЗУХИНА
Н. А. КАЛАШНИК

Сибирский научно-исследовательский
институт сельского хозяйства

ИНТЕНСИВНОСТЬ ТРАНСПИРАЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В СВЯЗИ С УСТОЙЧИВОСТЬЮ К БУРОЙ РЖАВЧИНЕ

В статье приведены результаты изучения интенсивности транспирации по трем фазам развития яровой мягкой пшеницы в 2004 — 2006 гг. Исследовано изменение данного показателя на пораженных сортах и устойчивых к бурой ржавчине мутантно-сортовых гибридах. Отмечена зависимость интенсивности транспирации от гидротермических условий, сортовых особенностей, степени поражения бурой ржавчиной, группы спелости растений.

Важная роль в изучении взаимоотношений, складывающихся между растением — хозяином и паразитом при инфекции принадлежит сравнительному изучению физиологических процессов здоровых и больных растений, что помогает раскрыть механизмы нападения паразитов и ответные реакции растений. Именно поэтому общим проблемам изменений физиологических процессов у растений под влиянием патогенных организмов уделяется большое внимание [2, 3].

Вместе с тем все большую актуальность приобретают вопросы частной физиологии водного режима инфицированных растений, поражаемых наиболее вредоносными болезнями важнейших сельскохозяйственных культур [3].

Следует отметить сравнительно малое количество исследований по влиянию возбудителя ржавчины на водный режим растений. Значительно большее внимание было уделено изучению транспирации при фузариозном и вертициллезном увядании [1]. Основные работы по водному режиму растений, пораженных ржавчиной, были проведены в 1920-1930 годах. Более поздними исследованиями в связи со степенью устойчивости к бурой и желтой ржавчине было установлено, что под влиянием инфекции восприимчивые растения значительно больше теряют воды, чем устойчивые. Однако эта проблема еще недостаточно изучена [3].

Многие исследователи видят причину усиления транспирации при ржавчинных заболеваниях в нарушении нормальной функции устьичного аппарата. Так, А.А. Рихтер и А.И. Гричушников [7] отмечают, что при грибной инфекции происходит значительное снижение устойчивости устьичного аппарата к повышенным температурам. По мнению авторов, это является одной из причин больших потерь урожая от болезней при засухах, т. к. первыми погибают пораженные растения. Однако исследования J.M. Duniway и R.D. Durbin [9] на растениях фасоли, пораженных ржавчиной, выявили более сложную зависимость интенсивности транспирации от развития заболевания. Эти авторы обнаружили понижение интенсивности транспирации на 35% и уменьшение степени открытости устьиц в 2,5-3 раза у больных растений на ранних этапах развития инфекции. И это изменение К.Т. Сухоруков [8] объясняет увеличением проницаемости клеток под влиянием поражения ржавчиной.

Наши наблюдения проводились в условиях лесостепной зоны Западной Сибири на опытных полях лаборатории селекции озимых культур СибНИИСХ.

Объектами исследования служили мутантно-сортовые гибриды яровой мягкой пшеницы в сравнении со стандартами. Изучение интенсивности транспирации проводили по трем фазам

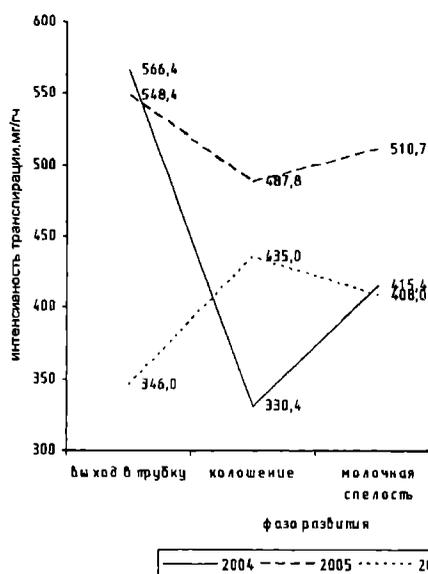


Рис. 1. Интенсивность транспирации яровой мягкой пшеницы развития яровой мягкой пшеницы в естественных условиях. В фазу молочной спелости определяли интенсивность транспирации на инфекционном фоне. Степень поражения листьев ржавчиной оценивалась по шкале Кобба сотрудниками лаборатории иммунитета СибНИИСХ [5]. Интенсивность транспирации выявляли у срезанных листьев (2-й лист сверху) при помощи торсионных весов по Л.А. Иванову [6].

В наших опытах наблюдались значительные отличия по интенсивности транспирации у растений пшеницы по фазам развития и в разные по температурному режиму и увлажнению годы.

Из рисунка 1 видно, что в 2004 и 2005 гг. интенсивность транспирации яровой мягкой пшеницы в среднем по всем образцам имела одновершинную кривую со спадом в период колошения. Такой спад связан не только с завершением роста лис-

товых пластин яровой мягкой пшеницы и увеличением репродуктивных органов растений, но и с соответствующими погодными условиями. В частности, в 2004 и 2005 гг. в период выхода в трубку пшеницы преобладала теплая дождливая погода, что способствовало повышению интенсивности транспирации до 566,4 мг/г·ч. и 548,4 мг/г·ч., соответственно. Наступившая в июле в оба года теплая с недобором осадков погода повлияла на интенсивность транспирации в сторону спада до 330,4 мг/г·ч. (2004 г.) и до 487,8 мг/г·ч. (2005 г.).

В период молочной спелости яровой мягкой пшеницы в 2004 и 2005 гг. преобладала также теплая сухая погода, но интенсивность транспирации, в среднем по всем образцам, имела восходящий характер от фазы колошения к молочной спелости с показателями: 510,7 мг/г·ч. в 2005 г. и 415,4 мг/г·ч. в 2004 г. (рис.1). Вероятно, это связано с прекращением ростовых процессов вегетативных органов яровой мягкой пшеницы и частичным отмиранием листовых пластинок, что и приводит к увеличению нагрузки на оставшиеся листья.

Май 2006 г. был теплым, осадков выпало на 28% ниже нормы, в июне преобладала необычно жаркая погода с недобором осадков в первых двух декадах. Такая погода приостановила все ростовые процессы растений на ранних этапах их развития и способствовала снижению интенсивности транспирации в период выхода в трубку до 346,0±45,6 мг/г·ч. в среднем по всем образцам по сравнению с двумя предыдущими годами. Но именно третья декада июня с превышением количества осадков на 82% выше нормы и умеренно теплая дождливая погода в июле способствовали повышению показателя интенсивности транспирации к периоду колошения до 435,0 мг/г·ч. за счет увеличения массы листовых пластинок. В результате снижения температуры воздуха и значительного недобора осадков в фазу молочной спелости яровой мягкой пшеницы наблюдался спад показателя до 408,0 мг/г·ч. (рис. 1).

Таблица 1

Интенсивность транспирации яровой мягкой пшеницы (мг/г·ч.)

Сорт, гибрид	Фаза развития растений								
	выход в трубку			колошение			молочная спелость		
	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.
1. Памяти Азиева, ст	1722	479	523	360	361	927	261	407	557
2. Г 566/01	513	680	701	175	310	528	705	520	374
3. Омская 29, ст	1217	613	244	265	323	614	292	597	678
4. Г 535/01	209	724	317	344	377	333	177	530	363
5. Г 583/01	539	720	147	233	454	266	440	387	342
6. Г 508/02	333	369	419	316	462	344	630	378	274
7. Г 527/02	185	533	187	205	370	316	339	456	355
8. Омская 18, ст	128	424	153	311	1393	248	302	285	488
9. Г 620/01	404	487	559	328	691	413	323	688	375
10. Г 695/01	532	118	719	285	415	448	262	494	323
11. Г 720/01	825	740	346	380	494	463	426	631	1017
12. Г 528/02	347	561	171	167	399	331	350	547	396
13. Г 536/02	290	155	132	340	187	498	325	325	59
14. Г 573/02	250	781	409	306	393	469	649	552	261
15. Г 581/02	956	548	222	546	804	342	1048	689	322
16. Г 582/02	587	762	287	324	458	384	303	652	251
17. Г 697/01	592	631	270	731	402	470	231	543	495
x ± Sx	566,4±100,7	548,4±47,8	346,0±45,6	330,4±32,1	487,8±66,0	435±38,8	415,4±53,9	510,7±29,8	408±15,9

Таблица 2

Интенсивность транспирации в онтогенезе по группам спелости яровой мягкой пшеницы (среднее за 2004 - 2006 гг.).

Группа спелости	Фаза развития		
	выход в трубку	колошение	молочная спелость
среднеранняя	769,7±174,2	443,6±143,5	470,9±6,1
среднеспелая	450,4±97,7	348,3±38,4	415,7±28,0
среднепоздняя	446,2±60,2	447,5±59,0	453,8±43,9

Таблица 3

Интенсивность транспирации иммунных и пораженных бурой ржавчиной растений яровой мягкой пшеницы в фазу молочной спелости в среднем за 2004 - 2006 гг. (мг/г·ч.)

Сорт, гибрид	Степень поражения, %	Интенсивность транспирации, мг/г·ч.
Памяти Азиева, ст.	100	631,3
Г566/01	0	346,7
Омская 18, ст	100	488,0
Г620/01	0	541,3
Г581/02	0	376,7
Г697/01	0	420,0

При рассмотрении интенсивности транспирации каждого исследуемого образца были замечены различия по фазам развития в годы исследований. Так, в период выхода в трубку яровой пшеницы данный показатель варьировал по образцам от 128 до 1722 мг/г·ч. (2004 г.), в 2005 г. от 118 до 781 мг/г·ч. и от 132 до 719 мг/г·ч. в 2006 г. В фазу колошения интенсивность транспирации находилась в пределах от 167 до 731 мг/г·ч. (2004 г.), от 187 до 1393 мг/г·ч. (2005 г.) и от 248 до 927 мг/г·ч. (2006 г.). В молочную спелость яровой пшеницы этот же показатель изменялся в 2004 году от 177 до 1048 мг/г·ч., в 2005 году от 285 до 689 мг/г·ч., от 59 до 1017 мг/г·ч. в 2006 году (табл. 1).

У ряда образцов наблюдали изменения интенсивности транспирации в онтогенезе по двум годам исследования.

Так, у мутантно-сортовых гибридов Г566/01, Г720/01, Г528/01 и сорта стандарта Омской 29 в 2004 г. и 2005 г. отмечалось снижение данного показателя от периода выхода в трубку к периоду колошения с последующим повышением к молочной спелости (табл. 1).

У Г620/01 и Г695/01 в 2004 г. и 2006 г. происходило снижение интенсивности транспирации от фазы выхода в трубку к молочной спелости. У Г536/02 в 2004 г. и 2006 г., а у Г581/02 в 2005 г. и 2006 г. максимальное значение отмечалось к фазе колошения, у образца Г527/02 в 2005 г. и 2006 г. - к периоду молочной спелости (табл. 1).

Рассматривая показатели интенсивности транспирации в онтогенезе яровой мягкой пшеницы, можно отметить, что образцы среднеранней группы имеют большие значения этого показателя в фазы выхода в трубку (769,7 мг/г·ч.) и молочной спелости (470,9 мг/г·ч.). Для среднепоздних образцов наивысшее значение интенсивности транспирации 447,5 мг/г·ч. отмечено в фазу колошения (табл. 2).

Наименьшее количество воды - 446,2 мг/г·ч. среднепоздние образцы испаряют в период выхода в трубку, а среднеспелые - в фазы колошения (348,3 мг/г·ч.) и молочной спелости (415,7 мг/г·ч.) (табл. 2).

Результаты проведенных исследований по изучению водного режима различных по устойчивос-

ти к бурой ржавчине сортов и гибридов пшеницы показали следующее (табл. 3). Устойчивые к бурой ржавчине образцы характеризовались снижением показателя интенсивности транспирации по сравнению с неустойчивыми сортами-стандартами. Так, для гибрида Г566/01 он был равным 346,7 мг/г·ч., для Г581/02 - 376,7 мг/г·ч., для Г697/01 - 420,0 мг/г·ч. (табл. 3). Аналогичные результаты были получены в исследованиях А.А. Рихтер и А.И. Гречушников [7]; С.О. Johnston, Е.С. Miller [11]; Н.С. Murphy [12]; G. Gassner, G. Goeze [10]; Л.И. Курсанова, С.Б. Медведева [4]; К.Т. Сухарукова [8]; Л.Н. Андреева, Ю.М. Плотниковой [3].

Лишь у устойчивого к бурой ржавчине Г620/01 наблюдалось повышение интенсивности транспирации до 541,30 мг/г·ч. по сравнению с неустойчивым сортом-стандартом Омской 18 (488,0 мг/г·ч.). Похожие результаты были получены J.M. Dupinway, R.D. Durbin на растениях фасоли, пораженных ржавчиной [9].

Выводы

1. Интенсивность транспирации в первую очередь определяется гидротермическими факторами в годы исследований. Этот показатель снижается в условиях засухи и возрастает при наступлении влажной жаркой и теплой погоды.

2. Адаптация растений пшеницы к действию повышенных температур, вероятно, определяется особенностями генотипа, стабильностью клеточных мембран, а также разной интенсивностью репарационных процессов.

3. Не у всех больных растений с повышением степени поражения бурой ржавчиной интенсивность транспирации возрастает, как было отмечено у устойчивого мутантно-сортового гибрида Г620/01. Возможно, это связано:

- с генотипическими особенностями;
- с типом расы, проникновением ростовых трубок и их развитием на определенной поверхности листа.

Библиографический список

1. Андреев Л.Н. Борьба с ржавчиной зерновых / Л.Н. Андреев // Земледелие. 1968. - № 4. - С. 38 - 43.

2. Андреев Л.Н. Физиолого-биохимические особенности возбудителей ржавчинных болезней растений / Л.Н. Андреев, В.В. Мазин, А.С. Шашкова // Физиология иммунитета культурных растений. - М.: «Наука», 1976. - С. 3-4.

3. Андреев Л.Н. Ржавчина пшеницы: цитология и физиология / Л.Н. Андреев, Ю.М. Платникова. - М.: «Наука», 1989. - С. 3-4, 182-186.

4. Курсанов Л.И. К вопросу об эволюции паразитизма у грибов. Влияние *Chrysomyxa pirolae* Rostr. на строение и функции хозяина *Pirola rotundifolia* L. / Л.И. Курсанов, С.Б. Медведева // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1938. Т. 47, - № 2. - С. 119-127.

5. Методика по оценке устойчивости сортов полевых культур к болезням на инфекционных и провокационных фонах / Захарченко В.А. [и др.]. - М., 2000. - С. 9-14.

6. Практикум по физиологии растений: учеб. для вузов / Н.Н. Третьяков [и др.]. - М.: Агропромиздат, 1990. - С. 54-56.

7. Рихтер А.А. Физиология устьичного аппарата в связи с инфекцией: О факторах устойчивости культурных растений / А.А. Рихтер, А.И. Гречушников // Опыт агрономии юго-востока. 1929. Т. 7. - С. 114-140.

8. Сухоруков К.Т. Физиологические основы иммунитета хлебных злаков к ржавчине / К.Т. Сухоруков // Ржавчина зерновых культур. - М.: Сельхозгиз, 1938. - С. 204-210.

9. Duniway J.M. Some effects of *Uromyces phaseoli* on the transpiration rate and stomatal response of bean leaves / J.M. Duniway, R.D. Durbin // Phytopathology. 1971. Vol. 61. - P. 114-119.

10. Gassner G. Einige Versuche uber die physiologische Leistungsfahigkeit rostinfizierten Getreidebeuter / G. Gassner, G. Goeze // Ibid. 1936. Bd. 9. - S. 371-389.

11. Johnston C.O. Modification of diurnal transpiration in wheat infections of *Puccinia triticina* / C.O. Johnston, E.C. Miller // J. Agr. Res. 1934. Vol. 49. - P. 955-980.

12. Murphy H. C. Effect of crown rust infection on yield and water requirement of oats / H. C. Murphy // J. Agr. Res. 1935. Vol. 50. - P. 387-411.

ЛЁУШКИНА Виктория Викторовна, аспирант кафедры плодовоовощеводства и ботаники.

ПОПОЛЗУХИНА Нина Алексеевна, доктор сельскохозяйственных наук, кафедра экологии.

КАЛАШНИК Николай Андреевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики растений.

Дата поступления статьи в редакцию: 27.10.06 г.

© Лёушкина В. В., Поползухина Н.А., Калашник Н.А.

УДК 633.112.1:631.526.32:581.141 (571.1)

О. Л. ГАВРИЛЬЧЕНКО

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИОННО РАЗЛИЧАЮЩИХСЯ СОРТОВ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

В данной работе излагаются результаты исследований главных составляющих фотосинтетической продуктивности сортов яровой твердой пшеницы. Сорты отличались годом районирования и местом создания. Изучение их представляет большой интерес для селекционера, так как при этом выясняется, какие резервы повышения продуктивности могут использоваться селекцией в будущем. В процессе селекции произошло увеличение фотосинтетического аппарата растений: площади листовой поверхности и особенно поверхности верхнего листа, фотосинтетического потенциала. Как следствие этого, увеличилась доля зерна в хозяйственном урожае.

Исследования проводили в 2003 – 2005 годах в лаборатории физиологии, биохимии и генетики растений и на опытных полях лаборатории селекции твердой пшеницы СибНИИСХ. Объектом исследований выбраны 10 сортов яровой твердой пшеницы, различающиеся по времени, месту создания и продуктивности. Из них 7 сортов селекции СибНИИСХ: Гордеиформе-10 (1929 г.), Алмаз (1979 г.), Омский рубин (1990 г.), Ангел (1997 г.), Омская янтарная (1999 г.), Омский корунд (2000 г.), Жемчужина Сибири (2002 г.); и сорта алтайской, саратовской и самарской селекции: Алтайская нива (1991 г.), Са-

ратовская золотистая (1993 г.), Безенчукский янтарь (1999 г.). Критериями отбора сортов послужили их высокие качественные характеристики.

Площадь делянки 9,5 м², повторность опыта 4-кратная, посев производили по паровому предшественнику в оптимальные для культуры сроки (20 – 25 мая); норма высева — производственная (4,5 млн. всхожих семян на га). Почвенный покров представлен черноземом солонцеватым среднеспособным среднегумусовым.

Взятие проб растений для анализа осуществлялось по фазам развития: кущение, выход в трубку,

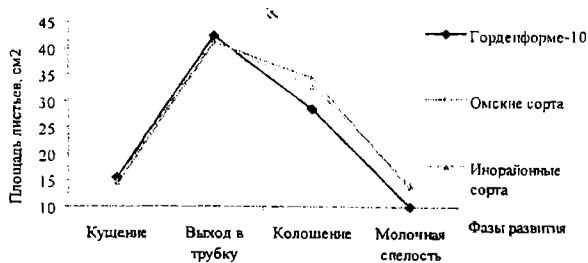


Рис. 1. Площадь листовой поверхности растений твердой пшеницы по фазам вегетации

колошение, молочная и полная спелость. Выборка составляла 40 типичных растений каждого сорта.

Метеорологические условия за годы исследования были разнообразными.

Условия 2003 года сложились неблагоприятно для роста растений. Острый недобор влаги в сумме с высокими температурами воздуха сменялся обильными осадками и низкими температурами. Причем территориальное распределение осадков было крайне неравномерным, что отразилось на формировании листовой поверхности растений. Наиболее благоприятным для развития листового аппарата оказался 2004 год. Условия вегетации 2005 года отличались влажной и прохладной погодой с градом во второй половине вегетации.

Одним из основных показателей фотосинтетической деятельности растений является величина площади листьев и динамика ее формирования.

Площадь листьев является генетически детерминированным признаком, но в значительной мере корректируется конкретными экологическими условиями [1]. Для получения высоких урожаев необходимо, чтобы растение было способно сформировать оптимальную площадь листьев [2].

Нарастание листовой поверхности происходит по мере развития растений. В наших условиях в среднем за годы исследований максимум ее приходится на фазу выхода в трубку. Затем происходит постепенное отмирание листьев, и процесс фотосинтеза сменяется процессами реутилизации.

Наши исследования в начальный период развития не выявили больших различий между сортами по площади листьев. Колебания составили от 13,08 см² (у сорта Омский рубин) до 15,67 см² (у сорта инорайонной селекции Саратовская золотистая).

Однако мощное кущение не всегда означает максимальный выход зерна, и наоборот.

Наиболее заметны различия между сортами в фазе максимальной площади листового аппарата. В этом отношении более благоприятным оказался 2004 год.

Характерно, что новые высокопродуктивные селекционные сорта в первой половине вегетации (кущение – выход в трубку) по размерам ассимиляционной поверхности листьев уступают сорту Гордейформе-10, а в период формирования и налива зерна имеют существенное преимущество по сравнению со старым низкопродуктивным сортом (рис. 1).

Лучшие показатели развития листовой поверхности в этот ответственный период (колошение – молочная спелость) имели местные селекционные сорта: Омский рубин, Ангел, Омский корунд, Жемчужина Сибири (48,67-50,99 см²). На уровне данных сортов была площадь листьев и у инорайонного сорта Безенчукский янтарь (50,79 см²). В этой связи представляет практический интерес проследить, как изменилась площадь листьев в процессе селекции. При этом между сортами имеются различия в формировании их ассимиляционного аппарата, что связано с их биологическими особенностями. Однако мы отмечаем главную тенденцию – это увеличение площади листьев в процессе селекции в целом на 18 %.

В то же время существенное влияние на структуру и величину урожая оказывает не только общий размер, но и структура листового аппарата, в частности, соотношение размеров и продолжительности жизни разных ярусов листьев. Вопрос о гетерогенности листьев одного и того же растения посвящены работы многих ученых [1,2]. По мере развития растений происходит дифференциация ярусов листьев. Доминирующая роль в фазу колошения переходит от средних ярусов к верхним. Поэтому, чем выше ярус листа, тем больше его участие в процессе налива зерна.

В среднем за 2003-2005 гг. варьирование значений этого признака составило от 8,96 см² у Омской янтарной до 11,56 см² у сорта самарской селекции Безенчукский янтарь. Среди сортов мощным развитием верхнего листа отличаются сорта омской селекции – Ангел (11,75 см²), Алмаз (11,32 см²) и сорт самарской селекции Безенчукский янтарь (11,56 см²).

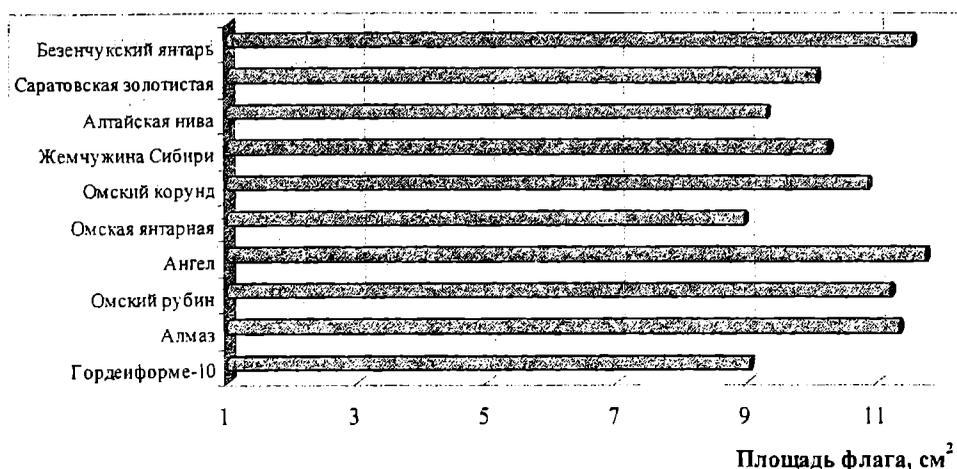


Рис. 2. Фотосинтетическая поверхность верхнего листа растений твердой пшеницы

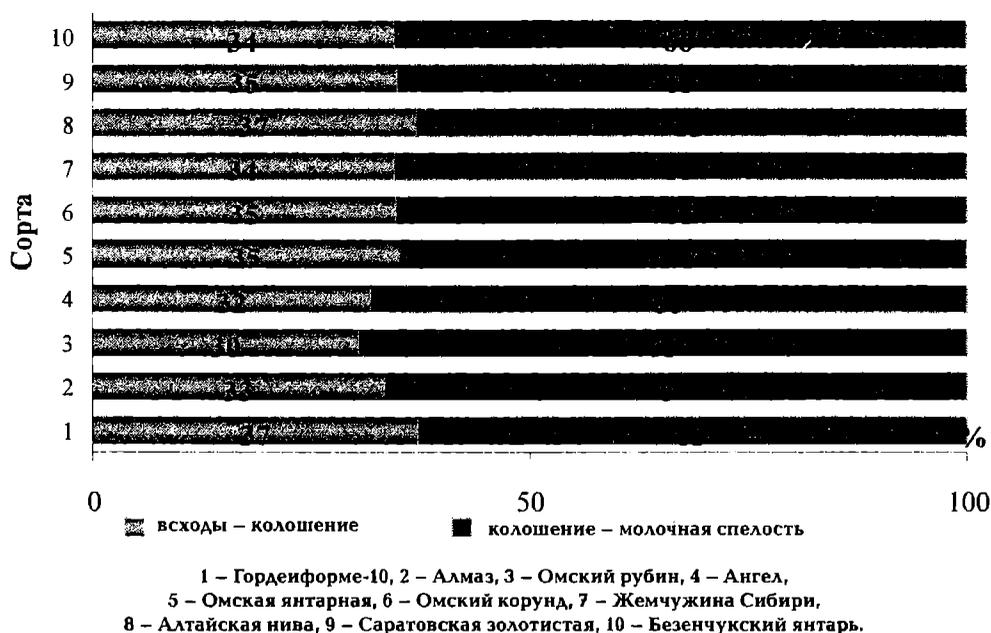


Рис. 3. Доля фотосинтетического потенциала растений по периодам вегетации

За годы селекции произошло увеличение этого показателя в сравнении с сортом селекции 1929 г. — Гордеиформе-10 (рис. 2).

Превышение составило до 30 %, что является следствием систематического отбора селекционера на полноту и интенсивность налива зерна, поскольку, как установлено многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 3], в т. ч. и нами, размер флагового листа положительно коррелирует с продуктивностью.

Универсальным параметром, с помощью которого фотосинтетический аппарат растений настраивается на режим ФАР в посеве, является удельная поверхностная плотность флагового листа (УПП) [5]. Показатель удельной поверхностной плотности листа показывает количество хлоропластов, приходящихся на единицу поверхности. Т.е. чем больше этот показатель, тем более интенсивно протекает процесс фотосинтеза в листе, что можно объяснить возрастанием концентрации основных структурных элементов фотосинтетического аппарата.

За годы изысканий у изучаемых сортов отмечены небольшие различия показателя УПП. Наибольший процент принадлежит сорту селекции СибНИИСХ, созданному в 2003 году, — Жемчужине Сибири (6,59 мг/см²), кроме того, нами выделены сорта: Алмаз (6,36 мг/см²), Омский рубин (6,38 мг/см²) и Омский корунд (6,30 мг/см²).

За годы исследований у новых сортов обнаружена тенденция к увеличению удельной поверхностной плотности флагового листа в процессе селекции. Превышение над стародавним сортом Гордеиформе-10 в среднем составило 12 %.

Результирующим от вышеуказанных показателей является показатель фотосинтетического потенциала сортов. Фотосинтетический потенциал (м² в сут/га) (ФП) отражает суммарную листовую поверхность за вегетацию на единицу площади посева.

Нами отмечено, что на ранних этапах развития растений значения ФП невелики, затем происходит активное наращивание листовой поверхности, и достигают максимума в период колошения — мо-

лочная спелость, затем вместе с отмиранием листовой поверхности идет уменьшение значений.

В сравнении с сортами мягкой пшеницы [2] изучаемые сорта твердой пшеницы имели значительно меньший фотопотенциал.

Результаты показали, что в условиях зоны выращивания показатель фотосинтетического потенциала сортов сильно варьировал по годам. Так, максимальные значения соответствуют 2003 году (1637,6 м² в сут/га), а в засушливый 2004 год и «экстремальный» 2005-й были близкими по своим значениям — соответственно 1420,4 м² в сут/га и 1470,4 м² в сут/га.

Наибольшие различия по величине этого показателя отмечены во второй половине вегетации, особенно в период от колошения до фазы молочной спелости. За годы исследований нами отмечено увеличение значений фотосинтетического потенциала в сравнении со стародавним сортом Гордеиформе-10 до 15 %.

В процессе селекции произошло не только общее увеличение фотопотенциала, но и небольшое, однако существенное для формирования урожая перераспределение его по периодам вегетации, заключающееся в увеличении его доли, приходящейся на период колошения — молочная спелость (рис. 3).

Такому перераспределению способствовало несколько обстоятельств:

- размеры листьев разных ярусов увеличились у селекционных сортов по сравнению со стародавним не в одинаковой степени: верхние листья изменились больше нижних. Особенно сильно увеличились размеры флагового листа;

- лучшая способность к формированию верхних листьев в условиях недостаточного увлажнения; увеличение продуктивности листового аппарата, в основном во второй половине вегетационного периода, когда идет их усиленное отмирание.

В среднем за годы исследований по формированию наибольшего фотопотенциала выделились омские сорта: Алмаз (1635,6 см²/сут), Ангел (1573,7 см²/сут), Омский рубин (1573,0 см²/сут), Жемчужи-



Рис. 4. Прирост сухой биомассы растений твердой пшеницы по фазам вегетации

на Сибири (1520,0 см²/сут) и Омский корунд (1519,9 см²/сут), а также сорт саратовской селекции – Саратовская золотистая (1533,6 см²/сут). Стоит отметить новый сорт омской селекции Омский корунд как формирующий свой потенциал независимо от условий года.

Фотосинтетический потенциал тесно коррелирует с общим биологическим урожаем [2, 3]. Наши исследования выявили тесную сопряженность фотосинтетического потенциала с массой зерна – $r = 0,69 \pm 0,26$; с сухой биомассой в полной спелости – $r = 0,68 \pm 0,26$. Таким образом, сорта, имеющие наибольший фотопотенциал, являются и наиболее продуктивными.

Среди показателей, характеризующих фотосинтетическую деятельность растений и находящихся в положительной взаимосвязи с их продуктивностью, наиболее широкое распространение получило накопление сухой биомассы главного побега на протяжении онтогенеза. Связано это с тем, что этот показатель является интегральным отображением процессов фотосинтеза, дыхания, баланса углеводно-белкового обмена, поступления зольных элементов и интенсивности роста [1]. Накопление сухой биомассы изменяется в течение вегетации и в значительной степени зависит от окружающих условий.

Из практики известно, что решающее значение зависит не от количества надземной массы, а от динамики ее образования. Быстрые начальные темпы прироста сухого вещества посевов, особенно в фазы кушения и стеблевания, не приводят к высоким урожаям зерна [6]. Наибольшее значение для урожая зерна имеет образование сухого вещества в период после цветения.

Образование сухого вещества у зерновых культур характеризуется определенной биологической кривой (рис. 4).

Наибольший прирост отмечен нами в период от кушения – выход в трубку до выхода в трубку – колошение. В целом данные графика показывают преимущество сортов селекции других НИИ. При всем этом в период выхода в трубку – колошение существенен вклад омских сортов. У омских и инорайонных сортов мы отмечаем превышение значений изучаемого показателя над стародавним сортом.

Также нами выявлены различия в накоплении сухой биомассы за время селекции. Так, сорт стародавней селекции Гордеиформе-10 в начале веге-

тации отличался от новых сортов более быстрым накоплением сухого вещества, в то время как в генеративных фазах развития была отмечена противоположная картина. Для сортов селекции СибНИИСХ, созданных в данных природно-климатических условиях, более характерно накопление сухого вещества в течение времени от фазы молочной спелости до уборки, в то время как для инорайонных более заметен прирост сухого вещества в первые фазы развития.

Доля зерна из общей биомассы растений или коэффициент хозяйственной продуктивности (Кхоз.) – один из важнейших признаков урожайности зерновых культур, который учитывали в селекционной практике, начиная с прошлого века. Несмотря на это, долгое время не было попыток проанализировать причины сортовых различий в выходе зерна и их связь с какими-либо физиологическими особенностями генотипов.

Основным фактором, определяющим эту величину, является распределение фотопотенциала посева по межфазным периодам, связанное с продолжительностью этих периодов и деятельностью листового аппарата растений [2].

Колебания по этому показателю между сортами разных лет создания составили от 39,29 до 47,66 %. Самые низкие значения исследуемого показателя отмечались в основном в период вегетации 2005 г. В среднем за годы исследований наибольший Кхоз формируют сорта: Алтайская нива, Омский рубин и Омский корунд, а наименьший – сорт Безенчукский янтарь.

Таким образом, в целом нами отмечено увеличение доли зерна в общем урожае у сортов твердой пшеницы в процессе селекции.

В результате нами впервые в конкретных условиях Западной Сибири, где высокая урожайность и адаптивность сортов пшеницы становится непременным условием производства, исследованы отдельные физиологические признаки растений твердой пшеницы разной продуктивности с целью использования их для повышения эффективности селекционной работы при создании новых генотипов с высокой продуктивностью. Отмечено, что за время селекции произошло увеличение фотосинтетических показателей растений твердой пшеницы. Увеличилась площадь фотосинтезирующей поверхности листьев, в особенности верхнего листа, показатель его удельной поверхностной плотности, а также более длительное их функционирование.

Как следствие возросли значения сухой биомассы растений и фотопотенциал у исследуемых сортов. В отношении фотопотенциала у сортов селекции последних лет произошло перераспределение фотосинтетического потенциала в сторону периода развития после цветения, что имеет существенное значение для формирования урожая. Кроме этого, у новых сортов наблюдается и повышение коэффициента хозяйственного использования фотосинтеза.

В работе по дальнейшему повышению продуктивности растений твердой пшеницы важную роль приобретает отбор и выведение линий с наиболее высокой фотосинтетической активностью, способных при хорошей облиственности образовывать максимально возможный урожай в расчете на единицу площади листьев при гармоничном комплексе условий выращивания. Кроме этого, увеличению доли зерна будет способствовать создание форм с более полным оттоком веществ из соломины и листьев в период налива зерна при высоком уровне фотосинтеза. Коэффициент хозяйственной продуктивности фотосинтеза может служить одним из важнейших признаков как при подборе родительских пар для скрещивания, так и при проведении отборов в селекции высокопродуктивных сортов пшеницы, приспособленных к специфическим условиям зоны.

Библиографический список

1. Интегральные показатели фотосинтеза растений в оценке яровой пшеницы на продуктивность в условиях юж-

ной лесостепи Западной Сибири: Метод. рек. / Л.Г. Гудинова, Н.А. Калашник, Г.Я. Козлова, С.В. Сухарева. — Новосибирск, 1992. — 50 с.

2. Кумаков В.А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы / В.А. Кумаков — М.: Колос, 1985. — 270 с.

3. Fang Zhi-wei. Влияние разницы ночных температур на фотосинтез флагового листа. / Fang Zhi-wei // Zuowu xuebao = Asta agron. sin. — 1993. — V. 20, № 6. — P. 6-11. — рез. англ.

4. Asana R. D. Studies in physiological analysis of yield. Varietal differences in photosynthesis in the leaf, stem, ear of wheat. // R.D. Asana, V.S. Mani. — Physiol. Plantarum. — 1950. — V. 3, № 1. — P. 21-32.

5. Тоолинг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая / Х.Г. Тоолинг — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — С. 126-127.

6. Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур / Иржи Петр, Владимир Черны, Ладислав Грушка / Пер. с чеш. З.К. Благовещенской. — М.: Колос, 1984. — С. 367.

ГАВРИЛЬЧЕНКО Ольга Леонидовна, научный сотрудник лаборатории физиологии, биохимии и генетики растений.

Дата поступления статьи в редакцию: 14.10.06 г.
© Гаврильченко О.Л.

УДК [631.51: 631.581.2] 633.14 «324»

В. Н. СОРОКА
В. Л. ЕРШОВ

Омский государственный
аграрный университет

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ РЖИ ПО ЗАНЯТЫМ ПАРАМ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В условиях Сибири существуют проблемы при возделывании озимой ржи, связанные с необходимостью использовать не только чистые, но и занятые пары. В условиях производства это зачастую приводит к существенному снижению урожайности, а нередко и к гибели посевов озимой ржи при перезимовке. Необходимо применение средств химизации, что может негативно сказаться на экологии региона при применении большого количества минеральных удобрений и средств защиты растений. Получение экономической выгоды и выращивание экологически чистой продукции в лесостепной зоне Западной Сибири является важной приоритетной задачей.

Пары должны восприниматься как важнейшее средство интенсификации земледелия, обеспечивающее возможность улучшения фитосанитарного состояния полей, накопления влаги и нитратного азота, внесения органических удобрений и мелиорантов. Применение того или иного вида

пара связано с климатическими и почвенными условиями, а также с возможностью проведения агротехнических мероприятий в оптимальные сроки.

В связи с этим совершенствование технологии возделывания озимой ржи по различным видам

пара на основе оптимизации обработки почвы и ограниченном применении средств химизации имеет большое теоретическое и практическое значение.

Для решения поставленных задач проведены исследования в трехфакторном опыте, заложенном на полях СибНИИСХ, в четырехпольном зернопаровом севообороте с чередованием культур: пар – озимая рожь – пшеница – пшеница. Высева сорт озимой ржи Сибирь с нормой высева 5 млн. всхожих зерен на 1 га, срок посева 23-26 августа. Почва опытного участка – чернозем слабо-выщелоченный, тяжелосуглинистый, среднетощный, среднегумусовый.

Схема опыта

Вид пара (фактор А): 1. Чистый ранний пар; 2. Занятый донниковый пар; 3. Занятый горохоовсяный пар.

Основная обработка почвы (фактор В): 1. Вспашка на глубину 20-22 см; 2. Культивация на глубину 8-10 см.

Химизация (фактор С): 1. Контроль (без средств химизации); 2. Система гербицидов и удобрений (У + Г).

В варианте с гербицидами в посевах озимой ржи применялся препарат линтур – весной в фазу начала выхода в трубку штанговым опрыскивателем. Система удобрений включала внесение суперфосфата (P_{60}) в период парования, весной в период отрастания ржи – подкормка аммиачной селитрой (N_{40}) с последующим боронованием.

В чистом раннем пару основные обработки складывались в первой декаде июня. В занятых парах – после уборки парозанимающей культуры (в первой декаде июля). Основная обработка пара – вспашка проводилась плугом ПН-4-35; культивация – орудием «Степняк» производства ОКБ СибНИИСХ. В период ухода за занятым паром проводились 3 культивации орудием «Степняк» на глубину 6-7 см. Посев проводился сеялкой СКП-2,1 с последующим прикатыванием кольчато-шпоровым катком. Учет урожая – однофазный, комбайном «Сампо-130».

Донник подсеваля под последнюю культуру в севообороте. Весной при достижении почвой физической спелости проводилось боронование БИГ-3. Уборка зеленой массы – в фазу цветения донника (3 декада июня) комбайном Е-280.

Горохоовсяная смесь высевалась в год парования, в самый ранний срок (1 декада мая). Уборка зеленой массы – в фазу выметывания метелки у овса (25 июня – 5 июля) комбайном Е-280.

В занятых парах в среднем за период исследований сформировалось 6,99 т/га сухого вещества донника и 3,59 т/га сухого вещества горохоовсяной смеси.

Погодные условия 2003-2006 гг. в целом характеризуются как благоприятные для роста и развития озимой ржи. Различия заключались в том, что в 2004 и 2006 гг. вследствие высоких температур созревание культуры завершилось на 6-10 дней раньше обычного.

В начале парования в занятом донниковом пару содержалось наименьшее количество продуктивной влаги в почве – 76 мм в слое 0-100 см. Однако к посеву озимой ржи в 3 декаде августа наблюдалось пополнение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы во всех видах пара. В занятом донниковом пару с 51 до 95 мм (+ 44), в горохоовсяном

с 67 до 109 мм (+ 42), в чистом с 105 до 112 мм (+ 7) (Неклюдов А.Ф., 1980).

В чистом пару большее накопление влаги отмечено в варианте со вспашкой – 124 мм в метровом слое, что на 10 мм (8,1 %) превышало вариант с культивацией. Причем в пахотном слое (0-20 см) при отвальной обработке в среднем содержалось 26 мм продуктивной влаги, в варианте культивацией – на 2 мм (7,7 %) меньше.

В занятых парах в варианте с культивацией произошло лучшее усвоение и сохранение влаги почвой – 102 мм в метровом слое по сравнению с отвальным вариантом на 7 мм (6,9 %).

Лучшее усвоение зимних осадков в посевах культуры происходит по занятому донниковому пару с 82 мм до 126 мм (на 54%), по чистому пару с 106 мм до 143 мм (на 35%), по занятому горохоовсяному пару с 98 мм до 105 мм (на 7%) в метровом слое почвы. Это объясняется более низкой водопроницаемостью из-за ухудшения агрегатного состава почвы в варианте с горохоовсяным паром в сравнении с чистым и донниковым парами (Щитов А.Г., 1989).

Существенных различий в запасах почвенной влаги в посевах по чистому пару в период весеннего отрастания по вариантам основной обработки не наблюдалось. Обеспеченность растений почвенной влагой по этому предшественнику оценивалась как хорошая, в среднем 143 мм в метровом слое. Существенно меньше влаги в посевах по занятым донниковому (на 17 мм, или 11,9 %) и горохоовсяному (на 38 мм, или 26,6 %) парам.

В занятых парах вариант культивация на 8-10 см к фазе начала выхода в трубку озимой ржи способствовал большему накоплению и сохранению влаги в сравнении со вспашкой. В донниковом пару на 17 мм (14,4 %), в горохоовсяном на 18 мм (18,7 %). Это обусловлено интенсивным испарением влаги из более рыхлой почвы при отвальной обработке в сравнении с мелкой почвозащитной (Чуданов И.А., 1986).

Сильное влияние на урожайность зерна культуры оказали запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в период начала выхода в трубку озимой ржи ($r = 0,79$). Эта зависимость выражается уравнением регрессии: $Y = 1,425 + 0,0175X$ (где X – запас продуктивной влаги в фазу выхода в трубку озимой ржи в метровом слое почвы, мм; Y – урожайность озимой ржи, т/га).

Реальную угрозу для роста и развития культурных растений представляет не только их численность сама по себе, а величина их надземной массы. Исходя из этого, вредоносность сорняков точнее выражается по их способности накапливать биомассу.

Засоренность посевов озимой ржи зависела от метеорологических условий, от вида пара, системы основной обработки почвы и применяемых средств химизации (таблица 1).

Видовой состав сорняков по годам исследований и полям практически не различался. В посевах практически отсутствовали многолетние виды, преобладали устойчивые к гербицидам 2,4-Д сорняки – подмаренник цепкий, пиккульник обыкновенный, смолевка хлопущка. В занятом горохоовсяном пару единично отмечались корнеотпрысковые сорняки – вьюнок полевой и осот желтый.

В среднем количество сорняков в посевах озимой ржи по занятому донниковому и чистому пару в отвальном варианте обработки почвы на контро-

Засоренность посевов озимой ржи в зависимости от вида пара, основной обработки почвы и средств химизации (средняя за 2004 – 2006 гг.)

Основная обработка почвы (фактор В)	Химизация (фактор С)					
	контроль (без применения средств химизации)			гербициды + удобрения		
	шт./м ²	г/м ²	доля сорняков, %	шт./м ²	г/м ²	доля сорняков, %
Вид пара (фактор А): чистый						
Отвальная на 20-22 см	10	57	2,4	14	63	2,40
Культивация на 8-10 см	25	96	4,0	10	53	1,89
<i>Среднее по В</i>	18	77	3,2	12	58	2,15
Для фактора В НСР ₀₅	10	32	-	F _{факт} < F ₀₅	F _{факт} < F ₀₅	-
занятый донниковый						
Отвальная на 20-22 см	7	27	1,2	7	37	1,35
Культивация на 8-10 см	16	112	4,98	10	68	2,31
<i>Среднее по В</i>	12	70	3,07	9	53	1,83
Для фактора В НСР ₀₅	7	48	-	F _{факт} < F ₀₅	26	-
занятый горохоовсяный						
Отвальная на 20-22 см	14	75	3,90	16	74	2,94
Культивация на 8-10 см	26	139	6,66	14	52	1,89
<i>Среднее по В</i>	20	107	5,28	15	63	2,42
Для фактора В НСР ₀₅	11	51	-	F _{факт} < F ₀₅	F _{факт} < F ₀₅	-

Для частных средних НСР₀₅ = 13 (шт./м²); НСР₀₅ = 76 (г/м²)

ле было невысоким — 7...10 шт./м², и доля сорняков не превышала 2,5%. По занятому горохоовсяному пару по отвальной обработке почвы засоренность посевов составила 14 шт./м² и доля сорняков 3,9%. В варианте с культивацией наблюдалось увеличение как числа, так и массы сорняков по сравнению с отвальной обработкой почвы по всем видам пара. Наибольшим количеством сорняков отмечался занятый горохоовсяный пар — 14...26 шт./м².

Доля сорняков в агрофитоценозе без применения средств химизации находится в пределах 3,1-5,3%. На фоне применения гербицидов и удобрений по чистому и занятому донниковому пару в варианте с культивацией масса сорняков и их доля в агрофитоценозе снизилась в среднем в 2 раза. В занятом горохоовсяном пару масса сорняков - в 2,7 раза, доля в агрофитоценозе - в 3,5 раза.

В варианте с отвальной обработкой почвы на фоне гербициды + удобрения масса сорных растений не снизилась. Многими исследователями отмечается, что минеральные удобрения стимулируют прорастание семян сорных растений. Установлено, что у большинства групп распространённых сорняков с увеличением норм азотных удобрений повышается всхожесть семян. Поэтому на удобренном фоне необходимы более эффективные меры борьбы с ними (Синягин И.И., 1964).

Существенных различий по засоренности посевов между вариантами основной обработки почвы в чистом и занятом донниковом пару не обнаружено (F_{факт} < F₀₅). В посевах озимой ржи по занятому горохоовсяному пару без применения гербицидов наиболее эффективной для борьбы с сорной растительностью является отвальная обработка почвы.

Урожайность озимой ржи без применения средств химизации была существенно выше по чистому и занятому донниковому парам, чем в занятом горохоовсяном, в среднем на 0,78 т/га, или 19,5% (таблица 2).

Большее снижение урожайности отмечалось по горохоовсяному пару по отвальной обработке, чем по культивации (на 0,34 т/га, или 11,1%).

Прибавка урожая при применении минеральных удобрений и гербицидов по сравнению с контролем в занятом донниковом пару составила 0,48 т/га (12,2%); в занятом горохоовсяном пару — 0,75 т/га (23,3%). По чистому пару существенного роста урожая от средств химизации не получено.

В занятых парах уровень урожайности без химизации существенно ниже.

По вариантам основной обработки почвы на контроле существенная разница наблюдалась в занятых парах. В занятом горохоовсяном пару преимущество имеет культивация на 8-10 см; в занятом донниковом — вспашка на 20-22 см. На фоне химизации получено большее количество зерна озимой ржи по варианту культивации, чем по отвальной обработке пара, в среднем на 0,15 т/га (3,6%) в сравнении с чистым паром, особенно по занятому горохоовсяному пару. При применении минеральных удобрений и гербицидов урожайность озимой ржи по донниковому пару превосходит чистый пар на 5,0%, горохоовсяный пар — на 10,2%.

Таким образом, в благоприятные годы при соблюдении технологии озимая рожь по чистому пару обеспечивает урожай зерна без применения средств химизации на уровне 4 т/га. При выращивании озимой ржи по чистому пару минеральные удобрения малоэффективны, затраты на них не окупаются увеличением урожайности. Для хозяйств с развитым животноводством можно рекомендовать высевать озимую рожь по занятому донниковому пару при культивации почвы и применением небольших доз удобрений.

Библиографический список

1. Неклюдов А.Ф. Севообороты — основа урожая. Омск. Зап.-Сиб. книжное издательство. Омское отделение, 1980. 96 с.

Урожайность зерна (т/га) озимой ржи сорта Сибирь в зависимости от вида пара и технологии возделывания (средняя за 2004 – 2006 гг.)

Основная обработка почвы (фактор В)	Вид пара (фактор А)			Среднее по В
	чистый	занятый донниковый	занятый горохоовсяный	
Химизация (фактор С): контроль				$F_{\text{полт}} < F_{05}$
Отвальная на 20-22 см	4,05	4,07	3,05	3,72
Культивация на 8-10 см	4,07	3,81	3,39	3,76
Среднее по А, $HCP_{05}=0,11$	4,06	3,94	3,22	3,74
гербициды + удобрения				$HCP_{05}=0,10$
Отвальная на 20-22 см	4,12	4,38	3,87	4,12
Культивация на 8-10 см	4,30	4,45	4,07	4,27
Среднее по А, $HCP_{05}=0,18$	4,21	4,42	3,97	4,20

для частных средних $HCP_{05} = 0,44$ т/га

2. Сиягин И.И. О развитии некоторых культурных растений и сорняков при разных условиях питания / И.И. Сиягин, О.П. Анчихорова, Л.М. Жукова // Доклад. ВАСХНИЛ. – 1964. – Вып. 2. С. 41-45.

3. Чуданов И. А., Васильев В.П. Обработка черноземных почв в среднем Заволжье // Земледелие. - 1986. - № 8. – С. 24-26.

4. Щитов А.Г. Эффективность чистого и занятого пара в севооборотах при различных способах обработки почвы в зоне южной лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.01. / А.Г. Щитов. – Омск, 1989. – 16 с.

СОРОКА Виталий Николаевич, аспирант кафедры земледелия и растениеводства.

ЕРШОВ Василий Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и растениеводства.

Дата поступления статьи в редакцию: 23.10.06 г.

© Сорока В.Н., Ершов В.А.

УДК 575.174.015.3: 598.65

А. Р. ХАМИДОВА
М. Г. АБРОСИМОВА
Б. Ю. КАССАЛ

Омский государственный педагогический университет

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИЙ ГОЛУБЯ СИЗОГО СИНАНТРОПНОГО (*COLUMBA LIVIA L.*) В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Доказана возможность создания системы мониторинга и информационной базы данных о популяции голубя сизого синантропного на территории Омской области и г. Омска путем использования потенциала независимых общественных наблюдателей.

После одомашнивания голубя сизого во многих местах обитания произошло его повторное одичание. Такие голуби сизые синантропные имеют разнообразную окраску оперения как следствие предыдущего одомашнивания и искусственного отбора, представляя собой цветные морфы, объединяемые в шесть основных цветных групп. Цветовое морфологическое разнообразие голубей сизых синантропных в частности является моделью

биологического разнообразия в общем. Его изучение осуществляется при помощи мониторинга.

Понятие «мониторинг» сравнительно недавно используется как научный термин, поэтому не имеет однозначной определенности. Б.А. Быков определяет «...мониторинг (от лат. monitor – надзирающий) как систему долгосрочных наблюдений за изменением внешней среды, экосистем (экологический) и биосферы целиком (биосфер-

ный мониторинг), который производится на специальных станциях (в том числе гидрометеорологических) и в биосферных заповедниках» (Быков, 1988: 131). В статье Биологического энциклопедического словаря (1989) «...мониторинг (от лат. *monitor* – тот, кто напоминает, предупреждает) – комплексная система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния биосферы или ее отдельных элементов под влиянием антропогенных воздействий. Мониторинг может быть локальным, региональным и глобальным. В мониторинге состояние биосферы характеризуется геофизическими, физико-географическими, геохимическими, биологическими параметрами. Например, биологический мониторинг на изменения окружающей среды возможен по функциональным (прирост биомассы в единицу времени, скорость поглощения разложения веществ растениями и животными) и структурным (численность и состав видов, общая биомасса и др.) биологическим признакам. ...Важную роль в М. имеет глобальная система биосферных заповедников. В службе мониторинга растет роль дистанционных и автоматических методов наблюдений (данные из труднодоступных мест передаются по радио, через спутники и т. п.). Система мониторинга является информационной, она не включает управление качеством окружающей природной среды». Н.Ф. Реймерс (1980: 103-104) придерживается мнения, что «...мониторинг – это слежение за какими-то объектами или явлениями; в приложении к среде жизни – слежение за ее состоянием и предупреждение о создающихся критических ситуациях (повышение загазованности воздуха сверх ПДК и т. п.), вредных или опасных для здоровья людей, других живых существ, их сообществ, природных и антропогенных объектов (в том числе сооружений)». Исходя из представленных определений, мы придерживаемся следующего представления об экологическом мониторинге: под экологическим мониторингом мы подразумеваем регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, биоценозов, популяций растений и животных, позволяющие оценить состояние и происходящие изменения под влиянием антропогенной деятельности.

Таким образом, экологический мониторинг по своей сути является системой, включающей наблюдения, оценку результатов наблюдения, прогноз, оценку прогноза, позволяющей управлять качеством природной среды. В понятие «экологический мониторинг» мы вкладываем организованный мониторинг объектов окружающей среды для обеспечения оценки среды обитания человека, биологических сообществ и экологических систем с целью прогнозирования развития наблюдаемого природного объекта и принятия управленческих решений. Хорошо организованный мониторинг создает возможность наиболее точной экстраполяции развития природного объекта.

Целью представленной в статье работы является организация мониторинга популяции голубя сизого синантропного в Омской области (и в г. Омске) для установления закономерностей ее развития. Задачи мониторинга популяции голубя сизого синантропного следующие.

1. Разработать программу мониторинга.

2. Определить возможности включения в мониторинг различных категорий наблюдателей.

3. Реализовать мониторинг популяции голубя сизого синантропного в Омской области и г. Омске.

4. Сформировать единую информационную базу данных мониторинга.

5. Создать оптимальные условия для обработки и оценки данных мониторинга.

6. Установить закономерности развития популяции голубя сизого синантропного в Омской области и в г. Омске.

7. Опубликовать данные мониторинга.

Предмет исследования: популяция голубя сизого синантропного в Омской области и в г. Омске. Объект: мониторинг популяции голубя сизого синантропного в мегаполисе и сельской местности.

Хорошо организованный мониторинг создает возможность наиболее точной экстраполяции развития природного объекта. Мониторинг популяций птиц предполагает местный, региональный, государственный и, наконец, мировой уровни организации наблюдений. Мониторинг, организованный даже на местном и региональном уровне, как правило, требует создания службы с огромным штатом исполнителей и значительным бюджетным финансированием. Стихийный сбор информации ставит под сомнение достоверность данных, полученных в результате наблюдений, и такие данные не могут являться материалом для построения модели (и прогноза) развития природного объекта. Мы предлагаем альтернативный способ организации мониторинга – за счет ресурсов общественных организаций и учащейся молодежи. На первый взгляд, такой способ организации экологического мониторинга выглядит не вполне реально. Но при создании определенного мотивационного фона решения задачи становятся возможными.

Организация мониторинга популяции голубя сизого синантропного в условиях как сельской местности, так и мегаполиса, имеет свои особенности. Территория обитания популяции имеет большую площадь и неоднородна по застройке и ландшафту. При этом в городе существуют повторяющиеся (по условиям проживания стаи) участки – микрорайоны. Они характеризуются наличием сходных мест ночевки и гнездования (крыши многоэтажных домов), мест дневки (открытые пространства – площадки между домами, остановки транспорта, спортивные площадки, стадионы), мест кормежки (площади рынков, магазинов). На окраине мегаполиса (г. Омска) расположено крупное промышленное предприятия зернохранения и переработки - элеватор. В связи с этим можно предположить, что стаи каждого микрорайона формируются и развиваются в соответствии с единими закономерностями, между стаями популяции происходят постоянные контакты на границах микрорайонов, в местах общих кормежек и на элеваторе. Следовательно, генетическое и фенотипическое разнообразие стаи (группы стаи) голубя сизого синантропного, проживающей в одном микрорайоне (в населенном пункте), в значительной мере отражает особенности всей популяции.

Реализация принципов организации экологического мониторинга рассматривается нами на примере изучения популяции голубя сизого синантропного в Омской области (и в г. Омске). Исходя из данного предложения, в 1997 г. Б.Ю. Кассалом (2002, 2004) была создана программа мониторинга популяции голубя сизого синантропного, включающая следующий комплекс параметров для наблюдения.

Хронология включения в программу экологического мониторинга популяции голубя сизого синантропного в Омской области (в г. Омске) различных категорий наблюдателей

Год	Общественная организация или категория наблюдателей	Кол-во участников, чел./год
1997	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань»	18
1998	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», Экологический клуб гимназии №139 «Зеленый свет»; секции биологии и экологии НОУ «Поиск», отдельные ученые-исследователи	12
1999	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», секции биологии и экологии НОУ «Поиск», городской Дом творчества детей и юношества (кружок юных натуралистов и экологов), отдельные ученые-исследователи	15
2000	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», секции биологии и экологии НОУ «Поиск», Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), городской Дом творчества детей и юношества (кружок юных натуралистов и экологов), отдельные ученые-исследователи	14
2001	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», секции биологии и экологии НОУ «Поиск», городской Дом творчества детей и юношества (кружок юных натуралистов и экологов), Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), ОмГПУ, химико-биологический факультет, студенты очно-заочной формы обучения, отдельные ученые-исследователи	28
2002	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», секции биологии и экологии НОУ «Поиск», Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), ОмГПУ, химико-биологический факультет, студенты очной формы обучения, отдельные ученые-исследователи	66
2003	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», секции биологии и экологии НОУ «Поиск», Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), ОмГПУ и ОмГУ, химико-биологический факультет, студенты очной формы обучения, бакалавры, магистры, аспиранты и соискатели ученой степени кандидата наук, выпускники (учителя – молодые специалисты), отдельные ученые-исследователи	7
2004	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», секции биологии и экологии НОУ «Поиск», Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), учащиеся МОУ, студенты очной формы обучения и бакалавры химико-биологического факультета ОмГПУ, выпускники (учителя – молодые специалисты), отдельные ученые-исследователи	170
2005	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), учащиеся МОУ, студенты очной формы обучения и бакалавры химико-биологического факультета ОмГПУ, выпускники (учителя – молодые специалисты), отдельные ученые-исследователи	178
2006	Омский областной клуб натуралистов «Птичья Гавань», Дом творчества детей и юношества Октябрьского АО (кружок юных натуралистов и экологов), студенты очной формы обучения и бакалавры химико-биологического факультета ОмГПУ, выпускники (учителя – молодые специалисты), отдельные ученые-исследователи	210
Итого участников мониторинга популяции голубей в г. Омске		608

1. Топография стаи. Топография, или описание места возможного расположения стаи, включает в себя следующие характеристики: места дневок, ночевки, гнездования, кормления, маршруты перемещения, а также экологические особенности биотопов. Результаты топографических наблюдений представлены в виде карты, схемы или плана территории города с маршрутами перемещения стаи.

2. Количественная характеристика стаи. Данный параметр отражает сезонную численность стаи и выражается числовым значением, зафиксированным в таблице.

3. Качественная характеристика стаи. Качественная характеристика создается на основе оценки морфологических половых, возрастных, иных особенностей особей в стае. Результаты качественной оценки представляются в виде матриц распределения признаков, вариационного ряда, графиков, числового кода.

Кроме этого, определены сроки наблюдений – осень (сентябрь) и весна (март) – и методы сбора информации, описанные в инструкциях.

Программа предложена для организации поисковой работы на базе Омского областного клуба натуралистов «Птичья Гавань», областной общественной организации «Научное общество учащихся (НОУ) «Поиск», экологического клуба гимназии №139 «Зеленый Свет», школьных экологических и биологических кружков. Хронология включения в программу экологического мониторинга различных общественных организаций представлена в таблице 1.

Все участники мониторинга ведут наблюдения за популяцией по определенным параметрам, полученные данные собираются в общую информационную базу. Таким образом, складывается единая картина развития популяции голубя сизого синантропного в области и в городе.

Внешняя мотивация к участию в мониторинге создается, исходя из особенностей предполагаемых групп участников мониторинга. На основе программы экологического мониторинга созданы унифицированные рекомендации к проведению лабораторных и практических работ по экологии, экологическим основам природопользования для школьников и студентов средних и высших профессиональных образовательных учреждений, разработаны методические указания для проведения экскурсий. Мотивы участия в экологическом мониторинге популяции голубей у каждой группы различны. Каждая группа участников мониторинга ведет наблюдение по одному или нескольким параметрам, фрагментарно или системно, но всегда работает независимо от других. В результате этого в информационной базе систематически происходит сбор независимых (объективных) данных по всем параметрам мониторинга популяции голубей Омской области (и г. Омска), которые заданы в программе.

Таким образом, организация сбора данных экологического мониторинга может быть представлена серией учебных или исследовательских задач для различных групп наблюдателей. В качестве примера может быть представлен шаблон одного

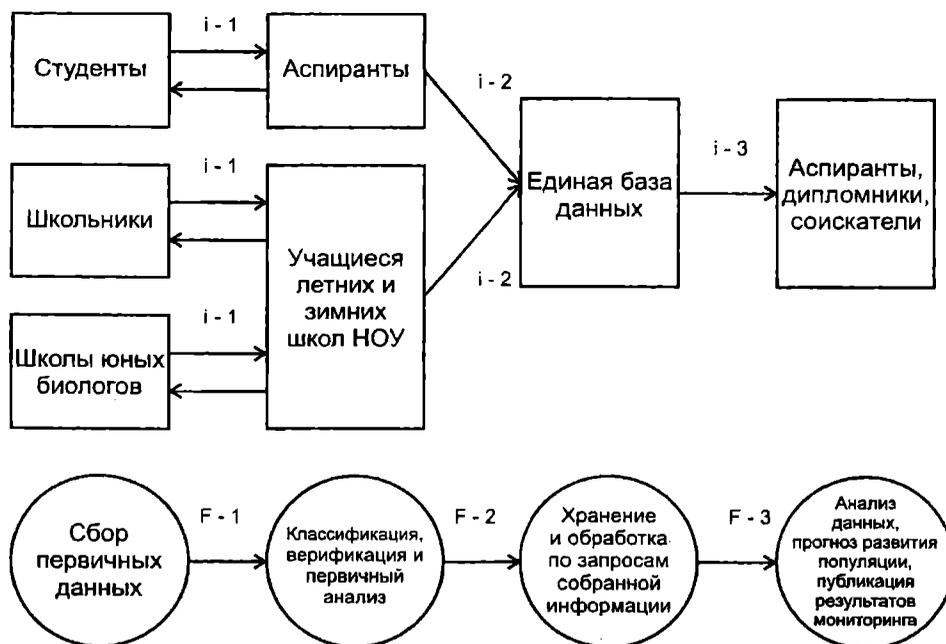


Рис. 1. Распределение информационных потоков при организации мониторинга с помощью общественных организаций

из заданий для выполнения лабораторно-практических работ студентами химико-биологического факультета ОмГПУ в учебно-методическом пособии М.Г. Абросимовой и Б.Ю. Кассала «Рабочая тетрадь к лабораторно-практическим занятиям «Биологическое разнообразие (синантропные и дикие голуби)». Расчетно-аналитические задания» (2006, в печати).

Выполнение данной работы, с одной стороны, решает учебно-познавательные задачи предмета, а с другой — является важным материалом для создания общей информационной базы данных о популяции голубей в городе. Для иной категории участников мониторинга учебная задача может выглядеть иначе. При этом методика выполнения работы, а по сути — сбора данных, сохраняется независимо от учебных задач и является инвариантной частью, относящейся к Программе экологического мониторинга. Наличие такой инвариантной части позволяет унифицировать методику сбора данных и создает оптимальные условия для постоянного пополнения информационной базы данных достоверными сведениями.

С 1997 по 2006 гг. силами общественных организаций, школьников и студентов удалось описать до 112 стай/год сизых голубей, составляющих основу популяции мегаполиса, и 209 стай/год голубей сизых синантропных в условиях сельской местности.

Информационные потоки от независимых участников мониторинга распределяются согласно представленной схеме (рис. 1).

На схеме прослеживается, как меняется качество информации при ее переходе от одних участников мониторинга к другим. Информационный поток ($i-1$) представляет разрозненные не обработанные сведения о популяции, которые проходят первичный анализ и проверку достоверности (F-1). Собранные данные часто требуют уточнения, дополнительных сведений, поэтому информационные потоки ($i-1$) направлены в обе стороны. Проверенная и обработанная информация направляется для хранения в единую базу данных ($i-2$), в которой происходит классификация и унификация сведений для быстрого поиска данных по запросам пользователя (F-2). Следующий информаци-

онный поток ($i-3$) представляет упорядоченные, подготовленные для составления прогноза развития популяции сведения (F-3). В конечном итоге из разрозненных данных удается получить материал для построения прогноза развития популяции, а созданная база данных позволяет хранить и обрабатывать унифицированную информацию. Представленная схема позволяет осуществить в полном объеме все процедуры мониторинга (табл. 2).

В результате проводимой работы за десять лет (1997-2006 гг.) собрана богатая информационная база о популяции голубя сизого синантропного, обитающего на территории Омской области и г. Омска. Обработка и обобщение данных, накопленных в информационной базе за несколько лет, проводится на различных уровнях:

- школьниками в выездных областных летних и зимних школах НОУ «Поиск» для выполнения индивидуальных и групповых поисковых работ по экологии и биологии с целью развития исследовательских способностей;
- студентами ОмГПУ, ОмГУ для выполнения курсовых и дипломных работ с учебными целями;
- аспирантами и соискателями ученой степени кандидата экологических наук для более глубокого исследования популяции голубей, публикации результатов исследования, создания базы данных для экстраполяции развития популяции голубей в мегаполисе.

Материалы проводимого мониторинга публикуются (Кассал, 2000, 2002, 2003, 2004-а, 2004-б, 2005; Хамидова, Кассал, 2003; Хамидова, 2003, 2004, 2005; Абросимова, 2004-а, 2005-а, 2005-б) и будут публиковаться. Таким образом, используя независимые источники информации и имея программу наблюдений, удастся проводить мониторинговые исследования популяций, не прибегая к государственным службам мониторинга.

Выводы

1. Используя потенциал независимых общественных наблюдателей, без участия государственной службы, удалось осуществить мониторинг популяции голубя сизого синантропного в Омской области и в г. Омске.

Исполнение процедур мониторинга

Процедуры мониторинга	Форма подачи информации	Исполнители
Выделение объекта наблюдений	Программа мониторинга	Руководитель программы мониторинга
Планирование измерений	Программа мониторинга	Руководитель программы мониторинга
Обследование выделенного объекта	Отчеты о наблюдениях	Студенты, школьники, кружковцы
Оценка состояния объекта и идентификация его информационной модели	Поисковые и исследовательские работы	Участники секции биологии и экологии летних и зимних школ НОУ
Представление информации в удобной для использования форме	База данных	Администратор базы данных (студент)
Составление информационной модели для объекта наблюдений	Исследовательские квалификационные работы	Аспиранты, соискатели, выпускники вуза
Прогнозирование состояния изменения объекта наблюдений	Исследовательские квалификационные работы	Аспиранты, соискатели, выпускники вуза

2. Создана информационная база данных о популяции голубя сизого синантропного на территории Омской области и г. Омска и начата ее обработка и оценка, в т. ч. и через публикации.

Библиографический список

- Абросимова М.Г. Организация экологического мониторинга популяции сизого голубя в условиях мегаполиса // Труды зоологической комиссии. Ежегодник. Вып. 1: Сб. науч. тр. / Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во «Академия», 2004. — 158 с. — С. 61-67.
- Абросимова М.Г. Цифровое кодирование окраски сизых голубей // Омская биологическая школа, 2005. Ежегодник. Вып. 2: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во ОмГПУ, 2005. — 124 с. — С. 71-79.
- Абросимова М.Г., Кассал Б.Ю. Рабочая тетрадь к лабораторно-практическим занятиям «Биологическое разнообразие (синантропные и дикие голуби)». Расчетно-аналитические задания». — Омск: Изд-во «Академия», 2006.
- Абросимова М.Г., Кассал Б.Ю. Экологический мониторинг синантропных птиц (на примере сизого голубя *Columba livia*) // Проблемы птиц омского региона. — Омск: ОРО «Общ-во охраны природы Сибири», 2005. — 144 с. — С. 30-42.
- Биологический энциклопедический словарь / гл. ред. М.С. Гиляров; Редкол.: А.А. Баев, Г.Г. Винберг, Г.А. Заварзин и др. — М.: Сов. энциклопедия, 1989. — 864 с. — С. 375.
- Быков Б.А. Экологический словарь. — Алма-Ата: Наука, 1988. — 212 с. — С. 131.
- Кассал Б.Ю. Еще один день в Птичьей Гавани. — Омск: ОмГУ, 2004. — 272 с. — С. 22, 221-222, 244-245.
- Кассал Б.Ю. Календарь Птичьей Гавани. — Омск: ОмГУ, НОК «Образование плюс», 2000. — 152 с.
- Кассал Б.Ю. Летняя учебно-полевая практика по зоологии (позвоночные животные) в г. Омске (учеб.-метод. пособие). — Омск: Изд-во ОмГПУ, 2002. — 64 с.
- Кассал Б.Ю. Наследование красной окраски оперения у голубей (*Columba livia* L.) // Труды зоологической комиссии. Ежегодник. Вып. 2: Сб. науч. тр. / Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во «Академия», 2005. — 162 с. — С. 56-64.
- Кассал Б.Ю. Орнитоценоз Птичьей Гавани // Изучение экосистемы природного парка «Птичья Гавань»: Сб. науч. статей // Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во ОмГПУ, ООО «Издательский дом «Наука», 2003. — 210 с. — С. 105-131.
- Кассал Б.Ю. Рабочая тетрадь «Биологическое разнообразие (полудомашние и дикие голуби)». Расчетно-аналитические задания». Учебно-методическое пособие. — Омск: ОмГПУ, 2004. — 48 с.
- Хамидова А.Р. Количественные изменения стай синантропных голубей (*Columba livia* L.) в сельской популяции Среднего Прииртышья // Труды Зоологической комиссии. Ежегодник. Вып. 2: Сб. науч. тр. / Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во «Академия», 2005. — 162 с. — С. 65-69.
- Хамидова А.Р. Оценка взаимосвязи стай полудомашних голубей // Тез. докл. XI междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2004». 12-15 апр. 2004 г. Секция «Биология». — М.: МГУ, 2004. — С. 166-167.
- Хамидова А.Р. Сезонные изменения состава голубиных стай // Экология и проблемы защиты окружающей среды: Тез. докл. X Всероссийской студенческой конференции. Красноярск, 24-26 апреля 2003 г. / КрасГУ. — Красноярск, 2003. — С. 124-125.
- Хамидова А.Р., Кассал Б.Ю. Взаимосвязи стай полудомашних голубей в поддержании полиморфизма их окраски // Омская биологическая школа, 2004. Ежегодник. Вып. 1: Межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во ОмГПУ, 2004. — 132 с. — С. 46-55.
- Хамидова А.Р., Кассал Б.Ю. Сезонная изменчивость морфологического состава голубиных стай // Естественные науки и экология: Ежегодник. Вып. 7: Межвуз. сб. науч. тр. — Омск: ОмГПУ, 2003. — С. 157-164.
- Хамидова А.Р., Кассал Б.Ю. Цветовой полиморфизм голубей в сельской популяции // Труды зоологической комиссии. Ежегодник. Вып. 1: Сб. науч. тр. / Под ред. Б.Ю. Кассала. — Омск: Изд-во «Академия», 2004. — 158 с. — С. 52-60.

ХАМИДОВА Альфия Ралифовна, аспирант кафедры зоологии.

АБРОСИМОВА Марина Георгиевна, заместитель директора Омского государственного колледжа управления и профессиональных технологий.

КАССАЛ Борис Юрьевич, кандидат ветеринарных наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры зоологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 17.11.06 г.
© Хамидова А.Р., Абросимова М.Г., Кассал Б.Ю.

Книжная полка

Петровец В.Р., Бершадский В.Ф., Гайдуков В.А. Контрольные вопросы по правилам технической эксплуатации для получения рабочей профессии тракториста-машиниста категорий «А», «Б», «В», «Г», «Д», «Е». — Минск: Дикта, 2006. — 239 с.

Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Рациональная система поиска и отбора гербицидов на современном этапе. — М.: РАСХН-ГНУ ВНИИФ, 2006. — 272 с.

ОСОБЕННОСТИ РЕПРОДУКТИВНОЙ СТАДИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТРАХЕЛОМОНАСОВ

В статье содержатся оригинальные данные о жизненном цикле широко распространенного в водоемах Западной Сибири вида эвгленовых жгутиконосцев *Trachelomonas volvocina*. Рассмотрены возможные пути протекания репродуктивной стадии жизненного цикла и особенности постройки домика у дочерних особей.

Введение

Жгутиконосцы рода *Trachelomonas* Ehrenberg, 1833, относящиеся к классу Euglenoidea типа Euglenozoa, широко распространены в пресных континентальных водоемах Евразии, в том числе и в водоемах юга Западной Сибири (окрестности города Омска) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. По видовому разнообразию и численности отдельных видов этот род занимает лидирующее положение во многих водоемах [5, 8, 9]. Но до сих пор, несмотря на видовое разнообразие и широту распространения, многие виды рода *Trachelomonas* изучены недостаточно. Отсутствуют данные по жизненным циклам и влиянию на них абиотических факторов среды. Одним из таких видов является жгутиконосец *T. volvocina*, с конца апреля до конца октября — фоновый вид для всех обследованных водоемов.

Методика исследования

Трахеломонасы были собраны в водоемах окрестностей городов Челябинск (Первое озеро) и Омск (озера Чередовое, «Птичья Гавань», Моховое) в весенне-летне-осенний периоды 2002-2005 гг. с применением стандартных методов сбора протозоологических и гидробиологических проб [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]. Жгутиконосцы изучались *in vivo* и *in vitro*. Отдельные особи фиксировались жидкостью Карнуа на этиловом спирте. Для изучения морфологии клетки использовались стандартные цитохимические методики. Материалы были получены на 2-х марках световых микроскопов БиоМед-2 и МБИ-6 с фазово-контрастным устройством. В стационарных условиях применяли микроскоп Reichert с фазово-контрастным устройством и фотонасадкой. Для выделения особей из природных проб использовали микроманипулятор ММФ-1 конструкции А.О. Фролова. Видовое определение жгутиконосцев проводили по общеизвестным пособиям [9, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23]. Лабораторный эксперимент для изучения репродуктивной фазы жизненного цикла проведен в микроаквариумах по общепринятой методике [24].

Результаты

Домики *T. volvocina* шаровидной формы. Диаметр домика 10-30 мкм. Поверхность домика гладкая, стенки от желтого до темно-коричневого цвета. Горлышко короткое либо в виде кольцевого утол-

щения, диаметр 1,5–2 мкм. Из горлышка выходит жгутик, в 2,5 раза превышающий длину домика. Возле небольшого жгутикового резервуара располагаются округлая красная стигма и сократительная вакуоль диаметром 3–5 мкм. Монады окрашены в зеленый цвет. Пластинчатые хлоропласты располагаются пристеночно. Зерна парамиллона мелкие, палочковидные. Ядро крупное округлое, расположено ближе к задней части. Диаметр ядра около 5–8 мкм.

Жизненный цикл *T. volvocina* до сих пор был неизвестен, особенно это касается репродуктивной стадии цикла. В лабораторном эксперименте в условиях микроаквариума удалось прояснить некоторые особенности деления и формирования новых дочерних особей.

По общепринятым представлениям, деление монады *T. volvocina* происходит в материнском домике, после чего одна из двух образовавшихся дочерних особей покидает материнский домик и строит собственный [19, 20, 21, 22, 23].

В условиях микроаквариума при $t = 20^\circ\text{C}$ были получены следующие результаты. У *T. volvocina* при оптимальной температуре деление и образование полностью сформированных дочерних клеток может осуществляться тремя путями.

Первый путь - монотомия с образованием двух дочерних особей в материнском домике. После чего одна особь остается в материнском домике и использует его как собственный, а вторая — выходит в воду. Эта особь по особенностям морфологии сходна с представителями рода *Euglena* (*E. viridis*, *E. gracilis*). Её тело веретеновидное, закруглено на переднем конце и сужено на заднем. Длина тела около 20 мкм при ширине 10 мкм. Пелликула скульптурирована спирально закрученными ребрами. Тело сократимо, характерны волнообразные метаболирующие сокращения. Таким образом, для монады *T. volvocina*, лишенной домика, характерно эвгленоидное движение. Плавательный жгутик один, расположен апикально и направлен вперед. Жгутик в 2,5-3 раза длиннее тела. Стигма хорошо выражена. Она округлая, имеет ярко-красную окраску и расположена (прилегает) около жгутикового резервуара. Хлоропласты дисковидные, их около 10. Расположены в эндоплазме передней части клетки. Хлоропласты у вновь образованной особи плохо различимы в световой микроскоп, т.к. имеют светлую зеленовато-желтую окраску. При

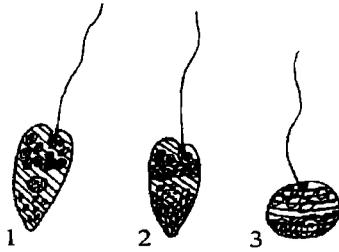


Рис. 1. Дочерняя монада *T. volvocina*: 1 – после деления (1 класс накопления парамилон); 2 – плавающая монада (3 класс накопления парамилон); 3 – округлившаяся, прикрепляющаяся монада перед образованием домика

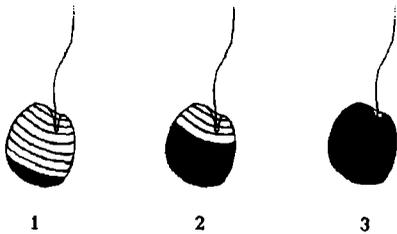


Рис. 2. Этапы формирования домика у *T. volvocina*: 1 – начальная прикрепительная стадия; 2 – стадия полудомика, или аскогленная; 3 – полный домик

выходе из материнского домика у дочерней особи в эндоплазме имеется 5-10 зерен парамилон (1 класс накопления парамилон), которые локализованы в задней части клетки (рис. 1).

Выйдя из домика в воду, дочерняя особь активно плавает в верхних слоях воды в течение двух-трех суток. За это время значительно увеличивается запас зерен парамилон, которые занимают $\frac{1}{3}$ объема клетки, что соответствует 3 классу накопления парамилон. Увеличение запаса парамилон происходит вследствие активного фотосинтеза. При этом уже к концу первых суток хлоропласты окрашиваются в интенсивный зеленый цвет. После накопления достаточного запаса парамилон плавающая монада оседает на дно, прикрепляется к субстрату и округляется. Условно эту начальную стадию образования домика мы называем прикрепительной. После чего данная особь начинает формировать собственный домик снизу вверх.

Постройка стенок домика идет по спирали в соответствии с расположением ребер пелликулы (рис. 2).

Когда домик сформирован до половины тела монады *T. volvocina* напоминает эвгленового жгутиконосца *Ascoglena viridis*, который, как известно, имеет полудомик [2, 6]. Эту стадию формирования домика мы обозначаем как аскогленную стадию (стадию полудомика). Постройка домика завершается образованием в его верхней части горлышка в виде округлого утолщения. Горлышко окаймляет отверстие жгутикового резервуара, из которого выходит плавательный жгутик.

В дальнейшем, после постройки домика, новая полностью сформированная особь отрывается от субстрата и ведет плавающий образ жизни. Следует отметить, что описанная схема формирования домика отмечена нами также для видов: *T. hispida* и *T. volvocinopsis*. Продолжительность постройки домика различна при разных температурах содержания в микроаквариуме (табл. 1).

Второй путь – материнская монада покидает собственный домик и монотомически делится в продольном направлении сверху вниз в свободно плавающем состоянии.

Таблица 1

Температура в °С	Продолжительность постройки домика в часах		
	п	варианты	средняя±х
до 10	25	126-132	129,4±1,8
до 12	25	108-120	113,3±1,6
до 16	25	96-102	99,4±1,1
до 20	25	72-78	75,5±1,2
до 25	25	48-60	49,6±0,7

При этом ядро делящейся особи мигрирует в переднюю часть клетки под жгутиковый резервуар, и следует кариокинез. Затем проходит цитокинез – цитоплазма с органеллами двумя участками обособляется вокруг двух новых ядер. В результате телокинеза образуются две дочерние особи, каждая из которых строит собственный домик описанным выше способом. Образования цист размножения в условиях эксперимента при колебании температур в пределах от 10 до 25°С не отмечено.

Третий путь – материнская монада делится в собственном домике, а затем вновь образовавшиеся особи покидают его и образуют собственные домики описанным выше способом.

Заключение

Изучение жизненных циклов различных организмов является важнейшим для понимания биологии, как отдельных видов, так и групп видов. В случае с расшифровкой репродуктивной фазы жизненного цикла *T. volvocina*, как часто это бывает, мы имеем дело с видом давно описанным, часто фоновым для большинства пресных континентальных водоемов, имеющим высокую численность в весенне-летне-осенний период и, тем не менее, практически не известном науке. На примере *T. volvocina* показано, что хотя данному виду и свойственна монотомия, она может идти различными путями, т.е. имеет вариативность протекания. Впервые показаны: особенности строения монады трахеломонасов; способ построения домика и стадии его развития (прикрепительная и аскогленная); три пути протекания репродуктивной фазы цикла.

Библиографический список

1. Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР / М.: Сов. наука, 1955, 7. – 282 с.
2. Попова Т.Г. Эвгленовые водоросли / В кн.: Флора споровых растений. М.-Л.: Наука, 1966, т. 8, вып.1. - 411 с.
3. Попова Т.Г., Сафонова Т.А. Эвгленовые водоросли / В кн.: Флора споровых растений СССР. Л.: Наука, 1976, т. 9, вып. 2. – 288 с.
4. Сафонова Т.А. Род *Trachelomonas* Ehrh. во флоре водоемов Западной Сибири / В кн.: Водоросли и грибы Западной Сибири. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1965, Вып. 10, – с. 62-109.
5. Сафонова Т.А. Эвгленовые водоросли Западной Сибири / Новосибирск: Наука, 1984. – 174 с.
6. Лихачев С.Ф. Эвгленовые жгутиконосцы рода *Trachelomonas* из водоемов Омской области / В кн.: Ученые записки биолог. ф-та. Омск: изд-во ОмГПУ, 1996а. - с. 93-123.
7. Лихачев С.Ф. Эвгленовые водоросли водоемов Омской области / Омск: изд-во ОмГПУ, 1997а. – 242 с.
8. Лихачев С.Ф. Зональные комплексы эвгленовых жгутиконосцев водоемов омского Прииртышья / Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 1998. – 192 с.

9. Лихачев С.Ф. Атлас эвгленовых жгутиконосцев из водоемов юга Западной Сибири и северного Казахстана / Омск: ОмГПУ, 1999, - 160 с.
10. Гусева К.А. Методы эколого-физиологического исследования водорослей / Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956, т. 4, ч. 1. - с. 122-159.
11. Жадин В.И. Методика изучения донной фауны водоемов и экологии донных беспозвоночных / Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956, т. 4, ч. 1. - с. 279-382.
12. Киселев И.А. Методика исследования планктона / В кн.: Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956а. т. 4, часть 1. - с. 183-256.
13. Киселев И.А. Методы исследования нейстона / В кн.: Жизнь пресных вод. М.-Л.: изд-во АН СССР, 1956б, т. 4, часть 1. - с. 266-271.
14. Усачев П.И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона / Тр. Всес. гидробиол. общ., 1961, XI.
15. Лихачев С.Ф. Комплексный подход к изучению фаун протистов на примере эвгленовых / В кн.: Методология и методика естественных наук. Омск: ООИПКРО, изд-во ОмГПУ, 1997а. - с. 102-110.
16. Лихачев С.Ф. Методика эколого-фаунистических исследований протистов на примере эвгленовых / В кн.: Методология и методика естественных наук. Омск: ООИПКРО, изд-во ОмГПУ, 1997б. - с. 111-127.
17. Ветрова З.И. Эвгленофитовые водоросли / В кн.: Флора континентальных водоемов Украинской ССР. Киев: Наук. думка, 1986. - 346 с.
18. Суханова К.М. Класс «Растительные жгутиконосцы» / В кн.: Фауна аэротенков. Л., Наука, 1984. - с. 40-82.
19. Leedale G.F. Euglenoid flagellates / New Jersey: Euglewood Cliffs, 1967. - 242 p.
20. Lee R.E. Phycology / Cambridge etc., 1980. - 478 p.
21. Kudo R.R. Protozoology / Springfield, Illinois, 1966. - 1174 p.
22. Deflandre G. Monographie du genre *Trachelomonas* Ehr. / Rev.gen. botan., 1936, 38. - 144 p.
23. Conrad W., Meel L. Matériaux pour une monographie de *Trachelomonas* Ehrenberg C., 1834, *Strombomonas* Deflandre G., 1930 et *Euglena* Ehrenberg C., 1832 / Inst. royal des sci. naturelles de Belgique Memoires, 1952, 124. - 176 p.
24. Лихачев С.Ф. Фауна и жизненные циклы эндопаразитических эвгленовых жгутиконосцев рода *Parastasia* Michajlow, 1972 / Автореферат дисс...канд. биол. наук. Ленинград, 1989. - 16 с.

МОСКАЛЕЦ Юлия Васильевна, зав. лабораторией кафедры экологии.

ЛИХАЧЕВ Сергей Федорович, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.
© Москалец Ю.В., Лихачев С.Ф.

УДК 593.17

Е. В. ЖИРНОВА

Омский государственный педагогический университет

ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ ПЕРИТРИХ К ОБЪЕКТАМ ПРИКРЕПЛЕНИЯ

В фауне Peritricha из исследованных нами 28 водоемов Омска и Омской области, расположенных в разных физико-географических зонах, было отмечено 22 вида инфузорий (два из них ранее не были отмечены на внешних покровах ракообразных), относящихся к родам Vorticella и Epistylis, которые по избирательности к субстратам, служащим для прикрепления, можно разделить на 3 группы.

Таксономия сидячих перитрих (отряд *Peritricha* Stein, 1859 [1], подотряд *Sessilia* Kahl, 1935 [2]) базируется на системе, предложенной Калем [2].

В современной классификации они имеют ранг подкласса [3] или класса [4, 5]. Эти авторы, как ранее Каль [2] и Рабе [6], указывают на их морфологическое своеобразие и монофилетическое происхождение. Такая точка зрения подтверждается и электронно-микроскопическим изучением их фибриллярных структур [6]. Перитрих принято подразделять на две систематические группы, которым Корлисс [3] придал ранг подотрядов: прикрепленных (*Sessilina*) и подвижных (*Mobilina*). В подотряд *Mobilina* включено одно семейство *Urceolariidae*, в подотряд *Sessilina* — все остальные кругоресничные инфузории. Подотряд *Sessilina* делится на два надсемейства: *Loricata* и *Aloricata*. *Loricata* — обширная группа прикрепленных перитрих, образующих на поверхности тела защитные оболочки из псевдохитина — домики (*lorica*), в

которые простейшее может полностью погружаться или выставлять наружу верхнюю часть клетки. Все остальные кругоресничные инфузории, лишённые защитных домиков, вошли в надсемейство *Aloricata*, в которое Каль объединил: виды, лишённые стебля, — в семейство *Scyphidiidae*, виды с несократимым стеблем — в семейство *Epistylidae*, с сократимым стеблем — в семейство *Vorticellidae*.

В фауне *Peritricha* из исследованных нами 28 водоемов Омска и Омской области, расположенных в разных физико-географических зонах, было отмечено 22 вида инфузорий, относящихся к родам *Vorticella* и *Epistylis*, которые по избирательности к субстратам, служащим для прикрепления, можно разделить на 3 группы:

1. Эпифиты - виды, поселяющиеся на растениях. В состав данной группы входит 4 вида рода *Vorticella* (*V. conica*, *V. microstoma*, *V. submicrostoma*, *V. vernalis*), что составляет 18,2% от общего числа видов *Peritricha*;

2. Эпизои - виды, поселяющиеся исключительно на животных организмах: 4 вида рода *Vorticella* (*V. communis*, *V. fromenteli*, *V. hyaline*, *V. nutans*) - 18,2% и вид рода *Epistylis* (*E. urceolata*) - 4,5%, в качестве субстрата и носителя для которых являются рачки семейства Cyclopidae;

3. Эпибионты, или миксобионты — виды, обитающие на растениях и животных. Эту группу составляют 11 видов рода *Vorticella* (*V. acus sp. nova*, *V. aerotensi*, *V. alba*, *V. campanula*, *V. convallaria*, *V. extensa*, *V. hamata*, *V. monilata*, *V. ovum*, *V. picta*, *V. striata*) — 50,0% и 2 вида рода *Epistylis* (*E. bimarginata*, *E. plicatilis*) — 9,0%.

Кругоресничные инфузории, встречаясь на различных находящихся под водой предметах (коряги, камни и др.), на растениях и животных (циклопидах), являются неперменной составной частью перифитона. Каждое из разнообразных мест обитания создает свои, часто специфические условия для существования *Peritricha*, что, в свою очередь, вызывает появление различных адаптаций.

Растения в целом создают условия, благоприятные для жизни эпибионтов. Питание здесь обеспечивается повышенной концентрацией органических веществ, бактерий и мелких одноклеточных в растительных зарослях, аэрация обеспечена за счет фотосинтеза. При волнении в водоемах, особенно на литорали, где располагается основная масса водной растительности, создается угроза травмирования и отрыва кругоресничных инфузурий. Это определяет специфику адаптаций *Peritricha* к жизни на растениях. Среди исследованных растений наиболее густо заселенными оказались ряска малая (*Lemna minor*), ряска трехлопная (*Lemna trisulca*), водоросли (*Cladophora*). Объяснить это можно тем, что эти растения образуют густые заросли. Внутри клубков, образованных переплетением талломов *Cladophora*, кругоресничные инфузории находят благоприятные условия существования - отсутствие течения, обилие корма, хорошую аэрацию. Подобные же условия создаются под слоем ряски, на поверхности ее листочков и корней. Кроме того, кругоресничные инфузории были отмечены на остатках растений, произрастающих по берегам водоемов: видов осок (*Carex*), стрелолиста (*Sagittaria*), камыше озерном (*Scirpus lacustris*), телорезе (*Stratiotes aloides*).

Возможность обитания на грунте, детрите и других неподвижных предметах во многом зависит от качества воды в водоеме: степени ее загрязненности, концентрации пищевых веществ, силы течения. Чаще всего заселяются пустые раковины моллюсков (прудовик обыкновенный — *Limnaea stagnalis*), частицы детрита, растительные остатки, камни в прибрежных зонах водоемов, а также в местах со слабым течением и богатой органикой.

В пресных континентальных водоемах из животных обильнее и разнообразнее других заселяются инфузориями рачки семейства Cyclopidae. Этот факт отметил Фенхел [8] в монографии по экологии простейших. Е.Г. Бошко [9] указала, что из 44 видов эпибионтов речного рака перитрихи представлены 30 видами. Французские авторы [10] насчитали 50 видов кругоресничных инфузурий только для жаберной полости ракообразных. По подсчетам Н.Н. Баниной с соавторами [11], на ракообразных обитает около 1/3 всех видов перитрих. Важным условием, регулирующим распределение кругоресничных инфузурий на живых организмах, является расчлененность тела заселяемых

объектов (циклопид). Тело циклопид расчленено на сегменты и не покрыто головогрудным панцирем. Сегментация тела обеспечивает достаточный выбор места прикрепления кругоресничными инфузуриями. Циклопы используют обрастание перитрихами как маскировку для защиты от нападения хищников. Для эпизойных видов кругоресничных инфузурий в обследованных водоемах Омска и Омской области в качестве субстрата для прикрепления и носителя отмечено 6 видов циклопид, относящихся к трем родам: *Acanthocyclops* Kiefer, *Eucyclops* Claus и *Macroscyclops* Claus.

Род *Acanthocyclops* представлен двумя видами: *A. gigas* и *A. viridis*. Род *Eucyclops* — тремя видами: *E. serrulatus*, *E. macrurus* и *E. macruroides*. Для рода *Macroscyclops* отмечен один вид — *M. fuscus*.

Инфузории с различной сократимостью стебля обладают неодинаковой специфичностью к рачкам-носителям. Наиболее активно инфузории прикрепляются к циклопидам родов *Acanthocyclops* и *Eucyclops*. Так, рачки *A. gigas* и *A. viridis* несут на поверхности своего тела по 5 видов эпизоев, что составляет 27,7% от общего числа видов *Peritricha*. По 5 видов инфузурий несут бентосные виды рачков *E. macruroides* и *E. serrulatus*, а для *E. macrurus* отмечено заселение 6 видами эпизоев, что составляет 33,3% от общего числа видов кругоресничных инфузурий. На поверхности тела *Macroscyclops fuscus* обнаружено 4 вида рода *Vorticella*, что составляет 21,0% от всего видового разнообразия *Peritricha* из исследованных водоемов Омска и Омской области.

Таким образом, наблюдаются значительные отличия в характере специфичности эпизоев к представителям различных родов Cyclopidae. Акантоциклопсы совершают активные вертикальные миграции, т.е. находясь и в планктоне, и в бентосе водоемов, причем, являясь рачками-хватателями, особи данного рода охотятся как у дна, так и в толще воды. Эуциклопсы являются исключительно бентосными обитателями, рачками-собирателями. Таким образом, можно предположить, что перитрихи предпочитают бентосные виды рачков для заселения.

Вероятно, что на такое распределение эпизоев оказывают влияние и размеры тела носителя, и их образ жизни. Важнейшим фактором, определяющим преимущественное прикрепление того или иного эпизою к особям того или иного вида рачков, являются сезонная динамика численности эпизоев и их носителей - циклопид. Как правило, в конце весны (май), летом и в начале осени (сентябрь) численность кругоресничных инфузурий достигает максимальных значений, а пик численности циклопид приходится чаще всего на вторую половину лета и начало осени.

Разные группы прикрепленных *Peritricha* по-разному адаптируются к эпибионтному существованию. Их морфофизиологические особенности (колониальность видов рода *Epistylis*; строение и сократимость стебельков — сократимые у видов рода *Vorticella* и несократимые у представителей рода *Epistylis*; форма перистомы и др.) определяются качеством субстратов прикрепления и условиями водной среды (обилие пищи, условия аэрации и т.д.).

При обитании на различных животных для кругоресничных инфузурий наиболее важными являются следующие особенности носителя: характер поверхности, к которой прикрепляется ин-

фузория (гладкая, шероховатая, мягкая, твердая) и степень подвижности объекта прикрепления. Вероятно, подвижность циклопов является наиболее важной для перитрих, определяющей их прикрепление именно к рачкам. При активном движении циклопа возникает определенная компенсация отсутствию подвижности у самих инфузорий, расширяется доступная для питания зона воды, улучшаются условия аэрации, к которой все *Peritricha* очень чувствительны.

С другой стороны, возникает непосредственная угроза отрыва инфузорий от носителя и их повреждения встречным движением токов воды. Эта угроза тем сильнее, чем активнее и быстрее движутся циклопы — носители кругоресничных инфузорий. В таких условиях большое значение приобретает структура тела носителя: степень его расчлененности, присутствие на нем волосков, щетинок и других покровных образований, которые *Peritricha* могут использовать для укрытия и защиты. Но при этом осложняется поглощение пищи из воды и ухудшаются условия аэрации.

Связь с объектом прикрепления проявляется у эпибионтных кругоресничных инфузорий в свойствах избирательности и специфичности.

Следует отметить, что несколько видов кругоресничных инфузорий (*Vorticella communis*, *V. fromenteli*, *V. hyaline*, *V. nutans*, *Epistylis urceolata*) встречаются только на циклоподах, что говорит об узкой специфичности эпизоев к их носителям — пресноводным циклоподам.

Отношения сидячих инфузорий с циклоподами в большинстве носят характер симбиоза типа квартиранства, т.к. обитание на разного рода объектах является непременным условием существования инфузорий этой группы. Часто эти отношения приобретают характер комменсализма.

Следовательно, кругоресничные инфузии являются типичными прикрепленными организмами и в качестве субстрата они предпочитают живые организмы. Среди эпибионтных видов *Peritricha* имеется целая система взаимоотношений с заселяемыми организмами, отличающаяся различной степенью близости и взаимозависимости.

Анализ особенностей видового состава и взаимодействия эпизоев с носителями позволяет сделать вывод о приуроченности перитрих к пресноводным циклоподам. Это, в свою очередь, объясняется тем, что ракообразные (*Cyclopidae*) являются группой организмов, на поверхности которых кругоресничные инфузии находят наиболее оптимальные условия обитания.

Библиографический список

1. Stein F. Der Organismus der Infusionsthier. 1859. - 160 p.
2. Kahl A. Urtiere oder Protozoa, Wimpertiere oder Ciliata. IV. Peritricha und Honotricha. - In: Dahl. F. Die Tierwelt Deutschlands. Berlin, 1935, Bd 30, 4.
3. Corliss J.O. An interim utilitarian («User-friendly») hierarchical classification and characterization of the protists. Acta Protozoologica, 1994.
4. Янковский А.В. Конспект новой системы Ciliophora // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. - Л.: 1980. - Т. 94.
5. Adl et al. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists // J. Eukaryotic Microbiology, 2005. V. 52, 5. — pp. 399-459.
6. Raabe Z. The taxonomic position and rank of Peritricha // Acta Protozoologica. 1964. Vol. 2. № 2.
7. Серавин Л.Н., Герасимова З.П. Некоторые особенности ультраструктурного строения фибриллярных структур кругоресничных инфузорий // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1979. Т. 86.
8. Fenchel T. Ecology of Protozoa. Berlin, 1987. 197 P.
9. Бошко Е.Г. Симбионты речных раков водоемов прибрежной Украины: Автореф. дис... канд. биол. наук. М., 1986. 25 с.
10. Arvy L., Batisse A., Lacombe D. Peritriches epizoiques le chambre branchiale de Balanidae: *Epistylis nigrelli* n. sp. et *Epistylis horizontalis* (Chatton, 1930) // Ann. Parasitol. Paris, 1969. Vol. 44, № 4. P. 351-374.
11. Банина Н.Н., Бойцова И.А., Полякова Л.Н. Сидячие перитрихи как эпибионтные организмы // Изв. ГосНИОРХ. - 1977. — Т. 119. - С. 53-73.

ЖИРНОВА Евгения Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.
© Жирнова Е.В.

Книжная полка

Акаева М.Д. Звезды науки. — 2-е изд. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. - 279 с.

В увлекательной и популярной форме известный автор книг для юношества — профессор Майрам Дуйшеновна Акаева — рассказывает о выдающихся ученых прошлого и настоящего. У каждого из них свой непростой, подчас наполненный самыми непредсказуемыми приключениями, путь к постижению неведомой ранее истины. Тем дороже победы, венчающие самоотверженный труд гениев во имя человеческого прогресса.

Книга будет полезна учащимся старших классов, студентам, преподавателям и широкому кругу читателей.

Пиннекер Евгений Викторович. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. - 245 с.

Книга посвящена незаурядной личности и разносторонней деятельности члена-корреспондента РАН Е.В. Пиннекера (1926-2001) — выдающегося и признанного во всем мире ученого, лидера российских гидрогеологов, обогатившего все разделы гидрогеологии новыми знаниями, энциклопедиста, знатока подземных вод Сибири. Многие годы Е.В. Пиннекер являлся также активным членом общества российских немцев "Возрождение". В книгу включены более трех десятков очерков-воспоминаний родных, друзей, коллег, которые близко знали Е.В. Пиннекера и высоко ценили его научный талант и личные качества. Искренним уважением, почитанием, восхищением, благодарностью и признательностью этому видному ученому и просто хорошему Человеку пронизаны все очерки.

Книга представляет интерес для широкого круга читателей — геологов, гидрогеологов, ученых и практиков.

ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПАЗАРИТИЧЕСКИХ ПРОСТЕЙШИХ РЫБ ИЗ НЕКОТОРЫХ ВОДОЁМОВ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье приводятся данные по качественному составу экто- и эндопаразитических простейших обитателей рыб из некоторых водоемов лесостепной зоны Омской области.

Введение

Простейшие, обитающие у рыб бассейна реки Иртыш в пределах Омской области, изучены чрезвычайно недостаточно. Но это не значит, что простейшие – паразиты рыб не изучены для других регионов России. Следует отметить публикации А.Ф. Кошевой (1951), Е.А. Богданова (1956, 1961), Н.А. Изюмова (1958, 1977), В.А. Черенковой (1968), Л.М. Кириченко (1974), И.Я. Колесниковой (1996), А.Г. Чепурной (2003, 2004), А.Е. Жохова, Н.М. Молодженковой (2006) и др. Но в большинстве указанных и других работ отечественных исследователей основной упор делается на рассмотрение особенностей качественного и количественного состава, прежде всего, паразитических простейших, ценных для рыболовства и прудового хозяйства рыб (осетровые, лососевые и т.п.), тогда как менее ценные, так называемые сорные рыбы, в данном отношении подлежат второстепенному рассмотрению.

Данный подход представляется нам не совсем верным, т.к. ихтиофауна того или иного водоема – это комплекс видов со своими сложными взаимосвязями. И не последнюю роль в осуществлении взаимосвязей между отдельными видами рыб играют многообразные эктобионтные и паразитические простейшие, использующие ихтиообъекты как среду для своей жизнедеятельности.

Материал и методика

В июне – августе 2004 – 2006 гг. были подвергнуты паразитологическому анализу особи различных видов рыб разного возраста из озера Ик Крутинского района, реки Иртыш (окрестности села Усть-Заостровка Омского района) и протоки Иртыша у села Луговое Таврического района Омской области. Всего для паразитологического анализа было выловлено 2232 особи рыб (см. табл. 1). Определение видов простейших производилось по широко известным пособиям: «Определитель па-

Таблица 1

Видовой состав рыб и суммарная интенсивность инвазии простейшими (Омская область, 2004 – 2006 гг.)

Вид рыбы	Кол-во видов паразитов	Кол-во особей в экз. / Кол-во зараженных простейшими особей	Экстенсивность инвазии в %	Место отлова
1. Карась серебряный	30	560 560	100	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
2. Карась золотой	14	225 221	98,2	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
3. Карась амурский	2	67 65	97,1	Усть-Заостровка
4. Плотва сибирская	25	454 432	95,2	Усть-Заостровка, Луговое
5. Елец обыкновенный	5	136 124	91,2	Усть-Заостровка, Луговое
6. Лещ	14	256 201	78,5	Усть-Заостровка, Луговое
7. Язь	13	102 93	91,1	Усть-Заостровка, Луговое
8. Щука обыкновенная	11	45 45	100	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
9. Окунь речной	11	289 246	85,1	Усть-Заостровка, Луговое
10. Ерш обыкновенный	5	98 56	57,1	Усть-Заостровка, Луговое
Всего особей		2232	92,2	
Кол-во зараженных особей		2057		

Таксономический состав и встречаемость паразитических простейших у рыб из некоторых водоемов Омской области (2004 – 2006 гг.)

Виды простейших	Виды рыб	Водоемы
1. <i>Trypanosoma carassii</i>	карась серебряный, щука	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
2. <i>Eimeria carpelli</i>	карась серебряный, плотва, язь, щука	Луговое
3. <i>Myxidium rhodei</i>	карась серебряный, плотва, язь, лещ	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
4. <i>Zschokkella nova</i>	карась серебряный, язь, плотва, лещ	Луговое
5. <i>Sphaerospora carassii</i>	плотва, карась серебряный, карась золотой, карась амурский, лещ	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
6. <i>Chloromyxum cyprini</i>	карась серебряный, карась амурский	Луговое, Усть-Заостровка
7. <i>Ch. fluviatile</i>	карась серебряный, плотва, язь	оз. Ик, Луговое
8. <i>Ch. legeri</i>	карась серебряный, плотва	оз. Ик, Луговое
9. <i>Mухоболus baueri</i>	карась серебряный	оз. Ик
10. <i>M. carassii</i>	карась серебряный, плотва, язь, окунь, лещ	оз. Ик, Луговое
11. <i>M. cyprini</i>	карась серебряный, плотва, язь, лещ	Луговое, Усть-Заостровка
12. <i>M. dispar</i>	карась серебряный, плотва, язь, окунь, щука	Луговое
13. <i>M. diverscapsularis</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва	оз. Ик, Луговое
14. <i>M. dogieli</i>	карась серебряный	оз. Ик
15. <i>M. ellipsoides</i>	карась серебряный, плотва, язь, елец, ерш, окунь	Луговое
16. <i>M. exiguus</i>	карась серебряный, плотва, елец, щука, окунь	оз. Ик, Луговое
17. <i>M. kubanikus</i>	карась серебряный, карась золотой, лещ	Усть-Заостровка, Луговое
18. <i>M. macrocapsularis</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
19. <i>M. muelleri</i>	карась серебряный, карась золотой, елец, язь, лещ, плотва, щука, ерш, окунь	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
20. <i>M. musculi</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, язь, лещ	Усть-Заостровка, Луговое
21. <i>M. rotundus</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, елец, язь, лещ	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
22. <i>Thelohanellus pyriformis</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, язь	оз. Ик, Луговое
23. <i>Ichthyophthirius multifiliis</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, лещ, язь, елец, щука	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
24. <i>Apiosoma olae</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, лещ, щука, окунь, ерш,	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
25. <i>Trichodina acuta</i>	карась серебряный, плотва, окунь, ерш, щука	оз. Ик, Луговое
26. <i>T. nigra</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, лещ, щука, окунь	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
27. <i>T. pediculus</i>	карась серебряный, лещ, плотва, окунь, щука	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
28. <i>T. reticulata</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
29. <i>Trichodinella epizootica</i>	карась серебряный, карась золотой, плотва, лещ, щука, ерш, окунь	оз. Ик, Усть-Заостровка, Луговое
30. <i>T. subtilis</i>	карась серебряный, карась золотой	оз. Ик, Луговое

разитов пресноводных рыб СССР» (1962) и «Определитель паразитов пресноводных рыб. Паразитические простейшие» (1984). Система простейших, принятая в данной работе, соответствует современным представлениям о таксономии царства Protozoa (Adi et al., 2005; Карпов, 2005).

Результаты

Паразитические Protozoa у 10 видов рыб в обследованных водоемах бассейна реки Иртыш представлены 5 типами: Euglenozoa – 1 вид, Apicomplexa – 7 видов, Microsporidia – 1 вид, Мухозоа 13 видов и Ciliophora – 8 видов. Всего у карася серебряного в обследованных водоемах отмечено 30 видов паразитических простейших (табл. 2). Лидером по видовому разнообразию является род *Мухоболus* (Мухозоа), представленный 13 видами, что составляет 43,3% от общего видового состава паразитических простейших карася. Ему значительно уступает идущий на втором месте род *Trichodina* (Ciliophora), представленный 4 видами, или 13,3%.

Третьим по видовому разнообразию является род *Chloromyxum* (Apicomplexa) – 3 вида, или 10,0% от общего видового состава паразитических простейших карася (табл. 2). Ему уступает род *Trichodinella* (Ciliophora) – 2 вида, или 6,7%. Все остальные роды представлены каждый одним видом. Таким образом, по видовому разнообразию лидируют микроспоридии, которые представлены видами одного рода *Мухоболus*.

Высокие показатели экстенсивности инвазии отмечены для карася серебряного, у которого отмечены все 30 видов паразитических простейших (табл. 2). Все отловленные особи карася серебряного были заражены паразитическими простейшими. Но видовое разнообразие простейших у особей карася из разных водоемов было различным. Наибольшее число видов паразитов было встречено у карася из протоки Луговое – 29, или 96,7%. В озере Ик видовое разнообразие простейших у карася серебряного несколько меньше – 24 вида, или 80,0%. Наименьшее видовое разнообразие паразитичес-

ких простейших зарегистрировано у карася из реки Иртыш — 16 видов, или 53,3% от общего числа обнаруженных видов. Во всех указанных водоемах лидируют представители рода *Myxobolus*. Для карася серебряного отмечены специфичные виды, т.е. обнаруженные только у него: *Myxobolus baueri* и *M. dogieli*, причем оба эти вида обнаружены только у карася озера Ик. Вид *Chloromyxum cyprinid* занесены в бассейн Иртыша из бассейна Амура вместе с карасем амурским.

По видовому разнообразию паразитических простейших на втором месте находится плотва сибирская — 25 видов, или 83,3%. Специфичных для плотвы видов простейших, как, впрочем, и для других видов рыб, кроме карася, не обнаружено (табл. 1, 2). Экстенсивность инвазии плотвы различными простейшими очень высока — 95,2%. Лидируют, как и в первом случае, виды рода *Myxobolus* — 10 видов, или 76,9% от состава рода для обследованных водоемов. Триходиназис для плотвы отмечен во всех водоемах. При этом только один вид — *Trichodina acuta* не обнаружен у плотвы реки Иртыш (Усть-Заостровка), оставшиеся три вида обнаружены во всех водоемах (табл. 2).

Все остальные виды карповых, отмеченные для обследованных водоемов, имеют разное видовое разнообразие паразитических простейших от 2 до 14 видов, причем для большинства из них лидирующими остаются все те же микроспоридии. Лишь у карася амурского были обнаружены только представители *Aricomplexa* (табл. 2).

Интересной является протофауна хищных рыб. Несомненно тот факт, что все карповые - пищевые объекты хищных рыб, а наиболее предпочитаемыми из них в обследованных водоемах являются плотва и карась. В результате наших исследований было установлено, что паразитические простейшие карповых в большинстве случаев являются таковыми и для щуки, окуня речного и даже ерша обыкновенного. Вероятно, заражение хищников происходит при их питании карповыми рыбами (табл. 2).

Заключение

Таким образом, в некоторых естественных водоемах лесостепи Омской области отмечен высокий уровень экстенсивности инвазии у разных видов рыб различными паразитическими простейшими. Таксономическое разнообразие паразитов в обследованных водоемах распределяется крайне неравномерно. Больше всего таксонов для большинства видов рыб обнаружено в протоке Луговое и озере Ик и меньше всего — в реке Иртыш. Столь неравномерное распределение разнообразия объясняется неодинаковой степенью изученности отдельных водоемов на территории Омской области. Среди обнаруженных 30 видов паразитических простейших вид *Chloromyxum cyprinid* является акклиматизантом. Он сохранил приуроченность к своему прежнему хозяину (карасю амурскому), но

при этом перешел на аборигенный вид рыб (карась серебряный).

Библиографический список

1. Богданова Е. А. Паразитофауна молоди карповых рыб нерестово-выростных хозяйств дельты Волги: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л.: ВНИОРХ. 1956. 19 с.
2. Богданова Е. А. Паразитофауна некоторых промысловых видов рыб Волги до образования Сталинградского водохранилища // Тр. совещ. Ихтиологической комиссии АН СССР, 1961. Вып. 10. С. 169-177.
3. Жохов А.Е., Молодожникова Н.М. Таксономическое разнообразие паразитов рыб: обобщение и рыб бассейна Волги. I. Паразитические простейшие (Protozoa) // Паразитология, т. 40, Вып. 3, 2006. С. 244-274.
4. Изюмова Н. А. Сезонная динамика паразитофауны рыб Рыбинского водохранилища (лещ, чехонь, судак, окунь) // Тр. биол. станции «Борок». 1958. Вып. 3. С. 384—398.
5. Изюмова Н. А. Паразитофауна рыб водохранилищ СССР и пути ее формирования. Л.: Наука, 1977. 284 с.
6. Карпов С.А. Система простейших: история и современность // СПб.: Тесса, 2005. — 72 с.
7. Кириченко Л. М. Возрастная динамика паразитофауны сазана и карпа в прудхозах Волгоградской области // Вопросы паразитологии животных юго-востока СССР. Волгоград, 1974. С. 18-25.
8. Колесникова И.Я. Экология и фауна паразитических простейших рыб Рыбинского и Шекснинского водохранилищ: Дис. ... канд. биол. наук. Борок: ИБВВ РАН, 1996. 266 с.
9. Кошева А. Ф. Роль питания и образа жизни в формировании паразитофауны карповых рыб// Тр. Татарского отд. ГОСНИОРХ. 1951. Вып. 6. С. 196-216.
10. Определитель паразитов пресноводных рыб СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 776 с.
11. Определитель паразитов пресноводных рыб. Т. 1. Паразитические простейшие. Л.: Наука, 1984. 428 с.
12. Чепурная А. Г. Микроспоридиозы рыб дельты Волги. Всерос. науч.-практич. конф. «Проблемы патологии, иммунологии и охраны здоровья рыб и др. гидробионтов». Тез. докл. М., 2003. С. 135.
13. Чепурная А. Г. Эколого-паразитологический мониторинг в прудовых хозяйствах дельты Волги и болезни рыб. Сб. науч. тр. ФГУП «ВНИИПРХ». М.: Изд-во «Компания «Спутник», 2004. Вып. 79. С. 183-189.
14. Черенкова В. А. Паразитофауна малоценных и сорных рыб Свяжского залива Куйбышевского водохранилища и вопр. паразитол. Уч. зап. Казанского ун-та. Казань: Изд-во КГУ, 1968. Т. 126, вып. 3. С. 112-13.
15. Adl et al. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. J. Eukaryot. Microbiol., 52 (5), 2005. — p. 399-432.

ЛИХАЧЁВ Сергей Федорович, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии.
ГУБАНОВ Евгений Евгеньевич, аспирант.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.
© Лихачев С.Ф., Губанов Е.Е.

Книжная полка

Потякин В.И. Лесозэксплуатация: учебник / В.И. Потякин, Э.О. Салминин, Ю.А. Бит и др. - М.: ИЦ «Академия», 2006. — 384 с.

В учебнике рассматриваются существующие технологии лесозаготовок и транспорта леса, применяемое оборудование, машины и механизмы, лесопользование в зависимости от грунтоводогеологических условий, требований охраны окружающей среды.

Для студентов вузов. Рекомендовано Минобразованием России.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ ЭНДОБИОНТНЫХ ИНFUZОРИЙ В РАЗНЫХ ОТДЕЛАХ ЖЕЛУДКА ЛОСЯ

В статье приведены оригинальные данные по видовому составу и распределению эндобионтных инфузорий в разных отделах желудка лося.

Введение

Инфузории пищеварительного тракта травоядных млекопитающих относятся к царству Protozoa Coldfuss, 1818, типу Ciliophora Doflein, 1901, классу Ciliata Petry, 1852. Они известны с середины 19 века по работе Gruby и Delafond, в которой был дан список простейших из кишечника лошади, желудка собаки, свиньи и быка с кратким описанием видов [1]. Все последующие исследования эндобионтных простейших во второй половине 19 века содержали сведения об инфузорной фауне преимущественно сельскохозяйственных животных [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Первая половина 20 века была ознаменована важнейшими открытиями в изучении фауны эндобионтных инфузорий жвачных. В этот период были опубликованы работы отечественных протозологов Г. Гассовского, В.А. Догеля, А.А. Стрелкова [13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] и зарубежных ученых [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28], которые посвящены изучению эндобионтных инфузорий как сельскохозяйственных, так и диких травоядных млекопитающих.

В настоящее время в протозоологической литературе периодически появляются описания новых видов и форм эндобионтных инфузорий, в основном из пищеварительного тракта копытных, и в частности, несколько таких работ посвящены новым инфузориям из рубца антилопы большой куду — *Tragelaphus strepsiceros* [29], антилопы «болотный козел» — *Kobus leche kafuensis* [30], буйвола — *Bubalus bubalis* [31, 32], американского лося — *Alces americana* [33]. Особый интерес представляет цикл работ, посвященных инфузориям пищеварительного тракта сумчатых, в значительной степени изменивших взгляды на филогению и систематику эндобионтных инфузорий. Описаны новые виды из кенгуру, валлаби и других австралийских сумчатых [34, 35].

Отделы желудка лося (*Alces alces*) и родственных ему других жвачных являются местом обитания большого числа очень разных по морфологии и систематическому положению видов инфузорий. Но до сих пор фауна и жизненные циклы большинства известных видов эндобионтных инфузорий, обитающих в желудке жвачных, и их влияние на организм хозяина изучены недостаточно.

Методика исследования

Материал был собран в 2002 - 2005 гг. из лосей с территорий Челябинской, Тюменской и Омской

областей. Из разных отделов желудка 12 особей лося было собрано 600 проб (по 50 проб из каждой особи). Дополнительно брали пробы из отделов кишечника каждой особи: слепой кишки, прямой кишки и толстого кишечника. Пробы фиксировались 4% формалином. Материалы были получены на 2-х марках световых микроскопов БиоМед-2 и МБИ-6 с фазово-контрастным устройством. Фиксированные инфузории подсчитывались в полях зрения и в счетной камере Горяева. Подсчет численности инфузорий проводился методом «калиброванной капли», т.е. считались все трофозоиты инфузорий, попавшие в каплю объемом 0,1 мл при разведении пробы в фиксаторе в соотношении 1:2. Определение видов проведено по таблицам офриоскопии [11, 12]. Весь собранный материал обработан стандартными статистическими методами с применением программы «Statistica V6.0».

Результаты

Инфузории желудка лося относятся к форгутным — т.е. населяющим только желудок. В пробах, взятых из различных отделов кишечника лося, инфузории не обнаружены. Наиболее многочисленным по количеству видов является рубец, в котором нами обнаружено 15 видов инфузорий (табл. 1).

Наиболее многочисленны инфузории рода *Entodinium*, средняя численность всех обнаруженных видов которого составила 258,9 ос/мл, что составляет 75% от общей численности инфузорий рубца. Самыми многочисленными видами данного рода являются: *E. nanellum*, *E. simplex*, *E. exiguum*, *E. longinucleatum*, *E. caudatum*, которые вместе составляют 87% от общей численности всех видов рода, обитающих в рубце. Самым многочисленным видом рода является вид *E. nanellum* — 65,2 ос/мл, что составляет 25% от общей численности видов рода *Entodinium* в рубце и 18,8% от общей численности инфузорий всех видов, населяющих рубец.

Род *Diplodinium* представлен в рубце лося четырьмя видами, самым многочисленным из которых является *D. monacanthum* — 33,2 ± 0,1 ос/мл. Все 4 вида имеют среднюю численность 50,1 ± 0,9 ос/мл, что составляет 14,4% от общей численности инфузорий рубца. На втором месте находится вид *D. rangiferi* с численностью 14,1 ± 1,2 ос/мл, что составляет 28% от общей численности видов рода в рубце. Виды *D. bubalidis consors* и *D. bubalidis bubalidis* относятся к редко встречающимся и вместе составляют 5,5% от общей численности видов

Таблица 1

Численность инфузорий в отделах желудка лося

Виды инфузорий	Рубец (ос/мл ± x)	Сетка (ос/мл ± x)	Книжка (ос/мл ± x)
Род <i>Entodinium</i>			
<i>E. bursa</i>	7,4 ± 0,6	-	-
<i>E. alces</i>	3,1 ± 0,2	1,3 ± 0,2	-
<i>E. nanellum</i>	65,2 ± 8,3	29,4 ± 3,3	2,6 ± 0,6
<i>E. ovinum</i>	1,8 ± 0,4	-	-
<i>E. simplex</i>	36,8 ± 8,1	14,1 ± 3,6	-
<i>E. caudatum</i>	26,4 ± 4,2	18,5 ± 2,4	-
<i>E. simulans-dubardi</i>	1,1 ± 0,1	-	-
<i>E. exiguum</i>	40,8 ± 5,4	33,6 ± 5,3	11,8 ± 1,3
<i>E. longinucleatum</i>	56,3 ± 4,3	12,6 ± 2,1	-
Общая численность видов рода <i>Entodinium</i> / кол-во видов	238,9 ± 11,9 / 9	125,5 ± 6,9 / 6	14,4 ± 1,9 / 3
Род <i>Epidinium</i>			
<i>E. ecaudatum-ecaudatum</i>	22,6 ± 0,2	11,4 ± 0,2	-
Род <i>Diplodinium</i>			
<i>D. monacanthum</i>	33,2 ± 0,1	-	-
<i>D. rangiferi</i>	14,1 ± 1,2	-	-
<i>D. bubalidis bubalidis</i>	1,6 ± 0,3	-	-
<i>D. bubalidis consors</i>	1,2 ± 0,3	-	-
Общая численность видов рода <i>Diplodinium</i> / кол-во видов	50,1 ± 0,9 / 4		
Род <i>Dasytricha</i>			
<i>D. ruminantium</i>	14,2 ± 0,3	9,1 ± 0,3	1,4 ± 0,3

рода в рубце. Следует отметить, что все виды рода *Diplodinium* были встречены только в рубце лося, в книжке и сетке ни один из найденных в рубце видов не встречался.

Род *Epidinium* представлен одним видом — *E. ecaudatum-ecaudatum* с частотой встречаемости 22,6 ± 0,2 ос/мл, что составляет 6,5% от общей численности инфузорий рубца.

Инфузории рода *Dasytricha* представлены в желудке лося одним видом *D. ruminantium* с частотой встречаемости в рубце 14,2 ± 0,3 ос/мл, что составляет около 4% от общей численности инфузорий в рубце.

Самым многочисленным родом, составляющим основу инфузорной фауны рубца лося, является род *Entodinium*, большинство видов которого являются часто встречающимися и составляют 75% от числа всех встреченных нами видов инфузорий в рубце. Представители рода *Diplodinium* были встречены только в рубце, и общая численность видов данного рода равна 14,4% от численности всех встреченных инфузорий в рубце. Роды *Epidinium* и *Dasytricha* представлены каждый одним видом и вместе составляют 10,5% от общего числа встреченных в рубце видов.

При исследовании сетки желудка 10 особей лося мы обнаружили 8 видов инфузорий. Инфузории рода *Entodinium* занимают в сетке лидирующее место и составляют 86% от общей численности всех видов инфузорий сетки. Самым многочисленным видом инфузорий, обитающих в сетке, является *E. exiguum* с частотой встречаемости 33,6 ± 5,3 ос/мл, что составляет 23% от общей численности видов инфузорий сетки.

Род *Epidinium* представлен одним видом — *E. ecaudatum-ecaudatum*, который по частоте встре-

чаемости относится к обычному типу и составляет 7,8% от общей численности инфузорий сетки.

Род *Dasytricha* также представлен одним видом — *D. ruminantium*, который относится к обычному виду с частотой встречаемости 9,1 ± 0,3 ос/мл, что составляет 6,2% от общей численности инфузорий рубца. Инфузории рода *Diplodinium* не встречались в сетке.

Книжка является самым малочисленным по количеству инфузорий отделом желудка лося. Общая численность всех видов инфузорий книжки составляет 15,8 ± 2,2 ос/мл. Инфузорная фауна книжки представлена 3 видами инфузорий, два из которых относятся к роду *Entodinium*, численность которых составляет 91% от общей численности инфузорий в книжке. Самым многочисленным видом инфузорий книжки является *E. exiguum* с частотой встречаемости 11,8 ± 1,3 ос/мл, что составляет 75% от общей численности всех видов инфузорий книжки. Род *Dasytricha* представлен видом *D. ruminantium*, который в сетке является редко встречающимся видом и составляет 8,8% от общей численности всех видов инфузорий книжки. Представители рода *Diplodinium* при исследовании книжки нами не обнаружены.

Заключение

Эндобионтные инфузории желудка лося *Alces alces*, обитающего на территории Челябинской, Тюменской и Омской областей, как, впрочем, и всей Евразии, прежде не были изучены. Эти своеобразные простейшие, обнаруженные в пищеварительном тракте различных травоядных млекопитающих и у некоторых видов хозяев, отличающиеся многообразием видов (например, у лошадей количество видов превышает 100), у лосей имеют низ-

кое видовое разнообразие — всего 15 видов. В рубце желудка лося обнаружены все 15 видов, причем частота их встречаемости в пробах и численность наиболее высокие. В сетке видовое разнообразие инфузорий значительно ниже, чем в рубце — 8 видов. Значительно ниже и частота встречаемости в пробах, и численность, как отдельных видов, так и в целом всего инфузорного населения по сравнению с рубцом. Книжка имеет бедный видовой состав (3 вида), низкую частоту встречаемости и численности эндобрионных инфузорий. Лидером по видовому разнообразию, частоте встречаемости и численности в целом и отдельных видов является род *Entodinium*. Это же констатирует В.А. Dehority [8] для североамериканского лося (*Alces americana*), но качественный состав рода *Entodinium* отличается от такового в нашем случае.

Исходя из полученных данных, можно утверждать, что по видовому составу, частоте встречаемости, численности и количеству конъюгирующих и делящихся особей именно рубец является наиболее оптимальным по условиям существования местом обитания эндобрионных инфузорий в желудке лося. Роль сетки как места обитания значительно снижается. Вероятно потому, что сетка является промежуточным отделом для инфузорий, при переходе через который особи видов эндобрионтов погибают. Книжка желудка лося является местом утилизации эндобрионных инфузорий, на что указывают не только низкое видовое разнообразие и численность инфузорий в этом отделе желудка, но и отсутствие конъюгирующих и делящихся особей эндобрионтов.

Библиографический список

1. Догель В.А. Простейшие - Protozoa. Малоресничные инфузории - Infusoria Oligotricha. Сем. Ophryoscolecidae. Определитель по фауне СССР. Изд. АН СССР. Л., 1929. - 96 с.
2. Корнилова О. А. Определитель инфузорий кишечника лошадиных: 2-е изд., исправл. и дополн. Омск: Полиграфист, 2003, с. 1-38.
3. Стрелков А.А. Паразитические инфузории из кишечника непарнокопытных семейства Equidae / Дисс. д-ра биол. наук // Уч. зап. ЛГПИ им. А. И. Герцена. 1939, 17 (7), с. 1-262.
4. Корнилова О.А., Шитова О.Б. Инфузории рубца сайги (*Saiga tatarica* L.) острова Барсакельмес // Уч. зап. биол. фак. ОмГПУ. Вып. 2, ч. 1. Омск, 1997. — С. 88-120.
5. Gruby D., Delafond O. Sur les animalcules développement dans l'estomac et les intestins plus avant digestion des animaux herbivores et carnivores // C.R. Acad. Sci. Paris, 1843. T. 17. - P. 1304-1308.
6. Stein F. Uber mehrere neue im Pansen der Wiederkauer lebende Infusionsthier / Abh. K. bohm. Ges. Wiss. 1859, [1857], 10, pp. 69-70.
7. Fiorentini A. Intorno ai protisti dell' intestino degli Equini. // Bol. Sci. med. 1890, 12, pp. 1 - 24, 51-60.
8. Dehority B. A. A new family of entodiniomorph protozoa from the marsupial forestomach, with descriptions of a new genus and five new species. // J. of Eucaryotic Microbiol., 1996, 43, - P. 285-295.
9. Гассовский Г.Н. К микрофауне кишечника лошади // Тр. Петроградск. общ. естеств. 1918 [1919], 49 (1). - С. 20-37, 65-69.
10. Догель В.А. Симбиотическое значение некоторых кишечных простейших. // Природа. 1928, 11. — С. 951-966.
11. Hsiung T. S. A monograph on the protozoan fauna of the large intestine of the horse. // Iowa St. Coll. J. Sci. 1930, 6, 4, pp. 359-423.
12. Jirovec O. Beobachtungen uber die Fauna des Rinderpanzens. // Zeitschr. f. Parasitenk., 1933, 5, pp. 584-591.
13. Sladeczek F. Ophryoscolecidae z bachoru jelena (*Cervus elaphus* L.), danka (*Dama dama* L.) a srnce (*Capreolus capreolus* L.) // Vest. Ceskosl. Zool. Spol., 1946, 10, pp. 201-231.
14. Kleynhans C. J. The rumen ciliate of greater kudu *Tragelephus sicerus* (Pallas) from South Africa, Zimbabwe with a description of one new species // South Afr. J. Zool. 1982. Vol. 17, № 1. - P. 11-14.
15. Van Hoven W., Gilchrist F. M. C, Stenson M. O. Six new ciliated protozoan species of Trichostomatida, Entodiniomorpha and Suctorida from the intestine of wild african rhinoceros. // Acta Protozool., 1998, 37 (2), pp. 113-124.
16. Imai S. Four new rumen ciliates, *Entodinium ogimoto* sp. n., *E. bubalum* sp. n., *E. fujitai* sp. n. and *E. tsunodai* sp. n. and *Oligoisotricha bubali* (Dogiel, 1928) n. comb. // Jap. J. Vet. Sci. 1981. Vol. 43, № 2. — P. 201-209.
17. Imai S. Rumen ciliate protozoal fauna of Bali cattle (*Bos javanicus domesticus*) and water buffalo (*Bubalus bubalis*) in Indonesia, with the description of a new species *Entodinium javanicum* sp. nov. // Zool. Sci. 1985. Vol. 2, № 4. - P. 591-600.
18. Dehority B.A. Rumen ciliate fauna of Alaskan moose (*Alces americana*), musk-ox (*Ovibos moschatus*) and Dall mountain sheep (*Ovis dalli*) // J. Protozool., 1974/ 21, pp. 26-32.
19. Cameron S. L. Taxonomy and phylogeny of endosymbiotic ciliates (Ciliophora: Litostomatea) associated with Australian herbivorous marsupials // Intern. J. Parasitol., 2003, 33, pp. 347-355.

КОРЧАГИНА Татьяна Александровна, старший преподаватель.

ЛИХАЧЁВ Сергей Федорович, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.

© Корчагина Т.А., Лихачев С.Ф.

Книжная полка

Развитие науки и техники в СССР, 1917–1941 годы / Ин-т истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова. — М.: Наука, 2006. — 25 л.

В статьях сборника сопоставлены процессы развития конкретных отраслей науки и техники с социальной жизнью общества, его экономическими, политическими, научно-культурными характеристиками. Включены разделы: «Социальные аспекты развития науки», «Естественные науки», «Технические науки», «Приложения». Среди наиболее интересных и актуальных публикаций: «Партия и наука в первые годы советской власти (написана на основе архивных материалов Ю. И. Кривоноговым)», «Трагическая судьба отечественной евгеники» (подготовлена Р. А. Фондо), «План ГОЭЛРО — пример созидательной деятельности новой власти» (подготовлена В. Л. Гвоздецким, О. Д. Симоненко).

Для научных работников, преподавателей естественных и технических дисциплин, историков, социологов науки и техники, гражданских историков, широких кругов научной общественности.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ФОРГУТНЫХ ИНFUЗОРИЙ ОВЦЫ ДОМАШНЕЙ OVIS ARIES

В статье рассмотрен видовой состав инфузорий разных отделов желудка овцы домашней из разных хозяйств лесостепной зоны Омской области.

Введение

В мировой литературе известны две публикации, посвященные краткому обзору инфузорной фауны монгольских овец (Догель, 1929; Догель, Виноградова-Федорова, 1930) и пакистанских овец (Lubinsky, 1957). В данных работах отмечается наличие эндобионтных инфузорий в желудке овец, но, к сожалению, видовой состав эндобионтных инфузорий и их морфология не приводятся. Публикаций, посвященных эндобионтным инфузориям домашних овец (*Ovis aries*), в научной отечественной и зарубежной литературе до настоящего времени не было.

Материал и методика

Сбор материала проводился на территории Омской области в период с 2002 по 2005 год. Изучены биологические и экологические особенности домашней овцы, проведены полевые наблюдения за особенностями поведения, питания овец в весенне-летний период. На протяжении трех лет в осенне-зимние сезоны в центральной лесостепи Омской области в административных районах: Кормиловском (р.п. Кормиловка, д. Борки), Калачинском (г. Калачинск, д. Сорочино), Нижнеомском (с. Нижняя Омка) и южной лесостепи – Оконешниковском районе (с. Крестики) из разных отделов желудка 25 особей домашних овец было собрано 250 проб (т.е. по 10 проб из каждой овцы). Дополнительно брали пробы из кишечника каждой особи овцы: слепой кишки, толстого кишечника, прямой кишки. Пробы фиксировали 4% раствором формалина. Промежуток времени после забоя косули до взятия проб составлял не более 15-20 минут. Определение видов проведено по определительным таблицам офриосколецид (Догель, 1929; Стрелков, 1939; Корнилова, 2003) совместно с к.б.н., ст. преподавателем Баймаковой Л.Г. (кафедра «Медико-биологические основы», СибГУФК, г. Омск). Морфологию инфузорий для видового определения и составления дифференциальных диагнозов изучали на временных препаратах с применением гистохимических и цитохимических методик. Подсчет фиксированных эндобионтных инфузорий проводили в полях зрения или в счетной камере Горяева. Измерение инфузорий проводили окулярным микрометром на случайных выборках не менее 30 экземпляров каждого вида, а для встречаемости единично – не менее 10 – 25 экземпляров. Для определения процент-

ного соотношения видов просчитывались все инфузории в нескольких тотальных препаратах из каждой пробы. Подсчет численности инфузорий проводился методом «калиброванной капли», то есть считались все трофозоиты инфузорий в капле объемом 0,1 мл при разведении пробы в фиксаторе в строгом соотношении 1:2. Для сравнения фаун эндобионтных инфузорий у особей домашних овец разных населенных пунктов центральной и южной лесостепи Омской области были использованы коэффициент Жаккара-Мальшева ($K_{j,m}$) и индекс общности фаун Чекановского-Соренсена (Ics). Материал обработан стандартными статистическими методами и с помощью компьютерной программы «Statistica for Windows V5.».

Результаты

При исследовании пищеварительного тракта домашних овец населенных пунктов центральной и южной лесостепи Омской области было обнаружено 10 видов эндобионтных инфузорий, относящихся к 4 родам семейства Ophryoscolecidae и 2 родам семейства Isotrichidae (табл. 1). Основу населения эндобионтных инфузорий овец по видовому разнообразию, частоте встречаемости и численности составляют представители рода *Entodinium*. Он же имеет и высокую общую частоту встречаемости видов в пробах (от 27,1 до 35,7 %) у овец разных районов Омской области (табл. 1).

Наименьшая частота встречаемости в пробах отмечена для вида *Entodinium bursa* (от 0,1 до 1,4%), а по частоте встречаемости численности лидирующее положение занимают: *Entodinium nanellum*, *Ent. simulans - dubardi* и *Ent. caudatum* (от 0,1 до 27,4%).

Вид *Ent. nanellum* – наиболее встречаемый из всех найденных видов эндобионтных инфузорий в желудке домашних овец. Все эти виды инфузорий являются общими для всех обследованных особей хозяина, и поэтому их можно отнести к обычным видам с частой встречаемостью от 0,1 до 27,4 %.

Роды *Epidinium*, *Diplodinium*, *Ophryoscolex*, *Isotricha*, *Dasytricha* представлены каждый одним видом, и частота встречаемости примерно равна или несколько меньше таковой у видов рода *Entodinium* (табл. 1). Большинство видов, кроме 4 указанных рода *Entodinium*, можно отнести к обычным или к редко встречаемым видам.

Сравнительный анализ видовых составов эндобионтных инфузорий 50 особей овец из разных географических мест Омской области, проведенный с применением коэффициента Жаккара-Мальшева

Видовой состав эндобионтных инфузорий овец и встречаемость видов в пробах (%)

Виды инфузорий	Места взятия проб (природные зоны и административные районы)			
	центральная лесостепь			южная лесостепь
	Кормиловский	Калачинский	Нижнеомский	Оконешниковский
Род <i>Entodinium</i>				
<i>E. bursa</i>	1,4	1,1	0,1	1,3
<i>E. nanellum</i>	23,6	21,3	26,4	19,8
<i>E. caudatum</i>	6	6,7	6	8,7
<i>E. simulans - dubardi</i>	1,2	-	0,1	-
<i>E. ovinum</i>	3,5	-	2,3	-
Общая встречаемость видов рода	35,7	29,1	32,6	29,8
Род <i>Epidinium</i>				
<i>E. ecaudatum</i>	9	4	4	7
Род <i>Ophryoscolex</i>				
<i>Ophryoscolex caudatus</i>	1,7	1,3	1,4	-
Род <i>Diplodinium</i>				
<i>D. bubalidis ssp. bubalidis</i>	1,8	-	2,0	1,6
Род <i>Isotricha</i>				
<i>I. intestinalis</i>	9,8	8,1	5,6	8,1
Род <i>Dasytricha</i>				
<i>D. ruminantium</i>	7,3	-	5,3	6,5
Всего видов	10	6	10	7

(Kj-м) и индекса общности фаун Чекановского-Соренсена (Ics), показал их достоверное сходство. Уровень сходства, видовых составов у разных особей, живущих в разных хозяйствах лесостепной зоны Омской области, варьирует и зависит от общего числа видов инфузорий у овец одной зоны и числа общих видов у овец разных сравниваемых зон. Видовое многообразие инфузорий у овец разных районов варьирует от 3 до 10. Однако в пределах одной подзоны центральной лесостепи в разных ее районах число видов у разных особей незначительно, но варьирует от 6 (Калачинский район) до 10 (Нижнеомский район). У домашних овец одного из районов центральной лесостепи (Кормиловский район) и южной лесостепи (Оконешниковский район), соседствующих друг с другом, число видов инфузорий одинаково – 7. Наименьший уровень сходства отмечен для инфузорного населения овец центральной лесостепи (Калачинский район и Нижнеомский район) – Kj-м = 0,6 и Ics = 75%. Наибольшее значение сходства отмечено для видовых составов инфузорий из желудка овец центральной лесостепи (Кормиловский район) и южной лесостепи (Оконешниковский район) – Kj-м = 0,7 и Ics = 82,3 %.

Все найденные виды инфузорий являются форгутными, т.е. встречаются только в отделах желудка (табл. 2; рис.1). В других обследованных нами отделах пищеварительного тракта домашней овцы инфузории не обнаружены. По разнообразию видов и по большому количеству особей на 1 мл объема на первое место можно отнести инфузорную фауну домашних овец в рубце. В рубце отмечены все 10 найденных у домашних овец видов эндобионтных инфузорий. Наибольшая численность характерна для видов рода *Entodinium* – 105,2 ос/мл. Многочисленными являются виды *E. nanellum*, *E. caudatum*, которые в сумме дают 85,9 % от общей численности всех видов рода из рубца. Роды *Ophryoscolex*, *Epidinium*, *Diplodinium*, *Isotricha*,

Dasytricha представлены одним видом. Инфузорное население сетки преджелудка домашней овцы представлено 7 видами 4 родов, в сетке не обнаружены виды рода *Ophryoscolex*, *Diplodinium*. Основу видового состава сетки составляют 3 вида рода *Entodinium* – 53,9 ос/мл. Разнообразие видов эндобионтных инфузорий книжки значительно уступает по сравнению с инфузорной фауной рубца и сетки. В книжке обнаружено 4 вида из 3 родов. Представители рода *Diplodinium*, *Ophryoscolex* и *Epidinium* при исследовании книжки нами не обнаружены. Численность инфузорий книжки также невелика, всего 21,9 ос/мл. Однако из шести родов можно выделить 3 рода, 4 вида которых занимают лидирующее положение. Это род *Entodinium* с видами *Ent. caudatum*, *Ent. nanellum*; род *Epidinium* (вид *Ep. ecaudatum*) и род *Isotricha* с видом *I. intestinalis*, встречаются в 100% обследованных особей домашних овец. Эти виды эндобионтных инфузорий в исследуемом материале чаще других составляют инфузорный фон фауны желудка. Кроме того, они являются общими видами для всех 50 обследованных овец и, видимо, могут служить фоновыми видами эндобионтов овец.

Видовое разнообразие инфузорий изменяется и по отделам желудка. Примером является пространственная динамика видового разнообразия инфузорий по отделам (рубец – сетка – книжка) у овец Кормиловского района (рис. 1).

Заключение

Таким образом, исходя из данных по видовому разнообразию и численности инфузорий, можно предположить, что именно рубец является наиболее предпочитаемым инфузориями местом обитания в желудке домашних овец, так как в рубце относительно постоянное присутствие среды (щелочная среда), которое обеспечивает необходимые условия для инфузорного населения. Содержимое книжки характеризуется значительным снижением pH сре-

Средние показатели встречаемости и численности инфузорий в отделах желудка овец

Виды инфузорий	Рубец (ос/мл ± х)	Сетка (ос/мл ± х)	Книжка (ос/мл ± х)
<i>Entodinium bursa</i>	10,4 ± 0,9	-	-
<i>Ent. nanellum</i>	61,2 ± 5,6	30,4 ± 3,3	2,6 ± 0,6
<i>Ent. caudatum</i>	22,4 ± 4,2	18,5 ± 2,4	-
<i>Ent. simulans - dubardi</i>	8,8 ± 1,3	5 ± 0,5	2,6 ± 0,5
<i>Ent. ovinum</i>	2,4 ± 0,4	-	-
Общая численность видов рода <i>Entodinium</i> / кол-во видов	<u>105,2 ± 12,4</u> 5	<u>53,9 ± 6,2</u> 3	<u>5,2 ± 1,1</u> 2
<i>Epidinium ecaudatum</i>	58,2 ± 0,2	22,6 ± 0,2	-
<i>Ophryoscolex caudatus</i>	3,6 ± 0,5	-	-
<i>Diplodinium bubalidis bubalidis ssp. latteeur</i>	1,7 ± 0,3	-	-
<i>Isotricha intestinalis</i>	15,7 ± 1,2	13,3 ± 2,5	7,1 ± 0,8
<i>Dasytricha ruminantium</i>	14,2 ± 2,2	10,1 ± 1,3	9,6 ± 0,9
Всего: численность ос/мл число видов	<u>198,6 ± 16,8</u> 10	<u>99,9 ± 10,2</u> 7	<u>21,9 ± 2,8</u> 4

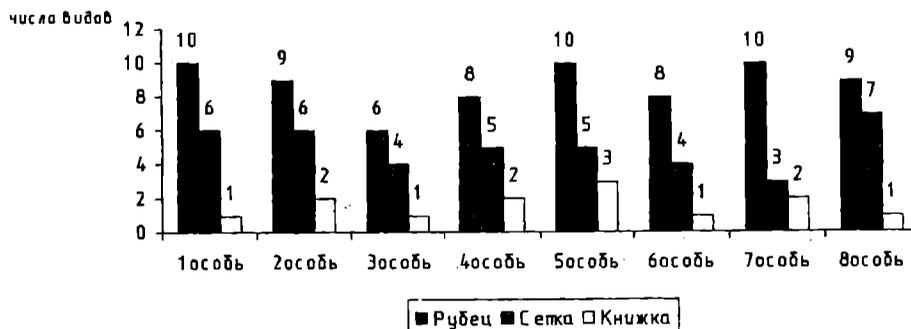


Рис. 1. Видовое разнообразие инфузорий в разных отделах желудка овец центральной лесостепи (Омская область, Кормиловский район, 2002 – 2005 гг.)

ды по сравнению с рубцом и сеткой, вместе с тем происходит и снижение количества обитающих инфузорий, а также уменьшение размеров эндобрионтов. В содержимом сычуга, имеющем кислую среду, количество инфузорий резко снижается, и простейшие медленно гибнут. В сычуге не обнаружены конъюгирующие инфузории. Результаты проведенных нами исследований позволяют сделать вывод, что между показателем pH содержимого различных отделов желудка жвачных и количеством инфузорий имеется четкая взаимосвязь. Таким образом, наиболее «густонаселенным» по численности и видовому разнообразию отделом желудка у домашних овец, обитающих на территории Омской области, является рубец, сетка занимает второе место, а в книжке инфузории встречаются редко. Фауна инфузорий домашних овец резко отличается от фауны других жвачных, главным образом, низкой численностью видов. Количество особей инфузорий всех видов в содержимом рубца овец составляет 100 – 252 в 1 мл содержимого, максимальное количество не превышает 674 особей/мл. Для сравнения можно отметить, что в рубце крупного рогатого скота количество инфузорий может достигать до 53 тыс. и более особей в 1 мл содержимого желудка.

Библиографический список

1. Догель В.А. Простейшие - Protozoa. Малоресничные инфузории – Infusoria Oligotricha. Сем. Ophryoscolecidae. Определитель по фауне СССР. Изд. АН СССР. Л. 1929. – 96 с.
2. Догель В.А., Виноградова-Федорова Т.В. Экспериментальные исследования над биологией инфузорий из желудка жвачных // ВАСХНИИЛ. Труды института с/х и микробиологии. 1930, 4, вып. 2. – С. 157-187.
3. Корнилова О.А. Фауна инфузорий кишечника кулана: Монография - СПб: «ТЕССА», 2003. – С. 216.
4. Стрелков А.А. Паразитические инфузории из кишечника непарнокопытных семейства Equidae / Дисс. д-ра биол. наук // Уч. зап. ЛГПИ им. А. И. Герцена. 1939. Вып. 17 (7). – 262 с.
5. Lubinsky G. Studies on the evolution of the Ophryoscolecidae: some evolutionary trends on the genus Entodinium // Canad. J. Zool. 1957. Vol. 35, № 1. – P. 111-133.

ЧЁРНАЯ Лариса Владимировна, соискатель кафедры зоологии.

ЛИХАЧЁВ Сергей Федорович, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.
© Чёрная Л.В., Лихачёв С.Ф.

АНТИГЕННЫЕ И ИММУНОГЕННЫЕ СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКОЙ (ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКОЙ) ПРОТИБРУЦЕЛЛЕЗНОЙ ВАКЦИНЫ ВНИИБТЖ

В статье дается характеристика принципиально нового вакцинного препарата (химическая вакцина ВНИИБТЖ), предназначенного для специфической защиты животных и человека от возбудителя зоонозной инфекции — бруцеллеза. Приведены экспериментальные данные по испытанию напряженности иммунитета у модельных животных (морские свинки), создаваемого этой полусинтетической вакциной. Описана динамика синтеза иммуноглобулинов (специфических антител) у вакцинированных животных, выявляемых в различных диагностических серореакциях. Обоснованы преимущества новой вакцины перед применяемыми в настоящее время.

Изыскание новых вакцин, направленных на усовершенствование специфической профилактики бруцеллеза, ведется учеными многих стран, в том числе и НИУ Российской Федерации (ВГНКИ, НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Гамалеи, КЗНИВИ, НИИ эпидемиологии, микробиологии и инфекционных заболеваний МЗРУ, ГНЦ Институт иммунологии МЗРФ, ВНИИЭВ, Казанская ГАВМ им. Н.Э. Баумана, Алтайская НИВС).

Успехи в области биохимии, молекулярной микробиологии и иммунохимии расширили представления о механизме иммунных реакций в организме, молекулярной организации, конфигурации и структуре макромолекул антигена и позволяют перейти к созданию высокоэффективных и безопасных полусинтетических и синтетических вакцин. Переходным историческим этапом в этом вопросе является разработка химических вакцин, представляющих собой протективные антигены микроорганизмов, иммобилизованные полимерными носителями.

Цель наших исследований — изучение антигенных и иммуногенных свойств одной из таких химических вакцин, созданной во ВНИИБТЖ, в сравнении с живыми вакцинами из штаммов *V.abortus* 19, *V.abortus* 82, *V.abortus* 75/79-AB.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования явились лабораторные животные, на которых было проведено два опыта по изучению антигенных и иммуногенных свойств 4-х противобруцеллезных вакцин: в первом опыте через один месяц после вакцинации, а во втором — через три.

Для этого было отобрано 56 здоровых морских свинок весом 250-300 г и сформировано по 5 групп в первом и втором опытах. Морским сви-

кам вводили подкожно с внутренней поверхности бедра суспензию 2-суточной агаровой культуры вакцинного штамма 19, 82 и 75/79-AB в дозе 1 млрд. микробных клеток в объеме 1 см³, которую предварительно суспендировали в физиологическом растворе. Химическую вакцину инъецировали в дозе 100 мкг сухого вещества в объеме 1 см³. Животным контрольной (плацебо) группы в таком же объеме вводили физиологический раствор.

Антигенные свойства вакцин изучали с помощью серологических реакций: реакции агглютинации (РА, РБП); реакции связывания компонента (РСК); реакции иммунодиффузии (РИД). Для выявления образующихся после введения вакцин антител (иммуноглобулинов) в плазме (сыворотки крови) использовали различные антигены: единый бруцеллезный S - антиген для РА и РСК (РСК-S); R-антиген для РСК (РСК- R), антиген бенгальский розовый; O-полисахаридный антиген. Все реакции ставили и учитывали согласно существующему наставлению по их применению (М., 2003 г.). РБП учитывали дифференцированно по четырехкростовой шкале (+, ++, +++ , ++++).

Исследования сыворотки крови животных проводили через 7, 14, 21, 28 дней после их вакцинации в первом опыте и 7, 14, 21, 28, 60, 90 дней во втором, а также через 30 дней после заражения вирулентным штаммом *V.abortus* 544.

Напряженность иммунитета у привитых морских свинок проверяли путем заражения 2-суточной агаровой вирулентной культурой штамма *V.abortus* 544 в дозе 100 микробных клеток (10 ИД) в объеме 1 см³. Суспензию клеток бруцелл вводили подкожно с внутренней поверхности бедра, с противоположной стороны места введения вакцины.

Через 30-35 дней после заражения морских свинок подвергли убою и бактериологическому ис-

следованию, которое включало высевы из лимфатических узлов: заглочочных, подчелюстных, предлопаточных, паховых, парааортальных, а также из печени, селезенки, почек, сердца и костного мозга. Высевы проводили в одну пробирку с бульоном (МППБ) и в две пробирки с агаровой питательной средой: МППА, эритроцит-агар. Посевы инкубировали в термостате при температуре 37-38°C в течение 4 недель, в период которых периодически проводили учет роста бактериальных культур. При учете результатов бактериологического исследования проводили дифференциацию выросших культур (определение принадлежности к роду бруцелл) путем окраски (по Козловскому, Уайту и Вилсону) и микроскопии, постановки реакции агглютинации на стекле с гипериммунной сывороткой в разведении 1:10. Животное считалось заразившимся, если хотя бы из одного органа высевалась культура бруцелл. Результаты бактериологического исследования оценивали по количеству свинок, от которых выделены культуры (процент заразившихся животных), по количеству культур на одну заразившуюся свинку и по интенсивности обсеменения (инфицированность) организма животных, которую вычисляли по следующей формуле:

$$x = \frac{a \cdot 100}{b \cdot c},$$

где: x — индекс инфицированности (ИИ);
 a — число выделенных культур;
 b — число морских свинок в опыте;
 c — число органов и лимфатических узлов, взятых для посева.

Результаты исследований

Антигенные свойства. Через 7 дней после иммунизации (табл. 1) морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 19 все 7 исследованных проб (100%) сыворотки крови в РА реагировали положительно, т.е. имели специфические антитела (в титре 10 МЕ — 4 пробы, 20 МЕ — 3), в РСК-S положительно реагировало 4 пробы, или 57,1% (имели антитела в титре 1:5 - 1:10 по 2 пробы). РСК-R была отрицательной со всеми пробами сыворотки крови. РБП стала положительной в 2 пробах, или в 28,6% (1 проба на +, 1 на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, иммунизированных вакциной из штамма *V.abortus* 82, из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировало 5 проб, или 71,4% (в титре 10 МЕ — 4 пробы, 20 МЕ — 1), в РСК-S реагировало 4 пробы, или 57,1% (в титре 1:5 — 4 пробы). РСК-R была положительной в 6 пробах, или у 85,7% (в титре 1:5 — 4 пробы, 1:10 — 2). Положительная РБП отмечена в 4 пробах, или в 57,1% (все 4 пробы на +). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, иммунизированных вакциной из штамма *V.abortus* 75/79-АВ, из 7 исследованных сывороток крови в РА имели специфические антитела 5 проб, или 71,4% (в титре 10 МЕ — 4 пробы, 20 МЕ — 1 проба), в РСК-S положительно реагировала 1 проба, или 14,3% (в титре 1:5). РСК-R отмечена у 4 проб, или у 57,1% (в титре 1:5 — 2 пробы, 1:10 — 1 проба, 1:20 — 1 проба). РБП была положительной в 2 пробах, или в 28,6% (обе пробы на +). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, иммунизированных химической вакциной ВНИИБТЖ, из 7 исследованных

сывороток крови в РА положительно реагировало 7 проб, или 100% (в титре 10 МЕ — 2 пробы, 20 МЕ — 1 проба и 40 МЕ — 4 пробы), РСК-S была отрицательной у всех животных. РСК-R была положительной в 4 пробах, или в 57,1% (в титре 1:5 — 3 пробы, 1:10 — 1 проба). РБП отмечена в 5 пробах, или в 71,4% (все пробы на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

Через 14 дней после вакцинации морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 19 в РА реагировали все пробы, или 100% (в титре 10 МЕ — 2 пробы, 20 МЕ — 2, 40 МЕ — 3), в РСК-S реагировали также все 7 проб сывороток крови (100%) в титре 1:5. Реагирующих в РСК-R не было. РБП отмечена у 4 проб, или 57,1% (3 пробы на +, 1 проба на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, привитых вакциной из штамма *V.abortus* 82, из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировало 6 проб, или 85,7% (в титре 10 МЕ — 1 проба, 20 МЕ — 5), в РСК-S реагирующих отмечено не было. РСК-R была положительной в 7 пробах, или в 100% (все в титре 1:5). РБП отмечена у 5 проб, или 71,4% (1 проба на +, 3 пробы на ++, 1 проба на +++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, вакцинированных вакциной из штамма *V.abortus* 75/79-АВ, из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировало 5 проб, или 71,4% (в титре 10 МЕ — 4 пробы, 20 МЕ — 1), РСК-S была отрицательной у всех животных. Положительная РСК-R отмечена у 6 проб, или у 85,7% (все в титре 1:5). РБП отмечена в 2 пробах, или 28,6% (обе на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, иммунизированных химической вакциной ВНИИБТЖ, из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировало 5 проб, или 71,4% (в титре 10 МЕ — 4 пробы, 20 МЕ — 1). РСК-S и РСК-R отрицательны у всех животных. РБП отмечена у 7 проб, или у 100% (4 пробы +, 3 пробы ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

Через 21 день после вакцинации морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 19 из 7 исследованных сывороток крови в РА по-прежнему реагировали 7 проб, или 100% (в титре 20 МЕ — 3 пробы, 40 МЕ — 3, 80 МЕ — 1), в РСК-S реагировало также 7 проб (в титре 1:5 — 4 пробы, 1:10 - 3). РСК-R во всех пробах была отрицательной. Положительная РБП отмечена в 4 пробах, или в 57,1% (3 пробы на +, 1 проба на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У иммунизированных морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 82 из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировало 5 проб, или 71,4% (в титре 10 МЕ — 1 проба, 20 МЕ — 4), в РСК-S реагировала 1 проба, или 14,3% (в титре 1:5 - 1). Положительная РСК-R отмечена у 7 проб, или у 100% (в титре 1:10 — 2 пробы, 1:40 — 5). РБП отмечена в 4 пробах, или у 57,1% (все пробы на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У вакцинированных животных штаммом *V.abortus* 75/79-АВ из 7 проб в РА реагировало 3, или 42,9% (в титре 10 МЕ — 2 пробы, 20 МЕ - 1). В РСК-S положительными были 2 пробы, или 28,6% (в титре 1:5 — 1 проба, 1:10 - 1). Положительная РСК-R отмечена у 7 проб, или 85,7% (в титре 1:10 — 2, 1:40 — 5), РБП в 2 пробах, или у 28,6% (1 проба на +, 1 проба

на ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У вакцинированных животных химической вакциной ВНИИБТЖ в РА реагировали все 7 проб, или 100% (в титре 10 МЕ – 2 пробы, 20 МЕ – 1, 40 МЕ – 4). РСК-S и РСК-R были отрицательными у всех животных. Положительная РБП отмечена у 3 проб, или у 42,9% (2 пробы +, 1 проба ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

Через 28 дней после иммунизации морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 19 в РА антигена были выявлены у 7 проб, или у 100% (в титре 20 МЕ – 3 пробы, 40 МЕ – 2, 80 МЕ – 2). Позитивная РСК-S отмечена также у 7 проб (в титре 1:20 – 6 проб, 1:40 – 1). В РСК-R реагировало 3 пробы, или 42,9% (все 3 пробы 1:5), в РБП 4 пробы, или 57,1% (3 пробы +, 1 проба ++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, привитых вакциной штамма *V.abortus* 82, из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировало 4 пробы, или 57,1% (в титре 10 МЕ – 3 пробы, 40 МЕ – 1). Позитивная РСК-S отмечена у 5 проб, или 71,4% (в титре 1:5 – 4 пробы, 1:10 – 1). РСК-R была отрицательной во всех пробах. В РБП реагировали 4 пробы, или 57,1% (2 пробы +, 1 проба ++, 1 проба +++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У вакцинированных животных штаммом *V.abortus* 75/79-AB из 7 проб в РА реагировали 2 пробы, или 28,6% (в титре 40 МЕ). Позитивная РСК-S отмечена в 4 пробах, или в 57,1% (в титре 1:5 – 3 пробы и 1:40 – 1 проба), а РСК-R у 6 проб, или у 85,7% (в титре 1:5 – 4 пробы, 1:10 – 1 проба и 1:20 – 1 проба). РБП отмечена в 2 пробах (обе пробы на +++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У вакцинированных животных химической вакциной ВНИИБТЖ из 7 проб в РА реагировало 4 пробы, или 57,1% (в титре 10 МЕ – 3 пробы и 20 МЕ – 1 проба). Положительная РСК-S отмечена у 5 проб, или у 71,4% (в титре 1:5 – 4 пробы и 1:10 – 1 проба). РСК-R была отрицательной во всех пробах. РБП в 3 пробах была положительной (2 пробы на + и 1 проба на +++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

Через 2 месяца после иммунизации морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 19 в РА реагировали все 7 проб, или 100% (в титре 10 МЕ – 3 пробы, 1:20 – 4). В РСК-S реагировали 7 проб – 100% (в титре 1:10 – 3, 1:20 – 3 и 1:40 – 1 проба), в РСК-R 3 пробы, или 42,9% (в титре 1:5). В РБП реагировали 4 пробы (3 пробы на +, 1 проба на +++). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У морских свинок, вакцинированных штаммом *V.abortus* 82, из 7 исследованных сывороток крови в РА реагировала 1 проба, или 14,3% (в титре 10 МЕ). РСК-S была отрицательной во всех пробах. РСК-R в 4 пробах, или 57,1%, была положительной (в титре 1:5 – 1 проба, 1:10 – 3). РБП и РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У вакцинированных животных штаммом *V.abortus* 75/79-AB из 7 проб в РА выявлено положительных 2 пробы, или 28,6% (в титре 20 МЕ – 1 проба, 40 МЕ – 1). В РСК-S реагировало 2 пробы, или 28,6% (обе в титре 1:10). Положительная РСК-R отмечена у 4 проб, или у 57,1% (в титре 1:5 – 1 проба, 1:10 – 3). В РБП реагировало 2 пробы (обе пробы на +). РИД с О-ПС антигеном была отрицательной у всех животных.

У вакцинированных животных химической вакциной ВНИИБТЖ из 7 проб в РА, РСК-S, РСК-R, РБП и РИД положительно реагирующих проб, т.е. содержащих специфические антитела, не отмечено.

Через 3 месяца после иммунизации морских свинок вакциной из штамма *V.abortus* 19 из 7 исследованных проб крови в РА реагировало положительно 5, или 71,4% (в титре 1:10 – 4 пробы, 1:20 – 1), в РСК-S реагировали 7 проб, или 100% (в титре 1:5 – 6 проб, 1:10 – 1). В РСК-R реагировало 3 пробы, или 42,9% (в титре 1:5 – 2 пробы, 1:20 – 1). В РБП положительно реагировало 2 пробы (1 проба на +, 1 на ++). В РИД все пробы были отрицательными.

У вакцинированных животных штаммом *V.abortus* 82 все 7 исследованных проб крови в РА, РСК-S, РБП и РИД были отрицательными. В РСК-R реагировало 3 пробы, или 42,9% (в титре 1:5 – 2 пробы, 1:20 – 1).

У вакцинированных животных штаммом *V.abortus* 75/79-AB из 7 исследованных проб крови в РА, РСК-R, РБП и РИД положительных отмечено не было. РСК-S была положительной в 3 пробах, или в 42,9% (все в титре 1:5).

У вакцинированных животных химической вакциной ВНИИБТЖ все 7 проб в РА, РСК-S, РСК-R, РБП и РИД были отрицательными.

Через 30 дней после заражения вирулентным штаммом *V.abortus* 544 из 7 исследованных проб сыворотки крови от морских свинок, иммунизированных вакциной из штамма *V.abortus* 19, в РА реагировало 5 проб, или 71,4% (в титре 1:40 – 3 пробы, 1:80 – 2). Положительная РСК-S отмечена в 4 пробах, или в 57,1% (в титре 1:5 – 3 пробы, 1:10 – 1). РСК-R была отрицательной во всех пробах. РБП отмечена в 4 пробах, 57,1% была положительной (3 пробы на ++, 1 проба на +++). РИД с О-ПС антигеном была положительной в одной пробе.

У вакцинированных животных штаммом *V.abortus* 82 в РА положительно реагировала 1 проба, или 14,3% (в титре 1:80). Положительная РСК-S отмечена в 1 пробе, или в 14,3% (в титре 1:80). РСК-R была отрицательной во всех пробах. РБП стала положительной в 1 пробе, 14,3% (на +). Положительная РИД с О-ПС антигеном была отмечена в 1 пробе.

У вакцинированных штаммом *V.abortus* 75/79-AB из 7 исследованных проб крови в РА реагировало 2 пробы, или 28,6% (в титре 1:80 и 1:320). Положительная РСК-S отмечена в 3 пробах, или у 42,9% (в титре 1:5 – 1, 1:80 – 1, 1:160 – 1 проба), а РСК-R в 2 пробах, или в 28,6% (в титре 1:5 – 2 пробы). В РБП отмечена 1 проба (на + крест). В РИД с О-ПС антигеном 2 пробы, или 28,8%, были положительными.

У морских свинок, вакцинированных химической вакциной ВНИИБТЖ, в РА реагировало 5 проб, или 71,4% (в титре 1:10 – 1 проба, 1:20 – 1, 1:40 – 1, 1:80 – 1, 1:160 – 1). Положительная РСК-S отмечена в 5 пробах, или у 71,4% (в титре 1:10 – 3 пробы, 1:80 – 2). РСК-R была отрицательной во всех пробах. В РБП реагировало 4 пробы, или 57,1% (2 пробы на +, 1 проба на ++, 1 проба на +++). В РИД положительные реакции дали 2 пробы (28,6%).

Иммуногенные свойства. Состояние иммунитета у морских свинок, привитых химической противобруцеллезной вакциной в сравнении с живыми вакцинами из шт. *V.abortus* 19, 82, 75/79-AB через месяц после заражения, представлено в таблице 2.

Из таблицы видно, что через месяц после заражения вирулентной культурой *V.abortus* 544 не

Результаты исследования сыворотки крови морских свинок, привитых вакцинами из шт. V.abortus 19, V.abortus 82, V.abortus 75/79-AB, химической вакциной ВНИИБТЖ во втором опыте

Таблица 1

Срок иссл-я после вакцинации	Введенная вакцина											
	вакцина из шт. V.abortus 19			вакцина из шт. V.abortus 82			вакцина из шт. V.abortus 75/79-AB			химическая вакцина ВНИИБТЖ		
	Титры (в среднем) антител, выявленных в диагностических серореакциях											
	РА МЕ	РСК-S	РСК-R	РА МЕ	РСК-S	РСК-R	РА МЕ	РСК-S	РСК-R	РА МЕ	РСК-S	РСК-R
7 дн.	14,3	4,3	0	8,6	2,9	5,7	8,6	0,7	5,7	31,4	0	0
14 дн.	2,3	5,0	0	18,6	0	5,0	8,6	0	4,3	8,6	0	0
21 дн.	37,1	7,1	0	12,9	0,7	31,4	10,0	2,2	10,0	28,6	0	0
28 дн.	42,9	22,9	2,1	7,1	3,6	18,6	5,7	7,9	7,1	7,1	4,3	0
2 мес	15,7	18,6	2,1	1,4	0	5,0	8,6	2,9	5,0	0	0	0
3 мес	8,6	5,7	0	0	0	4,3	0	2,1	0	0	0	0

Примечания: 1. В каждой группе находилось по 7 морских свинок.

2. Приведены средние титры образовавшихся антител в расчете на всю группу (7 голов) вакцинированных животных.

Результаты бактериологического исследования морских свинок, зараженных вирулентной культурой V.abortus 544, через 1 мес. после вакцинации

Таблица 2

Группы морских свинок, привитых вакциной из шт.:	Кол-во вакцинированных морских свинок, подвергшихся заражению	Кол-во свинок, от которых выделены культуры	% заразившихся животных	Кол-во культур на одну заразившуюся свинку	Индекс инфицированности (средние показатели в %)	Процент иммунных
V.abortus 19	5	0	0	0	0	100
V.abortus 82	5	0	0	0	0	100
V.abortus 75/79-AB	3	0	0	0	0	100
Хим. вакц. ВНИИБТЖ	4	0	0	0	0	100
Непривитые (контроль)	4	4	100	5,5	55,0	0

Результаты бактериологического исследования морских свинок, зараженных вирулентной культурой V.abortus 544, через 3 мес. после вакцинации

Таблица 3

Группы морских свинок, привитых вакциной из шт.:	Кол-во вакцинированных морских свинок, подвергшихся заражению	Кол-во свинок, от которых выделены культуры	% заразившихся животных	Кол-во культур на одну заразившуюся свинку	Индекс инфицированности (средние показатели в %)	Процент иммунных
V.abortus 19	5	1	20	5,0	10,0	80
V.abortus 82	4	1	25	9,0	22,5	75
V.abortus 75/79-AB	5	3	60	4,4	44,0	40
Хим. вакц. ВНИИБТЖ	5	2	40	5,5	22,0	60
Непривитые (контроль)	3	3	100	7,3	73,3	0

было выделено ни одной культуры от всех вакцинированных животных. В то время как в контрольной — плацебо группе — все животные (100%) были заражены, индекс их инфицированности составил 55%. Чаще всего культуры бруцелл выделяли из паховых, заглочных, подчелюстных, параортальных лимфатических узлов, костного мозга, селезенки.

Результаты исследований через 3 месяца после заражения вирулентной культурой V.abortus 544 вакцинированных морских свинок представлены в таблице 3.

Из этой таблицы видно, что иммуногенность вакцин существенно различается. У морских свинок, привитых вакциной из шт. 19, число животных, у которых развился специфический иммунитет, составило 80%; у привитых шт. 82 — 75%; шт. 75/79-AB 40%; химической вакциной

ВНИИБТЖ — 60%. В контрольной (невакцинированной группе) иммунных животных не было.

Индекс инфицированности (ИИ) по группам распределился следующим образом: у морских свинок, привитых шт. 75/79 AB, — 44,0; шт. 82 - 22,5; химической вакциной ВНИИБТЖ - 22,0; шт. 19 — 10,0. В контрольной группе ИИ достиг 73,3.

Выводы

Анализируя результаты проведенных серологических и бактериологических исследований, можно сделать три основных вывода.

1. Химическая (полусинтетическая) вакцина ВНИИБТЖ обладает менее выраженными реактогенными, в том числе и антигенными, свойствами, чем применяемые в настоящее время в ветеринарной практике противобруцеллезные вакцины из живых штаммов бруцелл: из шт. V.abortus 19, 82, 75/79-AB.

2. По иммуногенности (способности создавать специфический иммунитет) химическая вакцина ВНИИБТЖ занимает промежуточное положение между вакцинами из штаммов 19, 82 и 75/79-AB, но в силу своей экологической безопасности и слабой реактогенности (антигенности) она имеет существенное преимущество перед этими вакцинами.

3. Создание синтетических и полусинтетических вакцин типа химической вакцины ВНИИБТЖ является перспективным направлением усовершенствования специфической профилактики бруцеллеза животных и человека.

ПОДКУЙКО Александр Анатольевич, младший научный сотрудник лаборатории специфической профилактики крупного рогатого скота.

ОЩЕПКОВ Владимир Григорьевич, доктор ветеринарных наук, профессор, директор ВНИИБТЖ.

ПОПОВА Тамара Гавриловна, кандидат ветеринарных наук, зав. лабораторией специфической профилактики крупного рогатого скота.

БРОННИКОВ Василий Сергеевич, кандидат ветеринарных наук, старший научный сотрудник лаборатории специфической профилактики крупного рогатого скота.

Дата поступления статьи в редакцию: 20.10.06 г.

© Подкуйко А.А., Ощепков В.Г., Попова Т.Г., Бронников В.С.

УДК 619:616.6—07:636.8

С. Ф. МЕЛЕШКОВ

Омский государственный
аграрный университет

АНАЛИЗ ВЫЖИВАЕМОСТИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАННИХ ИСХОДОВ УРОЛОГИЧЕСКОГО СИНДРОМА У КОШЕК

Проведен анализ 143 случаев урологического синдрома кошек (УСК), при котором определены значимые с позиций биомедицинской статистики клинические признаки и сроки продолжительности лечения в условиях амбулаторного приема ветеринарной клиники. Представлен анализ выживаемости котят по методу Каплана-Мейера. Предложен алгоритм составления прогноза ранних исходов УСК по данным первичного осмотра. Результаты могут быть использованы в доказательной медицине.

Урологический синдром кошек (УСК) — это синдром непроходимости уретры. У котят этот синдром при заболеваниях нижних отделов мочевыделительной системы встречается довольно часто, от 1 до 10% всех регистрируемых случаев заболеваний — у кошек (Е.М. Козлов, 2002, О.И. Динченко, 2003). Ведущим симптомом этого синдрома является острая задержка мочеиспускания — ишурия. В отечественной и зарубежной литературе отмечается, что УСК наносит огромный вред содержанию котят во всем мире, так как острая ишурия нередко приводит к тяжелым осложнениям и к преждевременной гибели животного (Э.А. Чандлер, К.Д. Гаскел, Р.М. Гаскел, 2002). В какие сроки происходит гибель животных от начала болезни, какие факторы влияют на исход, как прогнозировать исход УСК — на эти вопросы мы не нашли ответы в доступной литературе.

Цель исследования: провести анализ выживаемости и прогнозирование ранних исходов УСК, определив при этом симптомы и клинические признаки УСК при первичном приеме больных животных в условиях ветеринарной клиники.

Задачи исследования: 1. Определить симптомы и клинические признаки УСК.

2. Определить сроки продолжительности лечения и гибели животных с УСК в условиях амбулаторного приема ветеринарной клиники.

3. Составить прогноз ранних исходов УСК по данным первичного осмотра.

Материал и методы исследования. Объектами исследования были 143 кота различного возраста, окраса, породы, поступившие на первичный прием ветеринарной клиники ИВМ ОмГАУ в 2005 году. У всех животных проводили общеклиническое исследование, включавшее: осмотр, пальпацию, перкуссию, аускультацию, измерение ректальной температуры; специальные инструментальные: ультразвуковую, рентгенографическую, катетеризацию мочевого пузыря; лабораторные: исследование физических свойств мочи, pH, наличие крови, сахара, белка, кетоновых тел. Результаты исследований вносили в базу данных Microsoft Access ПК. По результатам исследования была сформирована матрица исходных данных для каждого пациента размерности $n \times (k+1)$, где n — число наблюдавшихся объектов; k — число контролируемых факторов и 1 — показатель-отклик, которая и явилась основой для анализа выживаемости по методу Каплана-Мейера и логистического регрессионного анализа,

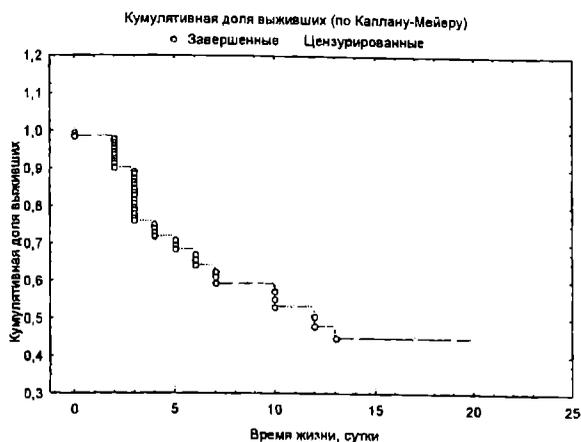


Рис. 1. График функции выживания котов при УСК

реализованных с помощью прикладных программ по статистической обработке данных системы Statistica и SPSS (с учетом рекомендаций В.И. Юнкерова, С.Г. Григорьева, 2002; В. Боровикова, 2003, А.Д. Наследова, 2005).

Результаты исследования и их обсуждение. В результате проведенного исследования было установлено, что при опросе владельцев животных в большинстве случаев удается выявить следующие симптомы УСК: дизурию, поллакиурию, периурию, констипацию, апатию, отказ от корма или снижение аппетита, полидипсию, изменение окраски мочи, острую ишурию, парадоксальную ишурию, рвоту. В редких случаях у животных может отмечаться: атаксия, паралич тазовых конечностей, клонические судороги. В ходе опроса удается также установить сроки возникновения первых симптомов заболевания, продолжительность болезни и сроки ишурии, выяснить возраст, породную принадлежность и особенности содержания и кормления животного.

В ходе клинического исследования животных, с выраженным УСК выявляются признаки переполнения мочевого пузыря, болевой синдром, снижение ректальной температуры, симптомы обезвоживания и интоксикации и признаки непроходимости мочевого канала.

Катетеризация уретры и мочевого пузыря при УСК преследует две цели: диагностическую и лечебную. Она позволяет выявить полную или частичную обструкцию уретры или поражение сфинктерного аппарата. После отведения мочи возможна ее визуальная оценка: цвет, количество, наличие уросидиментов и других примесей.

На этапе первичного приема больных животных была проведена экспресс-лабораторная оценка мочи, включающая: определение pH, белка, глюкозы, кетоновых тел, удельной плотности.

Рентгенография и ультразвукография в данном исследовании были использованы в качестве дополнения к общеклиническим методам для дифференциальной диагностики острой ишурии, острой почечной недостаточности в стадии олигоанурии, мочекаменной болезни, поликистоза почек и др.

На первом этапе мы провели анализ данных времени жизни котов с выраженным урологическим синдромом. На рис. 1 показана кумулятивная доля выживших за 20-дневный период наблюдения.

Анализ выживаемости показывает, что за 20-дневный период наблюдения из 143 котов, доставленных в клинику, погибли 46, причем 2 кота

погибли в первые сутки на этапе оказания первой помощи. 22-м животным была оказана однократная помощь — проведена катетеризация мочевого пузыря и даны рекомендации по дальнейшему лечению, после чего они выбыли из наблюдения. Одна из задач анализа выживаемости состоит в том, чтобы оценить функцию выживания $S(t)$, т.е. вероятность того, что пациент проживет больше t дней после оказания ему первой помощи (В. Боровиков, 2003). Оценка функции выживания была проведена с помощью метода Каплана-Мейера. Оценка Каплана-Мейера функции выживания, построенная по нашим данным, показывает, что вероятность того, что кот с острой ишурией, обусловленной УСК, проживет дольше определенного времени, показана в таблице 1.

Таким образом, на этапе оказания первичной помощи вероятность того, что кот с острой ишурией, обусловленной УСК, проживет сутки, равна 0,993 (99,3%), а больше 20 суток — составляет 0,448 (44,8%).

Для решения второй задачи — составления прогноза исходов при УСК по отмеченным клиническим признакам и симптомам проведен анализ с помощью логистической регрессии. В качестве прогнозируемого показателя-отклика определен исход УСК (благоприятный — у кота наступило выздоровление — 1 и неблагоприятный — кот умер в течение наблюдаемого периода — 0). В качестве признаков, предшествующих исходу болезни и включенных в модель как независимые факторы-причины, определена совокупность клинических признаков, достоверно связанных с исходами и определяемых у котов на ранних этапах оказания ветеринарной помощи. В исходную матрицу наблюдений размером $n \times (k + 1)$, где n — число наблюдавшихся объектов; k — число контролируемых факторов и 1 — показатель-отклик, выражаемый кодами: 1 — при положительном эффекте (выздоровление) и 0 — при отрицательном (гибель), было включено 32 признака, полученных в результате опроса владельцев животных при регистрации и с помощью непосредственного обследования. После логического анализа и оценки связей исходных данных с помощью корреляционного анализа для дальнейшего исследования в матрице было оставлено 12 признаков и симптомов, которые имели сильную ($r > 0,7$) или умеренную ($0,27 < r < 0,7$) и статистически значимую ($p < 0,05$) корреляционную связь с ранним исходом УСК (табл. 1). По итогам расчетов с помощью логистического анализа (Logistic Regression ППП Statistica) в модель включены

Таблица 1

Оценка Каплана-Мейера функции выживания котов при УСК

Сроки наблюдения, сутки	Кумулята жизни	Ст. ошибка
0	0,993	0,006
1	0,986	0,010
2	0,901	0,027
3	0,759	0,041
4	0,719	0,043
5	0,684	0,046
6	0,641	0,049
7 - 11	0,592	0,053
12	0,480	0,062
13 - 20	0,448	0,066

Клинические симптомы и признаки, включенные в логистическую регрессионную модель прогноза ранних исходов УСК и степени их выраженности

№ п/п	Наименование признака (симптома) и его балльная оценка	Коды	Коэффициент модели	Уровень значимости коэффициента модели
1	Рвота: нет – 1 балл, есть – 2 балла	X1	-3,36	1,33E-07
2	Количество рецидивов: нет – 1 балл, 1 – 2 балла, 2 – 3 балла, 3 и более – 4 балла	X2	-1,24	0,019
3	Цвет мочи: не изменен – 1 балл, розовый – 2 балла, красный – 3 балла, черный – 4 балла	X3	-1,40	0,049
4	Плотность мочи: от 1020 до 1045 и выше – 1 балл, от 1019 до 1015 – 2 балла, от 1014 – 1010 – 3 балла, от 1009 и ниже – 4 балла	X4	-0,86	0,045
5	Константа		15,44	3,72E-07

Таблица 3

Классификация больных с УСК по признаку выжил – умер с помощью логистической регрессионной модели в сравнении с наблюдавшейся в опыте

	%	Исход лечения – благоприятный	Исход лечения – летальный	Всего в опыте
Исход лечения – благоприятный	91,8	89	8	97
Исход лечения – неблагоприятный	87,0	6	40	46
Всего в прогнозе	90,2	95	48	143

Примечание. По строкам: классификация соответственно базе данных; по столбцам: классификация соответственно прогнозу.

4 признака, обладающих статистической надежностью не менее 80%. Перечень этих признаков и их коэффициенты приведены в табл. 2.

Полученная методом логистического регрессионного анализа статистически значимая ($p < 0,0001$) модель имеет вид:

$$\hat{y} = \exp(15,44 - 3,36x_1 - 1,24x_2 - 1,4x_3 - 0,86x_4) / (1 + \exp(15,44 - 3,36x_1 - 1,24x_2 - 1,4x_3 - 0,86x_4))$$

Расчеты прогноза по этой модели могут быть произведены на ПК или на программируемом микрокалькуляторе. Прогноз благоприятного исхода принимается при $\hat{y} > 0,5$, неблагоприятного – при $\hat{y} \leq 0,5$.

Результаты классификации исходов, полученные с помощью логистической регрессионной модели по данным полученной информации и их сравнение с классификацией, наблюдавшейся в ретроспективном опыте, приведены в табл. 3, из которой следует, что в группе больных с благоприятным исходом исследуемая модель обеспечивает совпадение прогнозируемого результата с реальным в 91,8 % случаев (у 89 из 97 курируемых котов); в группе умерших больных котов совпадение прогнозируемых и реальных исходов лечения отмечено в 87,0% наблюдений (у 40 из 46 случаев); информационная способность модели в целом составляет 90,2% (совпадение исходов лечения у 129 из 143 больных котов).

Характеристика остатков и, в частности, соответствие их распределения нормальному закону свидетельствует о достаточно близком распределении остатков к нормальному, а соответственно и о том, что модель достаточно хорошо описывает данные клинических исследований. По сути, такая

модель может являться только экспресс-прогнозом, т.к. строится на основании минимального числа наиболее простых и всегда исследуемых симптомов урологического синдрома кошек.

Заключение. Всегда следует помнить, что организм – многофакторная система, и множество неучтенных факторов могут оказывать существенное влияние на исход болезни, например, погрешности в выполнении лечебных назначений, и особенно хирургических манипуляций, от состояния защитных систем организма, от степени интоксикации, которая как обязательный элемент присутствует при острой задержке мочеиспускания, и от других, возможно, на первый взгляд, малозначительных факторов. Для приближенной оценки прогноза на первом этапе амбулаторного приема котов с острой ишурией, обусловленной УСК, возможно применение уравнения регрессии с рассчитанными коэффициентами. Следует обратить внимание, что по указанным признакам нельзя составить прогноз даже приближенный, а можно только дать оценку с той или иной вероятностью, что мы и предлагаем, например: если у кота имеет место второй случай острой задержки мочеиспускания и за это время наблюдалась рвота, а при катетеризации получена моча красного цвета, удельная плотность которой понизилась до 1,009, то, подставляя значения в баллах в уравнение регрессии, получим значение, равное 0,2, которое означает, что шансов у кота прожить 20 дней мало (0,2 < 0,5), следовательно, прогноз для жизни с большей долей вероятности – неблагоприятный. В подобной клинической ситуации, когда у животного впервые наблюдается острая ишурия, но при этом не отмечалась рвота,

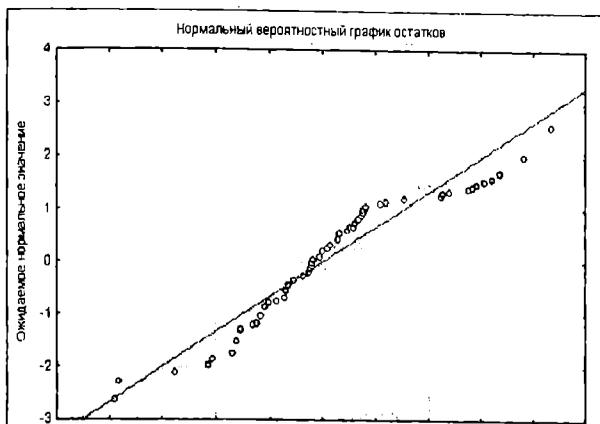


Рис. 2. График остатков на нормальной вероятностной бумаге

а полученная путем катетеризации моча имеет красный цвет и плотность 1,015, то шанс прожить 20 дней с момента оказания помощи довольно велик, т. к. полученное значение уравнения регрессии равно 0,99, что значительно больше 0,5. Когда возникает ситуация, при которой требуется оценить шансы пациента, нельзя быть категоричным, но предлагаемая регрессионная модель может оказать помощь в обосновании лечения, убеждения владельца животного в продолжении лечения; испытании новых лекарственных средств, при обосновании своей позиции в конфликтных ситуациях с владельцами животных.

Библиографический список

1. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов: руководство / В. Боровиков — 2-е изд. (+CD). — СПб.: Изд-во «Питер», 2003. — 688 с.
2. Динченко О.И. Уролитиаз кошек и собак в условиях мегаполиса / О.И. Динченко // Ветеринария. — 2003. — № 9. С. 49–52.
3. Козлов Е.М. Мочекаменная болезнь кошек: монография / Е.М. Козлов. — Новосибирск: [б. и.], 2002. — 52 с.
4. Наследов А.Д. SPSS: Компьютерный анализ данных в психологии и социальных науках: руководство / А.Д. Наследов. — СПб.: Изд-во «Питер», 2005. — 416 с.
5. Чандлер Э.А. Болезни кошек: руководство для ветеринарных врачей / Э.А. Чандлер, К.Д. Гаскел, Р.М. Гаскел. — М.: Изд-во «Аквариум ЛТД», 2002. — 696 с.
6. Юнкеров В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований: учеб. пособ. / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев — СПб.: Изд-во «ВМедА», 2002. — 266 с.

МЕЛЕШКОВ Сергей Федорович, кандидат ветеринарных наук, доцент, заведующий кафедрой клинической диагностики, рентгенологии и радиобиологии института ветеринарной медицины.

Дата поступления статьи в редакцию: 20.09.06 г.

© Мелешков С.Ф.

УДК 636.024.66/341

А. М. МОНАСТЫРЁВ
А. Н. ГИЗАТУЛЛИН
А. П. ОНИЩЕНКО

Уральская государственная академия
ветеринарной медицины,
г. Троицк

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ БЫЧКОВ ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СТРЕССАХ

В результате исследований установлено, что соли брома положительно повлияли на гематологические и биохимические показатели крови.

В 18-месячном возрасте у бычков повысилось содержание гемоглобина и эритроцитов, что характеризует более высокую продуктивность. В конце опыта содержание гемоглобина в крови молодняка, получавшего калия бромид, составило 5,0-11,41 г/л. У животных, получавших калия бромид, отмечается меньшее содержание сахара по сравнению с контрольными животными. Во все периоды жизни показатели кальция, фосфора в сыворотке крови были в пределах физиологических норм.

Таким образом, применение калия бромида с целью коррекции технологических стрессов оказывает благоприятное влияние на течение ряда физиологических процессов в организме, что отражается на морфологических и биохимических показателях крови подопытных животных.

Кровь играет в организме важную роль. Посредством крови осуществляется важнейшее свойство живой материи — обмен веществ. Кровь доставляет клеткам органов тела питательные ве-

щества и кислород, удаляет продукты обмена и углекислоту. Через кровь обеспечиваются гормональная регуляция, защитные функции, поддерживается равновесие электролитов в организме.

Таблица 1

Морфологические показатели крови бычков герефордской, черно-пестрой пород и их помесей в результате скармливания калия бромида

Показатель	Группа		
	1	2	3
	Контрольные подгруппы в 3-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	8,50±0,34	8,30±0,27	8,50±0,30
Лейкоциты, $10^9/л$	7,78±0,36 [*]	7,52±0,32	7,65±0,29 ^{**}
Гемоглобин, г/л	97,40±4,30	97,20±3,80	98,00±4,50
	в 6-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	7,48±0,63	7,54±0,55	7,52±0,61
Лейкоциты, $10^9/л$	8,54±0,48 [*]	8,52±0,48 [*]	8,52±0,38 ^{**}
Гемоглобин, г/л	92,80±4,70 ^{**}	94,3±4,90 [*]	94,60±4,30 [*]
	в 12-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	6,40±0,63	6,20±0,38	6,60±0,57
Лейкоциты, $10^9/л$	9,82±0,72	9,80±0,68	9,78, ±0,38
Гемоглобин, г/л	84,30±4,20 ^{**}	82,23±4,60 [*]	86,55±5,90 [*]
	в 18-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	5,70±0,43	5,40±0,68	5,90±0,38
Лейкоциты, $10^9/л$	9,40±1,63	9,20±1,18	9,80±0,86
Гемоглобин, г/л	85,61±2,70 ^{**}	86,28±4,60 ^{**}	86,85±2,40 ^{**}
	Опытные подгруппы в 3-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	8,62±0,43	8,57±0,38	8,71±0,51
Лейкоциты, $10^9/л$	8,76±0,36 [*]	8,53±0,34	8,71±0,33 ^{**}
Гемоглобин, г/л	99,05±7,60	98,36±8,00	99,27±7,40
	в 6-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	8,00±0,46	8,40±0,43	8,10±0,54
Лейкоциты, $10^9/л$	10,20±0,67 [*]	10,00±0,59 [*]	10,20±0,36 ^{**}
Гемоглобин, г/л	105,20±4,60 ^{**}	108,50±5,40 [*]	107,15±4,20 [*]
	в 12-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	6,70±0,62	6,80±0,54	6,50±0,58
Лейкоциты, $10^9/л$	10,80±0,62	10,20±0,58	10,60±0,64
Гемоглобин, г/л	98,26±3,70 ^{**}	94,69±3,40 [*]	100,63±4,20 [*]
	в 18-мес. возрасте		
Эритроциты, $10^{12}/л$	6,20±0,25	6,10±0,36	6,40±0,48
Лейкоциты, $10^9/л$	9,40±2,17	9,20±1,58	9,60±2,08
Гемоглобин, г/л	90,61±4,20 ^{**}	99,20±3,80 ^{**}	98,26±2,10 ^{**}

^{*}P<0,05, ^{**}P<0,01, ^{**}P<0,001

Она отражает как общее устройство организма, его конституциональные особенности, так и его физиологическое состояние, связанное с отправлением жизненных функций и условиями жизни.

Целью наших исследований явилось изучение морфологических и биохимических показателей крови бычков герефордской, черно-пестрой пород и герефорд х черно-пестрых помесей при использовании калия бромида.

Опыт проводился на базе предприятия ОАО «Ариант-Увельск-Агро» Увельского района Челябинской области. По принципу аналогов в 3-месячном возрасте сформированы 3 группы по 10 голов в каждой. В первую группу входили бычки герефордской породы, во вторую – черно-пестрой породы, а в третью – герефорд х черно-пестрые помеси. Для предупреждения технологических стрессов (перед ветобработкой, взвешиванием, сменой фазы кормления, перегоном на летние пастбища и т.д.) животным скармливали вместе с обычным рационом 0,5 г калия бромида на 100 кг живой массы.

Для сравнения в таблице 1 приведены результаты морфологических исследований крови подопытных животных, получавших калия бромида, и без подкормки калия бромидом в различные жизненные периоды.

Полученные данные говорят о том, что морфологические показатели крови у подопытного молодняка были в пределах физиологической нормы и характеризуют хорошее развитие бычков в трех группах. В результате исследований установлено, что соли брома положительно повлияли на гематологические показатели крови. Произошло достоверное увеличение гемоглобина в возрасте 6 месяцев в опытных группах – в первой подгруппе на 12,4 г/л, или 13,3% (P<0,01); во второй подгруппе на 14,2 г/л, или 15,04 % (P<0,05), и в третьей подгруппе на 12,55 г/л, или на 13,2 % (P<0,05). В возрасте 12 месяцев содержание гемоглобина в крови повысилось на 13,96 г/л (P<0,01), 12,46 г/л (P<0,05) и 14,08 г/л (P<0,05), или на 16,5, 15,1 и 16,2% соответственно. В 18-месячном возрасте у подопытных бычков повышение гемоглобина составило 5,0 г/л, или 5,8%(P<0,001), в первой подгруппе; 12,92 г/л, или 14,9% (P<0,01), во второй подгруппе; 11,41 г/л, или 13,13% (P<0,001), – в третьей подгруппе. Количество лейкоцитов достоверно повысилось в 6-месячном возрасте на 1,66 $10^9/л$ (P<0,05); 1,48 $10^9/л$ (P<0,05) и 1,68 $10^9/л$ (P<0,01), или на 19,4; 17,3; 19,7% соответственно и в 12-месячном возрасте в первой подгруппе на 0,98 $10^9/л$, или на 9,9%; во второй подгруппе на 0,4 $10^9/л$, или на 4,08%; и в третьей – на 0,82 $10^9/л$, или 8,38%, однако в 18-месячном возрасте

Таблица 2

Биохимические показатели крови подопытных животных

Показатель	Группа		
	1	2	3
Контрольные подгруппы в 3-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,88±0,44 [*]	2,74±0,47 [*]	3,24±0,14 ^{***}
Кальций, ммоль/л	3,31±0,20	3,20±0,16	3,42±0,14
Фосфор, ммоль/л	1,98±0,19	1,82±0,11	2,08±0,15
Холестерин, ммоль/л	2,49±0,16 [*]	2,71±0,20 ^{***}	2,83±0,14 ^{***}
в 6-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,60±0,10	2,56±0,16	2,50±0,38
Кальций, ммоль/л	2,96±0,11	3,28±0,15	2,94±0,09
Фосфор, ммоль/л	1,78±0,10	2,04±0,07	1,81±0,05 ^{***}
Холестерин, ммоль/л	3,22±0,19	3,12±0,09	3,25±0,54
в 12-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,24±0,24	2,36±0,19	2,68±0,15
Кальций, ммоль/л	2,84±0,15	2,48±0,14	3,15±0,14
Фосфор, ммоль/л	1,84±0,18	1,92±0,25	2,02±0,19
Холестерин, ммоль/л	3,38±0,18	3,26±0,14	3,34±0,17
в 18-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,45±0,18	2,48±0,21	2,58±0,21
Кальций, ммоль/л	3,24±0,24	3,18±0,15	3,26±0,15
Фосфор, ммоль/л	2,21±0,12	2,35±0,18	2,44±0,16
Холестерин, ммоль/л	3,36±0,15	3,31±0,25	3,45±0,18
Опытные подгруппы в 3-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,10±0,10 [*]	1,95±0,16 [*]	2,02±0,08 ^{***}
Кальций, ммоль/л	3,00±0,11	2,82±0,15	2,83±0,08 ^{***}
Фосфор, ммоль/л	2,15±0,10	2,04±0,07	2,02±0,05
Холестерин, ммоль/л	1,96±0,19 ^{***}	2,18±0,09 ^{***}	2,04±0,18 ^{***}
в 6-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,68±0,15	2,59±0,18	2,61±0,11
Кальций, ммоль/л	2,98±0,25	3,32±0,14	3,12±0,18
Фосфор, ммоль/л	1,80±0,15	2,08±0,12	2,12±0,08 ^{***}
Холестерин, ммоль/л	3,24±0,25	3,21±0,1	3,31±0,06
в 12-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,36±0,15	2,42±0,15	2,75±0,20
Кальций, ммоль/л	2,96±0,20	2,64±0,12	3,18±0,12
Фосфор, ммоль/л	1,98±0,14	1,99±0,15	2,04±0,14
Холестерин, ммоль/л	3,29±0,12	3,31±0,13	3,36±0,16
в 18-мес. возрасте			
Глюкоза, ммоль/л	2,56±0,18	2,54±0,25	2,62±0,14
Кальций, ммоль/л	3,36±0,14	3,25±0,13	3,31±0,15
Фосфор, ммоль/л	2,28±0,16	2,68±0,21	2,54±0,12
Холестерин, ммоль/л	3,41±0,21	3,39±0,18	3,53±0,21

*P<0,05, **P<0,01, ***P<0,001

произошло выравнивание показателей в контрольных и опытных подгруппах и составило $9,4 \cdot 10^9/\text{л}$ в первой подгруппе; $9,2 \cdot 10^9/\text{л}$ во второй подгруппе и $9,6 \cdot 10^9/\text{л}$ в третьей подгруппе. В 18-месячном возрасте у бычков повысилось содержание гемоглобина и эритроцитов, что характеризует более высокую продуктивность. В конце опыта содержание гемоглобина в крови молодняка, получавшего калия бромид, было выше, чем у бычков контрольных подгрупп. Повышенное содержание эритроцитов и гемоглобина в крови бычков опытных подгрупп характеризует более высокую продуктивность.

Нами также исследован биохимический состав крови подопытных животных. Динамика глюкозы, кальция, фосфора, холестерина в определенной степени позволяет судить об уровне и интенсивности обмена веществ в организме и дает представление об обеспеченности некоторыми питательными веществами. Результаты биохимических исследований сыворотки крови подопытных бычков представлены в таблице 2.

Из данных таблицы 2 следует, что у животных, получавших калия бромид, отмечается меньшее содержание сахара по сравнению с животными, не получавшими калия бромид, что можно объяснить мобилизацией его на формирование живой массы. Достоверные отличия наблюдаются в 3-месячном возрасте и составляют $0,78 \text{ ммоль/л}$, или 37,1%, в первой подгруппе ($P<0,05$); $0,79 \text{ ммоль/л}$, или 40,5%, во второй подгруппе ($P<0,05$) и $1,22 \text{ ммоль/л}$, или 60,3%, в третьей подгруппе ($P<0,001$). По содержанию кальция и фосфора в сыворотке крови существенной разницы у бычков разных подгрупп не наблюдалось, что свидетельствует об обеспеченности животных этими питательными веществами и нормальном течении минерального обмена. Во все периоды жизни эти показатели были в пределах физиологических норм. В то же время содержание холестерина достоверно уменьшилось в 3-месячном возрасте (I – $0,53 \text{ ммоль/л}$; II – $0,53 \text{ ммоль/л}$; III – $0,79 \text{ ммоль/л}$, или 27,0; 24,3 и 38,7% соответственно, при достоверности $P<0,001$),

хотя у всех подопытных бычков оно находилось в пределах нормы.

Таким образом, как видно из проведенных экспериментов, применение калия бромида с целью коррекции технологических стрессов при производстве говядины оказывает благоприятное влияние на течение ряда физиологических процессов в организме, что отражается на морфологических и биохимических показателях крови подопытных животных.

МОНАСТЫРЕВ Анатолий Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы непродовольственных товаров.

ГИЗАТУЛЛИН Ахмет Назипович, кандидат биологических наук, доцент, проректор по НИР.

ОНИЩЕНКО Алена Павловна, аспирант.

Дата поступления статьи в редакцию: 16.10.06 г.

© Монастырев А.М., Гизатуллин А.Н., Онищенко А.П.

УДК 611 316 599 74

Д. Н. ЗЕЛЕНЕВСКИЙ
Г. А. ХОНИН

Институт ветеринарной медицины

МОРФОЛОГИЯ СЛЮННЫХ ЖЕЛЁЗ ХОРЯ ЗОЛОТИСТОГО

Установлено, что слюнные железы хоря золотистого наряду с общими морфологическими закономерностями имеют выраженные в разной степени видовые и индивидуальные особенности.

Материалы исследований рекомендуется использовать:

- при написании соответствующих разделов по сравнительной анатомии позвоночных, руководств и учебных пособий по морфологии, а также в учебном процессе на факультетах ветеринарной медицины, зооинженерном и биологическом;
- в экспериментальной морфологии при изучении закономерностей структурно-функциональной организации слюнных желез пушных зверей.

Актуальность проблемы — хорь золотистый используется в промышленном звероводстве для получения ценного пушно-мехового сырья. В последнее время все чаще его содержат в условиях городских квартир. Следует отметить, что морфология этого хищного млекопитающего до настоящего времени изучена недостаточно.

Цель нашего исследования — изучить морфологию больших слюнных желез хоря золотистого. Материалом для исследования служили взрослые звери. Методы исследования: обычное и тонкое препарирование, изготовление просветленных, светооптических и электронно-микроскопических гистологических препаратов.

Большие слюнные железы хоря золотистого представлены околоушной, нижнечелюстной, подъязычной, щечной и скуловой.

Околоушная железа желто-розового цвета, лежит у основания ушной раковины в виде небольшого неправильного треугольника. Вершина его направлена вентрально и достигает нижнечелюстного лимфатического узла. Общий проток железы пересекает большую жевательную мышцу и открывается в защечное преддверие рта. По характеру строения концевых отделов она ацинарно-трубчатая, а по характеру выделяемого секрета — серозно-слизистая.

Нижнечелюстная слюнная железа хоря золотистого имеет округло-овальную форму, цвет ее светло-желтый. Синтопически она связана с гортанью, располагаясь вблизи ее щитовидного хряща.

Правая и левая железа смещены к медианной плоскости и почти соприкасаются друг с другом. По характеру строения она трубчато-альвеолярная, а по выделяемому секрету — мукозная. Проток железы открывается на голодной бородавке.

Подъязычная железа бледно-розового цвета в форме вытянутого овала лежит на дне ротовой полости. Она состоит только из длиннопротоковой части. Железа имеет два-три протока, вливающих в проток нижнечелюстной железы.

Щечная железа округлой формы, бледно-розового цвета, лежит в тканях щеки. Несколько протоками она открывается в защечное преддверие рта.

Скуловая железа в виде уплощенного овальной формы бледно-розового органа лежит вентромедиально от скуловой дуги. Двумя-тремя протоками она открывается в защечное преддверие рта.

Каждая железа имеет постоянную скелето- и синтопию, покрыта хорошо развитой соединительно-тканной капсулой, состоящей в основном из пучков переплетающихся коллагеновых волокон и аморфного вещества. Соединительно-тканная перегородка делит железу на хорошо контурированные субдольковые единицы — аденомеры. Каждый аденомер детерминирован постоянным клеточно-тканевым составом и синтопически связанными с ним звеньями гемомикроциркуляторного русла.

Дольки больших слюнных желез имеют концентрически-радиальную форму пространственной организации экскреторных протоков и элементов

гемомикроциркуляторного русла. В радиальном направлении к каждому аденомеру отходит прекапилляр, располагающийся по центру аденомера и отдающий многочисленные периацинарные капилляры. Последние дугообразно изгибаются, соединяются многочисленными анастамозами, формируя мелкопетлистую сеть с ячейками полигональной формы. Такая сеть охватывает два-четыре концевых отдела железы, так что самостоятельной сети для каждого ацинуса не существует. Сливаясь, капилляры формируют не менее двух посткапилляров. Последние располагаются между смежными ангиоаденомерами и отводят венозную кровь, как правило, не менее чем из двух структурно-функциональных единиц слюнной железы. Каждый аденомер четко контурирован прослойками соединительной ткани и имеет относительно изолированное гемомикроциркуляторное русло.

Гландулоциты околоушной железы коническо-призматической формы, базальная часть их расширена, обладает выраженной базофилией и содержит ацентрически расположенное ядро с конденсированным хроматином и хорошо развитым ядрышком.

При цитологическом исследовании установлено, что основное количество гранулярного эндоплазматического ретикула, формирующего концентрически упакованные цистерны, сосредоточено базальнее ядра. В этой же зоне цитоплазмы часто обнаруживается пластинчатый комплекс и небольшое количество секреторных пузырьков. Свободные рибосомы и полисомы сосредоточены в основном в апикальной части клетки. Здесь постоянно обнаруживается пластинчатый комплекс, расположенный между секреторными гранулами.

Апикальная часть плазмолеммы снабжена микроворсинками, обращенными в просвет ацинуса. Длинные ворсинки наблюдаются и по бокам клетки вблизи их основания, где расстояние между смежными гранулоцитами заметно увеличивается, за счет чего формируется система межклеточных канальцев. Боковые части плазмолеммы часто извилистые и образуют контакты типа «замок». Между ацинарными glandулоцитами установлено наличие десмосом и плотных контактов. В области последних имеются пиноцитарные пузырьки, свидетельствующие о наличии межклеточного обмена. Базальная часть мембраны принадлежит к волокнистой подэпителиальной пластинке, с внешней стороны которой располагается ее электронно-прозрачный слой.

Клетки вставочного отдела околоушной железы имеют кубическую форму с высоким ядерно-плазменным отношением. Подобно ацинарным glandулоцитам, они содержат электронно-прозрачные и электронно-плотные гранулы секрета. Кроме них, над апикальной поверхностью ядер располагается пластинчатый комплекс и многочисленные свободные рибосомы. Между ядром и базальной мембраной сосредоточено основное количество шероховатого эндоплазматического ретикула и многочисленные свободные рибосомы.

Апикальная часть плазмолеммы снабжена небольшим количеством мелких ворсинок. В просвете обычно наблюдается значительное количество хлопьевидного или тонкофибрилярного секрета. Боковые части плазмолеммы glandулоцитов тубулярных вставочных отделов образуют соединения типа «замок», чаще здесь отмечается наличие десмосом и плотных контактов. На отдельных участ-

ках контактирующие мембраны образуют между собой щелевидные пространства, которые мы относим к межклеточным каналам.

Исчерченные выводные протоки околоушной железы хоря золотистого имеют большой просвет и состоят из тубулярных glandулоцитов цилиндрической формы. При светооптическом исследовании видно, что ядра смещены базально, а цитоплазма обладает выраженной базофилией. Ультраструктура этих клеток позволяет подразделить их на: призматические glandулоциты с электронно-прозрачным и электронно-плотным цитоплазматическим матриксом и клетки треугольной формы с высоким ядерно-плазменным отношением. Первые, содержащие небольшое число секреторных гранул и слабо развитый гранулярный ретикулум, мы рассматриваем как более раннюю стадию развития вторых, а третьи относим к малодифференцированным камбиальным клеткам.

В базальной части цитоплазмы клеток исчерченного отдела имеются многочисленные цистерны гранулярного эндоплазматического ретикула, часто упакованного в виде концентрически расположенных цистерн. Апикальная часть клеток содержит многочисленные пузырьки разной электронной плотности и размеров, окружена хорошо развитой мембраной.

Клетки исчерченного протока связаны между собой десмосомами и терминальными перемычками, а на апикальной поверхности снабжены многочисленными микроворсинками.

Экскреторные протоки строятся высокими тубулярными glandулоцитами, среди которых в дистальной части протока иногда встречаются единичные бокаловидные слизистые клетки.

Между основными столбчатыми glandулоцитами, разделяющимися в зависимости от плотности цитоплазматического матрикса на «светлые» и «темные», находятся мелкие клетки треугольной формы. Ядра последних при светооптическом исследовании окрашиваются более интенсивно.

В темных столбчатых клетках матрикс цитоплазмы обладает значительной электронной плотностью, гранулярный ретикулум хорошо развит и сосредоточен в ее базальной части. Ядро располагается несколько ацентрически и окружено гигантскими митохондриями. Над апикальным полюсом ядра сосредоточены пластинчатый комплекс, основная масса рибосом и многочисленные мембранизированные секреторные гранулы.

В светлых столбчатых клетках отмечается наличие единичных митохондрий, гранулярная эндоплазматическая сеть в них развита слабо, а хроматин в их ядрах равномерно распределен и имеет менее выраженную конденсацию.

Мелкие треугольные, базально расположенные клетки внутридолькового эксcretорного протока по высоте короче и редко достигают середины столбчатых. Они имеют электронно-прозрачную цитоплазму с малым количеством гранулярного ретикула и многочисленными полисомами. В них имеются единичные мелкие митохондрии. Эти клетки являются, по-видимому, недифференцированными и исходными для образования темных и светлых клеток внутридолькового выводного протока.

Особого внимания заслуживает тот факт, что в тубулярных glandулоцитах внутридолькового эксcretорного протока прослеживается четкая дифференцировка их по плотности секреторных

гранул. В одних гранулы, за редким исключением, электронно-плотные, в других — только электронно-прозрачные, а в третьих имеются примерно в равных количествах как те, так и другие.

Мукоциты концевых отделов имеют пирамидальную или трехгранную форму. С базальной стороны они расширены, куда смещено ядро с бухтообразными впячиваниями кариолеммы и сильно конденсированным хроматином. Апикальная часть клетки имеет губчатый вид за счет скопления здесь полупрозрачного секрета.

Электронно-микроскопические исследования показали, что в базальной части мукоцита располагается четко выраженный гранулярный ретикулум с параллельно ориентированными, нередко концентрически упакованными цистернами. Средняя и апикальная части клетки заполнены мембранизированными секреторными гранулами.

К наружной поверхности слизистых ацинусов нижнечелюстной железы хоря золотистого примыкают скопления сероцитов, имеющих на срезе полулунную форму. Последние имеют треугольную форму и, как правило, один длинный отросток, достигающий просвета ацинуса. В центре такого сероцита располагается ядро с сильно конденсированным хроматином. Над апикальным полюсом ядра располагается основное количество гранулярной эндоплазматической сети, а апикальнее ее видны вакуоли и мембраны пластинчатого комплекса.

Снаружи от плазмолеммы и базальной мембраны гландулоцитов слюнных желез хоря золотистого обнаруживаются миоэпителиальные клетки. Цитоплазматический матрикс последних обладает высокой электронной плотностью, эндоплазматическая сеть в них развита слабо, а в длинных тонких и плоских отростках локализируются многочисленные миофиламенты. Максимальное число их отмечено у места отхождения вставочного протока от концевой ветви. Однако довольно часто встречается их периацинарное расположение. Эти клетки имеют центральную область, содержащую ядро, и многочисленные длинные цитоплазматические отростки, охватывающие гландулоциты.

Электронно-микроскопическое исследование показало, что миоэпителиоциты больших слюнных желез хоря располагаются, в отличие от устоявшегося мнения, между листками базальной мембраны, окружающими гландулоцит. Митохондрии в них немногочисленные и рассеяны вокруг ядра и в длинных отростках. Эндоплазматическая сеть в миоэпителиоцитах представлена незначительным числом коротких цистерн, а пластинчатый комплекс выражен слабо.

В остальных отделах нижнечелюстной слюнной железы хоря золотистого вставочные, исчерченные и внутридольковые секреторные протоки имеют сходное строение с аналогичными клетками околоушной железы.

Подъязычная железа у хоря золотистого однопротоковая, располагается между двубрюшной и шилоязычной мышцами. Она представляет собой компактный, сжатый с боков орган альвеолярно-трубчатого строения с преобладанием слизистых концевых отделов. Закономерности ультраструктуры ацинарных и тубулярных гландулоцитов сходны с аналогичными структурами нижнечелюстной и околоушной желез.

Скуловая железа хоря золотистого — это компактный дольчатый орган, представленный двумя частями. Дорсальная из них располагается в области глазницы, а вентральная — плотно прилегает к крыловидно-нижнечелюстной складке. Она имеет сложное трубчато-альвеолярное строение с преобладанием слизистых концевых отделов. Закономерности ультраструктуры ацинарных и тубулярных гландулоцитов (серозных и слизистых) сходны с аналогичными структурами нижнечелюстной и околоушной желез.

Особо следует отметить строение стромы больших слюнных желез хоря золотистого. Между ацинусами и протоками располагается рыхлая соединительная ткань с довольно слабым развитием коллагеновых волокон. Обращает на себя внимание наличие в ней базофильных гранулоцитов и плазмоцитов.

Таким образом, большие слюнные железы хоря золотистого (околоушная, нижнечелюстная, подъязычная, скуловая и щечная) представляют собой компактные дольчатые органы, покрытые капсулой. В состав каждой дольки железы входят концевые отделы, вставочные и исчерченные выводные протоки. Структурно-функциональной единицей слюнной железы является аденомер, детерминированный постоянным клеточно-тканевым составом и модулем гемомикроциркуляторного русла.

ЗЕЛЕНЕВСКИЙ Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры анатомии, гистологии, цитологии и эмбриологии домашних животных.

ХОНИН Геннадий Алексеевич, доктор ветеринарных наук, профессор, директор Института ветеринарной медицины ОмГАУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.11.06 г.
© Зеленецкий Д.Н., Хонин Г.А.

Юбилеи и знаменательные даты

СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ ОГНЁВ

Советский биолог

120 лет со дня рождения (17 ноября 1886 — 1951)

Основные труды — по систематике и фаунистике млекопитающих; работы по фауне птиц, истории зоологии, биогеографии, эволюции животных. Описал ряд новых видов млекопитающих, много внимания уделял делу охраны природы. Автор труда «Звери СССР» — классической основополагающей сводки по фауне млекопитающих СССР, а также учебников, руководств, очерков и популярных книг по зоологии. Лауреат Государственных премий СССР (1942, 1951).

ПАЗАРИТОФАУНА РЫБ СРЕДНЕГО ПРИИРТЫШЬЯ

Гельминтозы рыб издавна являются объектом особого интереса как возбудители болезней человека и животных. Изучение распространения гельминтозов, экстенсивности и интенсивности инвазии, а также возрастной и сезонной динамики необходимо в познании гельминтозов.

В рационе питания человека возросла доля рыбы, что повысило риск заражения человека особо опасными инвазионными болезнями, такими, как описторхоз и дифиллоботриоз.

При анализе данных литературных источников выяснилось, что и гельминтозы, и, соответственно, вызываемые ими заболевания в районе среднего Прииртышья практически не изучались.

Актуальность проблемы — изучение паразитофауны рыб Обь-Иртышского бассейна и водоемов было начато в 1924 году, целью которого являлось изучение паразитофауны позвоночных. Начиная с 1930 года, эти исследования начали проводиться регулярно.

В 1948 году впервые была дана зоогеографическая характеристика паразитов рыб Сибири Г.К. Петрушевским и О.Н. Бауер (1948). В период с 1945 по 1975 год в Сибири были проведены многочисленные ихтиопаразитологические исследования.

За последние 40 лет полному паразитологическому исследованию в Западной Сибири были подвергнуты рыбы семейств: осетровые, лососевые, хариусовые, корюшковые, щуковые, карповые, вьюнковые, тресковые, окуневые, бычковые.

В результате проведенных исследований в Обь-Иртышском бассейне зарегистрировано около 270 видов паразитов рыб.

Давно замечено, что некоторые паразитарные заболевания распространены в определенной местности. В Российской Федерации паразитарные заболевания чаще всего встречаются на территории речных бассейнов Волги, Камы, Днепра, Урала, Енисея. Наиболее мощный очаг этих заболеваний расположен в Обь-Иртышском бассейне. Здесь в некоторых районах взрослое население заражено от 40 до 90%, в 20-40% - дети.

Заражение происходит при употреблении в пищу сырой или недостаточно обработанной рыбы, в которой личинки остаются жизнеспособными. Заразиться можно и от однократного употребления необработанной рыбы. Иногда оказывается достаточным для заражения случайного попадания в пищу мелких кусочков рыбы, оставшихся на руках или кухонных предметах после разделки рыбы.

В реках Омской области обитают следующие виды рыб:

- осетровые (осетр, стерлядь);
- сиговые (муксун, пелядь);
- карповые (плотва, язь, карась, лещ, елец, линь, карп, сазан);
- окуневые (окунь, ерш, судак);
- щуковые (щука);
- тресковые (налим).

Значительную часть товарной продукции озерных хозяйств области составляют карась, карп, пелядь, судак.

По результатам собственных исследований и литературных данных установлено, что водоемы Омской области неблагоприятны по описторхозу и дифиллоботриозу, в связи с этим для обеспечения эпизоотического и эпидемиологического благополучия следует уделять особое внимание профилактике распространения болезней.

Паразитофауна рыб среднего Прииртышья в основном представлена *Opisthorchis felinus*, *Diphyllobothrium latum*, экстенсивность инвазии составляет: описторхоз от 25 % до 100 %, дифиллоботриоз от 14,2 % до 32 %.

Описторхоз - наиболее тяжелый гельминтоз из числа трематодозов, передаваемых человеку с рыбой.

Описторхоз вызывает трематода *Opisthorchis felinus*, относящаяся к семейству *Opisthorchidae*, отряду *Fasciolata*. Развитие описторхоза происходит при участии двух промежуточных хозяев. Человек или плотоядное млекопитающее, съев зараженную рыбу в сыром или плохо проваренном виде, заражается описторхозом. Паразит достигает половой зрелости в желчных протоках печени (Беэр, 1969).

Распространение описторхоза связано с моллюском битинией, обитающим в мелководных, пересыхающих, пойменных водоемах. Поэтому описторхоз приурочен к бассейнам равнинных, медленно текущих рек с широкой поймой, таких как Обь и Иртыш (Скрябин, 1932; 1950; Мясоедов, 1960; Храмов и др., 1984; Филатов и др., 1984). Таким образом, описторхоз является типичной очаговой болезнью. Метацеркарии описторхисов локализуются в мускулатуре озерно-речных карповых. В бассейне Оби потенциальными носителями личинок возбудителя описторхоза являются следующие виды рыб семейства карповых: язь, плотва, красноперка, лещ, линь, пескарь, голянь. Чисто озерные рыбы - карась серебряный и золотой, озерный голянь и другие, а также чисто речные - сьть и усач карповые не заражаются даже в условиях эксперимента (Фаттахов, 1996).

Зараженность рыб с возрастом увеличивается. Половозрелые описторхисы паразитируют у человека, кошки, собаки, различных мышевидных грызунов, пушных зверей и многих других млекопитающих. Наиболее часто носителем описторхоза являются кошки. Описторхоз как заболевание человека обнаруживается в районах обитания описторхиса. Он особенно распространен среди людей, занимающихся рыбным промыслом (Скрябин, 1932; Шайгородский, 1994; Фаттахов, 1996; Степанова, 2001). Также большая пораженность наблюдается в звероводческих хозяйствах.

При обследовании ряда семейств рыб, носителей описторхоза, нами заметных изменений не было обнаружено. У окончательных хозяев при массовом заражении наблюдается закупорка желчных ходов, цирроз печени, иногда со смертельным исходом, в некоторых случаях рак печени.

Экстенсивность инвазии варьирует от 8% до 100%.

Мы считаем, что основной мерой профилактики является личная профилактика, заключающаяся в отказе от употребления в пищу сырой, свежемороженой, слабосоленой рыбы из семейства карповых. Метациркуляции описторхоза остаются живыми при - 8...-10°C в течение 17 суток. Только законченные технологические процессы, применяемые на заводах, вызывают полное обеззараживание рыбных продуктов. Снижение зараженности рыб можно достичь путем подавления численности моллюсков в прудах, выпасая там уток, и зарыблением прудов карасями.

Дифиллоботриоз. Возбудитель заболевания - широкий лентец рода *Diphyllobothrium* относится к отряду Pseudophyllidae. Тело его состоит из члеников, длина иногда достигает 20 м и более. Широкий лентец паразитирует в кишечнике не только человека, но и кошки, собаки, лисицы и других плотоядных млекопитающих. Развитие лентеца протекает при участии двух промежуточных хозяев. Человек и другие млекопитающие заражаются лентецом, поедая рыбу в сыром или плохо проваренном виде. Плероцеркоид прикрепляется к стенке кишечника окончательного хозяина, растет, образуя стробилу, и превращается в половозрелого паразита.

Распространителями плероцеркоидов лентеца широкого служат преимущественно рыбы: щука, окунь, ерш, налим, судак, а также некоторые лососевые.

Человек заражается, поедая сырые рыбные продукты с живыми плероцеркоидами.

Существенное значение в эпидемиологии дифиллоботриоза имеет загрязнение водоемов яйцами лентеца. Они попадают в водоем с бытовыми стоками, фекалиями. Дифиллоботриоз особенно распространен среди населения, живущего у водоемов.

Дифиллоботриоз - болезнь, приводящая к длительной потере трудоспособности, а иногда и к смерти. Наблюдается общее ослабление организма, нарушение деятельности кишечника и желудочно-кишечного тракта, тошнота, рвота, давление в поджелудочной области, иногда периодические

обмороки. В тяжелых случаях развивается резко выраженная амнезия, вызванная тем, что широкий лентец извлекает из организма витамин В12, в состав которого входит кобальт.

Экстенсивность инвазии варьирует от 5% до 100%.

Профилактические меры необходимо осуществлять в двух направлениях:

1) Предотвращение попадания яиц лентеца широкого с фекалиями в воду путем запрещения устройства уборных на берегу водоема, обеззараживания бытовых сточных вод, дегельминтизации носителей дифиллоботриума. Недопустимо выбрасывать внутренности рыб, переработанных на судах.

2) Путем обеспечения личной гигиены питания, исключая потребление в пищу сырой рыбы и сырой икры, недостаточно обработанных рыбных продуктов.

Согласно ретроспективному анализу по заболеваемости населения Омской области гельминтозами наиболее высокий показатель инвазированности наблюдается в районах, расположенных вблизи реки Иртыш, и составляет до 300 случаев в год по описторхозу и до 18 случаев по дифиллоботриозу.

На основании вышеизложенного необходимо проводить мониторинг по изучению формирования паразитофауны рыб в озерах и реках за длительный промежуток времени, происходящих как под влиянием изменений естественного режима водоема, так и в результате хозяйственной деятельности человека с последующим внедрением комплекса ветеринарно-санитарных мероприятий.

Библиографический список

1. Грищенко Л.И. Болезни рыб и основы рыбоводства / Л.И. Грищенко, М. Ш. Акбаев., И. М. Васильков. - М.: Колос, 1999 - 456 с.
2. Строкин М.М. Гельминтологическая оценка среднего Прииртышья по описторхозу / М. М. Строкин, В. И. Околенов. // Вестник Омского государственного аграрного университета: материалы региональной науч. конф. молодых ученых аграрных вузов Сибирского федерального округа (20-21 мая 2003 года) - Омск: Изд-во ОмГАУ, 2003 - С. 88-89.
3. Строкин М.М. Гельминтофауна рыб среднего Прииртышья. / М. М. Строкин // Актуальные вопросы теоретической и практической паразитологии: сб. науч. тр. / ИВМ ОмГАУ.- Омск, 2004. - С. 240-243.
4. Строкин М.М. Заболеваемость людей дифиллоботриозом в зоне Иртышского бассейна / М. М. Строкин, В. И. Околенов // Актуальные вопросы теоретической и практической паразитологии: сб. науч. тр. / ИВМ ОмГАУ. - Омск, 2004. - С. 243 - 244.
5. Титова С.Д. Паразиты рыб Западной Сибири / С. Д. Титова. - Томск: Наука, 1968. - 172 с.
6. Щербина А.К. Болезни рыб / А. К. Щербина. - Киев: Урожай, 1973. - 403 с.

СТРОКИН Максим Михайлович, аспирант кафедры паразитологии.

ОКОЛЕЛОВ Владимир Иванович, доктор ветеринарных наук, профессор.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.11.06 г.
© Строкин М.М., Околенов В.И.

Книжная полка

Глеб Всеволодович Добровольский / сост. С. А. Шоба, Н. П. Матехина; авт. вступ. ст. С. А. Шоба. - М.: Наука, 2006. - 6 л. - (Материалы к биобиблиографии ученых).

¹ Омский государственный педагогический университет

² Томский государственный университет

³ Институт систематики и экологии животных СО РАН

СТРУКТУРА, ОРГАНИЗАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА НАСЕЛЕНИЯ ПТИЦ ТОБОЛО-ИРТЫШСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ И СТЕПИ В ЛЕТНИЙ И ЗИМНИЙ ПЕРИОДЫ

На основании данных учетов птиц с 1982 по 2002 год проведено исследование структуры, организации и характеристики населения птиц тоболо-иртышской лесостепи и степи в летний и зимний периоды.

Материалы собраны нами в 1984 г. в Притоболье и Приишимье (Курганская область: окрестности посёлков Рекорд Макушинского района и Белое Куртамышского района), и в 1986-87 гг. в Прииртышье (Омская область: город Омск, посёлок городского типа Москаленки и посёлок Тумановка Москаленского района, посёлок Луговое Таврического района, а также окрестности этих населённых пунктов). В средне-тобольской лесостепной провинции, которая занимает юго-западную часть Западно-Сибирской равнины, район работ располагался в окрестностях пос. Старо-Щадрино Упоровского района и пос. Южно-Дубровное Армизовского района Тюменской области в 1982 и 1983 гг. В южной лесостепи — у города Макушино и пос. Белое Куртамышского района Курганской области. В южной лесостепи Прииртышья летом 1986-1987, 1990, 1997, 2004 гг. и зимой 1986-1988 гг. обследована территория города Омска и его окрестностей в пределах 50-километровой зоны. Западнее Омска в этой подзоне в 1987 г. обследован ключевой участок, расположенный примерно в 110 км от Омска на междуречье Иртыша и Ишима (окрестности пос. городского типа Москаленки, пос. Тумановка и Виноградовка Москаленского района Омской области). В 1998, 2000, 2002 гг. нами обследованы ландшафты северной лесостепи Прииртышья (окрестности пос. Хутора Тюкалинского района Омской области). Самый восточный ключевой участок (окрестности пос. Яковлевка Горьковского района Омской области) расположен в западной части Барабинской географической провинции. Пойменный лесостепной ключевой участок, обследованный в 1987 году расположен примерно в 110 км от города Омска в пойме Иртыша в окрестностях пос. Луговое Таврического района Омской области. В северной подзоне степной зоны обследованы окрестности пос. Аксуат Боровского района и пос. Новонежинка Семизерного района. В южной подзоне степи учётывались в окрестностях пос. Старый Наурзум, который расположен в провинции Кустанайской (Тоболо-Убаганской) равнин-

ной степи. В северной степи Прииртышья в 1999 и 2001 гг. нами обследована Ишимо-Иртышская провинция черноземных степей (окрестности пос. Нововаршавка и Южное Павлоградского района Омской области).

Учёты птиц проводили с 16 мая по 31 августа. При этом за двухнедельный отрезок времени проходили с учётом по 5 км в каждом из местообитаний, а вдоль берегов рек и водоемов — по 10 км. Пересчет на площадь проводили интервальным способом, по средней дальности обнаружения (Равкин, 1967). Результаты учетов усредняли по каждой половине месяца и по I и II половинам лета (до середины июля и после). Всего обследовано 144 местообитания.

Для выявления основных особенностей распределения птиц тоболо-иртышской лесостепи и степи по местообитаниям в течение лета и зимы использован метод факторной классификации (Трофимов, 1976; Трофимов, Равкин, 1980). По I половине лета для 235 видов нами выделено 4 типа предпочтительности птицами местообитаний. Во II половине лета (с 16 июля по 31 августа) для 217 видов птиц также выявлено 4 типа предпочтительности и три группы объединений для 138 местообитаний. Это лесостепные среднеоблесенные, частично облесенные, открытые и закустаренные (незастроенной суши), водно-околоводные (реки и озера или их берега) и антропогенные (застроенной суши). Всего обследовано 138 урочищ тех же ключевых участков, что и в I половине лета. В зимний период во время учетов на тех же ключевых участках, что в летний период работ, отмечено 48 видов птиц, или 19 % от числа обитающих в тоболо-иртышской лесостепи и степи видов. Всего обследовано 70 местообитаний. В зимний период сохраняются только три типа предпочтения птицами местообитаний из четырех, выделенных для летнего периода. Это объясняется тем, что все птицы, предпочитающие поля открытые и облесенные, водоемы и водотоки, перелетные. Территориальное размещение видов птиц в зимний период в тоболо-иртышской лесо-

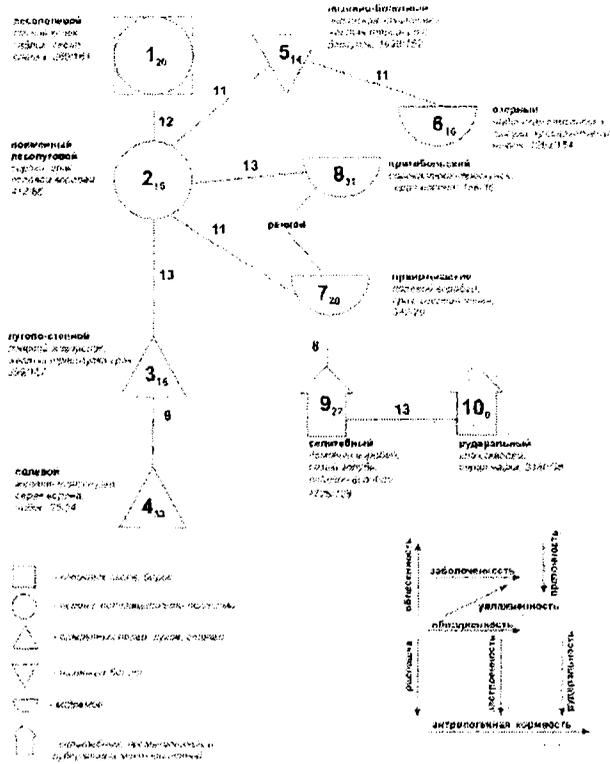


Рис. 1.

степи можно представить в виде предпочтения в виде трех «полюсов» в отличие от двух «полюсов» северной тайги: лесного и поселкового (Вартапетов, 1998): лесополевого, лугово-поле-болотного и синантропного.

Среди выделенных типов и подтипов орнитокомплексов тоболо-иртышской лесостепи и степи максимальной привлекательностью для жизни птиц обладают селитенные и рудеральные ландшафты, а также озерные и низинно-болотные, последний тип в перечне предпочтительных птицами выделов выделен лишь в I половине лета. Во II половине лета из-за иссушения и пастбищной дигрессии его привлекательность для птиц становится минимальной. В лесопольных, лугово-полевых и лесолуговых типах и подтипах населения птиц показатели обилия гораздо ниже, что объясняется снижением разнообразия и продуктивности растительных сообществ, в том числе и за счет значительной антропогенной трансформации ландшафтов. Суммарное обилие птиц в Ишимской лесостепи и степи Тургайской депрессии повсеместно выше в северной лесостепи и снижается к южной лесостепи, и далее к степной зоне. Это связано с усилением аридизации климата, уменьшением к югу числа водоемов, озер и площади колючих лесов (Блинова, Блинов, 1999). Однако в лесостепи и степи Прииртышья наоборот, возрастание обилия птиц отмечено в южной лесостепи, что объясняется нахождением там миллионного города Омска с его активным воздействием на окружающие ландшафты в пределах 50 км зоны. Затем в прииртышской северной степи снижение плотности населения вновь продолжается после антропогенного южнолесостепного «сгустка» и характеризуется высоким обилием птиц лишь на слабосоленых степных озерах, как и в южной части Приишимья и степи Тургайской депрессии. Это объясняется образованием круп-

ных линных скоплений гусеобразных из Новосибирской и с севера — Омской области. Сходная тенденция возрастания суммарного обилия птиц в лесостепной зоне отмечена в агроландшафтах Урала, что свидетельствует о тенденции к снижению экологической емкости агроценозов для птиц и к северу, и к югу от лесостепи (Коровин, 2004). В лесостепи и степи Тоболо-Прииртышья доминируют, как правило, синантропные виды, что сигнализирует о значительной трансформации их ландшафтов (Константинов и др., 1984). Больше всего видов птиц зафиксировано для наиболее мозаичных и структурно-неоднородных подразделений лесопольного, лугово-степного, низинно-болотного и озерного типов населения. Несколько ниже видовое богатство в селитебном типе, особенно в послегнездовой период, когда начинаются внутриареальные кочевки и постепенный отлет птиц. Минимальное число видов птиц в зимний и летний периоды характерно для открытых луговых и полевых ландшафтов, что ранее отмечено для северной тайги Западной Сибири (Вартапетов, 1998).

Пространственно-типологическую структуру населения птиц выводят с помощью факторной классификации по коэффициентам сходства Жаккара для количественных признаков (Жасга, 1902; Наумов, 1964). Это один из методов кластерного анализа, аналог метода главных компонент (Трофимов, Равкин, 1980). Пространственно-типологической организацией населения птиц считается его территориальная структура и определяющие ее факторы (Равкин, 1984).

Пространственно-типологическая структура орнитокомплексов тоболо-иртышской лесостепи и степи в I половине лета представляема в виде трех связанных между собой систем населения: незастроенной суши, водно-околоводной и застроенных территорий (рис. 1). Первую из них образуют сообщества лесопольного, пойменного лесолугового, лугово-полевого и полевого типов. Вторую — население птиц низинно-болотного, озёрного и речного типов, третью — синантропные орнитокомплексы. В первой системе среди лидеров, по мере уменьшения облесенности, лесные виды (лесной конек, зяблик, серая славка) сменяются сначала птицами мозаичных лесостепных местообитаний (сорока, грач, полевой воробей). Потом — лугово-полевыми видами (полевой жаворонок, желтая трясогузка, чибис). Территориальная неоднородность орнитокомплексов вертикального ряда совпадает с уменьшением облесенности от надпойменных колючих лесов к пойменным урёмным урочищам, затем к открытым полевым местообитаниям через слабо облесенные варианты населения лугово-степного класса (1 — 4-й классы). В противоположном направлении по этому ряду прослеживается изменение орнитокомплексов, связанных с сельскохозяйственной трансформацией ландшафтов (распашкой). Кроме того, на схеме прослеживается вторая система (в правой верхней части схемы), отображающая классы, отличающиеся по степени обводненности и проточности местообитаний. Диагональный ряд от пойменных луговых сообществ с участками стариц Иртыша переходит к сообществам низинных болот. Затем по мере возрастания увлажненности, заболоченности и обводненности ландшафтов происходит завершение этого ряда озерным классом. При этом по мере возрастания увлажненности, заболоченности и обводненности идёт смена преобладающей желтой трясогузки

на лысуху и красноголового нырка, прилетающих к озерам. Кроме неё, в пятом классе орнитокомплексов в число лидеров входят также барсучок и индийская камышовка. Последний вид отмечен в составе озерного класса вместе с лысухой и красноголовым нырком. Также от второго пойменного лесолугового класса определен ряд изменений к группе обводненных, затростникованных и закустаренных местообитаний. Он связан с речным классом среднего водотока Тобола, где на воде и береговой линии преобладают сорока, чирок-трескун, серая ворона. Совершенно другие виды птиц (полевой воробей, грач, озерная чайка), в том числе из них и синантропные, лидируют на наиболее антропогенно трансформированных средних и крупных реках Прииртышья. Возрастание проточности лесостепных и степных водоемов хорошо отражено среди классов этой группы. От 6-го озерного класса увеличение проточности проходит через средний водоток – Тобол (приток первого порядка реки Иртыш, 8-й класс) к Иртышу и его притоку Оми (7-й класс). Третья система структурного графа в нижней части схемы достаточно обособлена и представлена классами синантропного населения. Сообщества птиц селитебных местообитаний (9-й класс, где общность определяют домовый воробей, сизый голубь и полевой воробей) с повышенной антропогенной кормностью сменяются орнитокомплексами рудерального класса. Он существенно отличается по списку лидеров от предыдущего селитебного класса (грач, скворец, сизая чайка). Это подразделение структурного графа связано с застройкой и рудеральностью лесопольевых и степных ландшафтов, что определяется селитебно-рекреационной и техногенно-промышленной трансформацией этих территорий. Искусственно повышенная кормность полигонов утилизации твердых бытовых отходов (10-й класс) определили синантропные или находящиеся в процессе синантропизации виды, или вообще околородные виды, употребляющие корма антропогенного происхождения на урбанизированной территории или рядом с городами (сизая чайка).

Во II половине лета пространственно-типологическая структура принципиально сходна с таковой для I половины лета, когда также выделяются три системы орнитокомплексов (рис. 2). В целом же пространственно-типологическая структура приобретает несколько иной характер, определяемый интенсивными послегнездовыми кочевками и миграциями птиц из лесной зоны, а также повсеместной дисперсией синантропных видов. Это приводит к появлению в верхней части графа двух горизонтальных рядов отклонения от основного вертикального ряда, что определяется застроенностью, рудеральностью и антропогенной кормностью местообитаний. Первая система орнитокомплексов в центральной части схемы также образует население птиц незастроенной суши, и она представляет собой вертикальный ряд структурного графа. Территориальная изменчивость сообществ птиц определяется снижением облесенности и возрастанием распахки. Как и в I половине лета, в списке лидеров колочных лесов с полями и лугами орнитокомплексов отмечен лесной конек. В то же время из списка исчезают зяблик и серая славка и появляются прикочевавшие большая синица и пухляк. Следующему классу ряда (парков и промышленно-техногенных территорий) свойственна интенсивная послегнездовая прикочевка

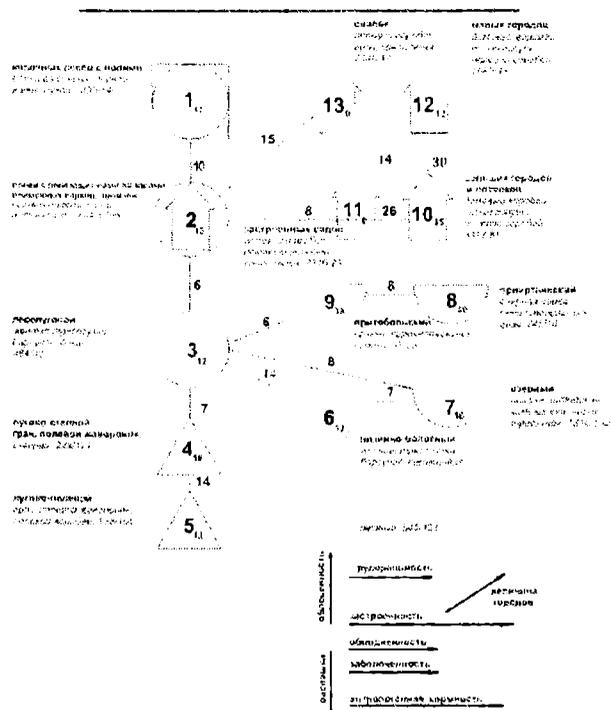


Рис. 2.

наиболее многочисленных видов птиц: полевого воробья, сороки и желтой трясогузки. Сообщества птиц парков и промышленных зон оказываются наиболее сходными с мелколиственными урёмными массивами долины Иртыша (3-й класс). Данным орнитокомплексам также свойственна интенсивная послегнездовая прикочевка наиболее многочисленных видов птиц: желтой трясогузки, барсучка и бекаса, которые заменили откочевавших доминантов I половины лета (сороку, грача и полевого жаворонка). В луга лесостепи и на открытые участки степных ландшафтов в значительном количестве прикочевал скворец, который заменил переместившуюся желтую трясогузку. Этот лугово-степной класс (4-й класс) по-прежнему характеризуется относительно высоким обилием полевого жаворонка и грача, как и в I половине лета. Этот класс достаточно самой сильной связью в 14 единиц по вертикальному ряду связан с лугово-полевым 5-м классом. Список его лидеров существенно отличается от таковых предыдущего исследуемого периода. Их список также определяется существенной дисперсией синантропных птиц (полевой воробей), а также лесостепных и степных видов (грач и полевой жаворонок). В I половине лета здесь состав лидеров был совершенно иной: желтая трясогузка, серая ворона и чибис. Ряд сообществ застроенных местообитаний оказывается более дифференцированным с большим числом отклонений и классов, чем в I половине лета. Это происходит за счет возрастания численности синантропных птиц в результате размножения и интенсивными послегнездовыми кочевками и миграциями птиц из лесной зоны (10–13). Единственное отклонение от этого ряда представлено населением птиц полигонов утилизации твердых бытовых отходов или городских свалок (13-й класс), который за счет интенсивной прикочевки полевого воробья, грача и коноплянки приобретает промежуточный облик между застроенными и незастроенными местообитаниями суши. Классы населения птиц болот,

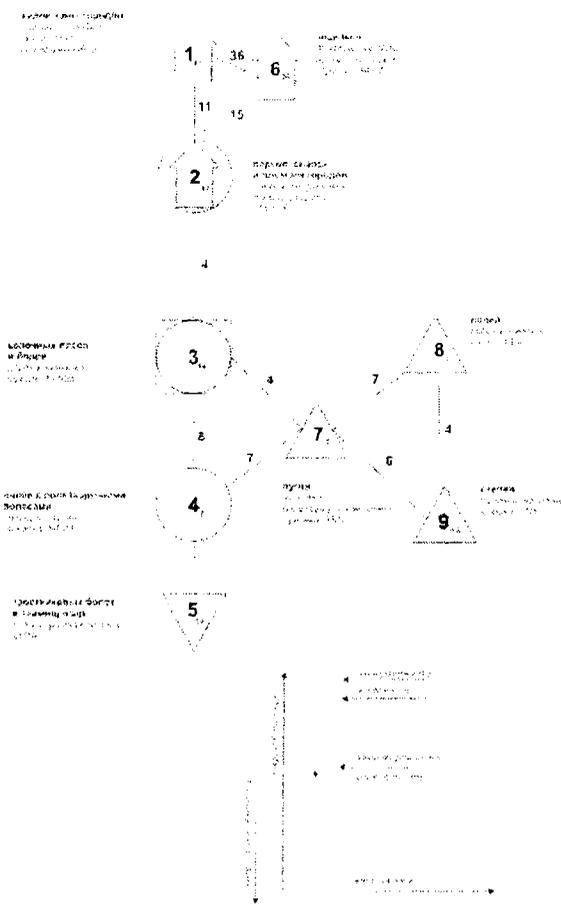


Рис. 3.

водоемов и водотоков (6 – 9 классы) по-прежнему остаются менее сходными из-за обособления речных и озерных сообществ. Последнее определяется концентрацией на озерах и их береговой линии в послегнездовое время лысухи, чирка-трескунка и индийской камышовки. На закустаренных средних реках (Тобол) держатся со значительным обилием криквы, чирок-трескунок и сорока, а на более антропогенно трансформированных и открытых реках Прииртышья (Иртыше и Оми) доминируют озерная чайка, белая трясогузка и грач, а в низинно-болотном 6-м классе в этом качестве отмечены желтая трясогузка, барсучок и камышовая овсянка. Последняя, появившаяся в значительном количестве, замещает в этом классе индийскую камышовку.

Таким образом, летом основные территориальные изменения населения птиц тоболо-прииртышской лесостепи и степи сходны и связаны с антропогенной кормностью, облесенностью, увлажненностью, закустаренностью и обводненностью местообитаний. При этом значение облесенности (в виде макрооблесенности) выражено гораздо слабее, чем в целом по северной лесостепи Западной и Средней Сибири, лесостепи Обь-Иртышского междуречья и долины Оби (Жуков и др., 1985; Торопов и др., 1985), а также в лесной зоне Западной Сибири (Равкин, Лукьянова, 1976; Равкин, 1978, 1984; Вартапетов, 1984). Это объясняется большей антропогенной трансформацией ландшафтов, что так же, как и в лесостепи Назаровской котловины (Жуков, 1989), значительно искажает

влияние ряда природных факторов, в том числе и макрооблесенности. Большое влияние на облик населения во II половине лета оказывает расселение молодых и перемещение синантропных видов, обилие которых значительно сближает парковые местообитания с сельтерриторией. Особенности лесостепи и степи Тоболо-Прииртышья проявляется еще и в уменьшении разницы в населении птиц городских и пригородных водоемов, за исключением вариантов населения бетонированной набережной и реки Иртыш в городе, что связано с преобладанием здесь синантропов.

Зимой пространственно-типологическая структура населения птиц на графическом изображении структуры выделяется в вертикальный ряд (классы 1-4), разделяющийся в нижней части на две параллельные ветви (классы 7-8 и 7-9, рис. 3). В первый класс вошли сообщества птиц застроенных жилых территорий городов. Сходство между вариантами определяют главным образом домовый и полевой воробьи и сизый голубь. Сверху вниз по схеме четко прослеживается территориальная схема орнитокомплексов, совпадающая со снижением антропогенного влияния (1-5). Это проявляется в наличии достаточного количества кормов антропогенного происхождения и площадью застроенности местообитаний с возможностью укрытости здесь птиц в это время (1-3). Второй класс этого ряда состоит из орнитокомплексов городских и пригородных среднеоблесенных местообитаний (новые пойменные и старые городские парки; застроенные сады; промышленная территория нефтезавода, кладбищ, ивняки пойм рек Оми и Иртыша в городе). Эдификаторы сходства этого класса – сорока, свиристель, полевой воробей. В 3-й наиболее облесенный класс входят удаленные от городов и поселков сосновые боры, осиново-березовые колки с лугами; поля с колками; пойменные ивняки прирусловых валов и пригородные поля с мелкими колками (доминируют чечетка, сорока и пухляк). На открытых полях и с полезащитными полосами (4-й класс) преобладают снегирь, сорока и чечетка, которых привлекают разреженные березовые посадки полезащитных полос. По этой части вертикального ряда структурного графа четко прослеживается уменьшение облесенности, что снижает обилие пухляка, предпочитающего более облесенные, закустаренные и кормные выделы надпойменного лесопольного и пойменного лесолугового ландшафтов. Сходство вариантов населения птиц местообитаний, наименее измененных антропогенной трансформацией, тростниковых низинных болот и займищ озер (5-й класс) обусловлено в основном преобладанием в них князька и усатой синицы. Отклонение от данного ряда в верхней антропогенной части графа составляет 6-й класс, обусловленный снижением антропогенной кормности застроенных одноэтажных деревянных массивов. В нем доминируют домовый и полевой воробьи и сорока. Этот класс образован районами одноэтажной деревянной застройки городов, лесостепных и степных поселков. Следующий нижний ряд, образованный вариантами естественных луговых местообитаний, определен также уменьшением облесенности и закустаренности местообитаний лугово-полевых ландшафтов. В этот 7-й класс лугов включен и орнитокомплекс суходольных лугов аэропорта. Эдификатором сходства перечисленных вариантов населения является чечетка, белокрылый жаворонок и пуночка. Следующий, 8-й, класс представлен на-

Таблица 1

Оценка силы и общности связи факторов среды с неоднородностью населения птиц тоболо-иртышской лесостепи и степи, % учтенной дисперсии матрицы коэффициентов сходства

Фактор	Объясненная дисперсия, %		
	I	II	зима
	половина лета		
Естественные факторы:	58,8	60,9	38,3
облесенность	12	14	4
породный состав лесных участков	9,4	10	3
обводненность	10	12	0
проточность	8	8	0
провинциальность	1	2	1
зональность	0,8	0,9	0,8
рельеф	2,6	2	2,5
кормность или трофическая ценность урочищ	15	12	27
Антропогенные факторы:	47	40	86
застроенность	21	18	43
распашка	4	3	0
Макроурбанизация (антропогенно повышенная кормность (свалки), укрытость и озеленности местообитаний)	22	19	43
Все факторы по классификации и структуре	47	45	49
По классификации	46,5	41	48
По структуре	44	44	56
Всего	58	58	58

селением открытых степных и лесостепных полей, в том числе и припоселковых. Сходство вариантов этого класса определяют сорока, пуночка и галка. Этот класс, в свою очередь, имеет сходство с 9-м, сформированным вариантами населения степных ландшафтов, где лидируют пуночка, чечетка и сорока. Последний класс более сильно связан с 7-м классом, где представлены варианты населения луговых местообитаний степи, где также облик орнитокомплексов определяют зимующие арктические и таежные виды птиц — пуночка и чечетка. Это несколько минимизирует проявление степной провинциальности установленное в зимнее время на исследуемой территории тоболо-иртышской лесостепи и степи, хорошо проявившееся на примере абсолютно степного 9-го класса населения птиц. Таким образом, пространственно-типологическая структура населения птиц тоболо-иртышской лесостепи и степи зимой определяется в основном антропогенными изменениями местообитаний, а также наложенными на них облесенностью и затростникованностью местообитаний. Это приводит к увеличению вклада домового воробья и снижению доли чечетки и сороки. Кроме того, изменчивость зимнего населения связана с площадью, покрытой древесными насаждениями, что хорошо видно на естественной территории при переходе от открытых местообитаний к облесенной и заустаренной территории. На застроенной части лесостепи и степи изменчивость зимнего населения определяется антропогенно повышенной кормностью местообитаний селитебных выделов. Для лесостепи Приобья иерархия значимости структурообразующих факторов в зимний период иная: первое место принадлежит облесенности и второе - застроенности территории, меньшее влияние оказывает высота снежного покрова и наличие тростниковых зарослей (Торопов и др., 1985).

Зимой основные тенденции территориальных изменений орнитокомплексов урбанизированных и поселковых местообитаний обусловлены изменением облесенности, заустаренности, антропогенного влияния (макроурбанизации) и застроенности. Наши исследования подтверждают характеристику, сделанную А.Г. Вартапетовым (1995) для структуры населения птиц лесной зоны Приобья, где основные направления территориальных изменений сообществ зимой определяются облесенностью, определяющей изменение кормовых и защитных свойств урочищ.

Таким образом, летом основные территориальные изменения населения птиц тоболо-прииртышской лесостепи и степи сходны и связаны с антропогенной кормностью, облесенностью, увлажненностью, заустаренностью и обводненностью местообитаний. Зимой изменения обусловлены изменением облесенности, заустаренности, антропогенного влияния (макроурбанизации) и застроенности.

Подпространственной организацией населения понимается общий характер его территориальной и временной неоднородности с определяющими ее факторами среды. Выявление пространственно-временной структуры населения птиц позволяет выделить факторы и режимы, связанные с изменчивостью орнитокомплексов во времени и пространстве. Индивидуальная и комплексная оценка силы связи изменчивости населения птиц и факторов среды позволяет объяснить основные принципы формирования населения птиц в антропогенных местообитаниях (Равкин, 1984).

В I половине лета для индивидуальной оценки выделено 11 факторов, определяющих территориальную изменчивость орнитокомплексов (табл. 1).

Мы дифференцировали их по генезису на два блока. В первую группу были выделены естественные факторы. Среди них наиболее важен фактор кормности или трофической ценности урочищ. Сильные отличия разных урочищ по этому параметру приводят к высокой значимости этого фактора в пространственной неоднородности населения. Несколько меньшую значимость имеет облесенность и обводненность местообитаний. Несколько ниже снимается дисперсия воздействием породного состава лесных участков. Ранее установлено, что облесенность – наиболее существенный фактор для лесной зоны Западной Сибири (Равкин, 1978, 1984). При исследовании северных подзон лесной зоны Западной Сибири было установлено более значительное влияние состава преобладающих древесных пород (Вартапетов, 1998). Для исследуемой нами юго-западной части Западной Сибири этот фактор также оказался весьма значимым среди естественных факторов среды. Для лесостепи и степи Тоболо-Прииртышья более значимым выявился фактор обводненности территории. Это во многом определяет распределение населения птиц в озерной лесостепи, особенно в ее северной части, наиболее богатой озерами. Тем не менее во II половине лета на фоне воздействия послегнездовых кочевков состав преобладающих пород лесных массивов становится несколько более значимым для облика орнитокомплексов, как и обводненность для летящих и пролетных северных птиц. В I половине лета такими факторами, как провинциальность и зональность, объясняется всего 1,8% дисперсии, что объясняется значительной повсеместной антропо-техно-агро-селитебной трансформацией, особенно со времени социалистического освоения целинных земель XX столетия. Среди блока антропогенных факторов наиболее значима форма антропогенного воздействия (антропогенно повышенной кормности, укрытости и озеленности, выпаса скота и сенокосения урочищ), его сила значительно сильнее влияет на неоднородность населения птиц. При оценке воздействия следующих антропогенных факторов наибольшую значимость имеют застроенность и распашка территории. Выявленная для организации населения птиц тоболо-иртышской лесостепи и степи, как и для техногенных местообитаний Южного Прибайкалья (Саловаров, Кузнецова, 2005) иерархия влияния основных факторов среды существенно отличается от таковых для менее трансформированных ландшафтов Западной Сибири. В тех случаях пространственная неоднородность орнитокомплексов определяется, в первую очередь, облесенностью и составом преобладающих пород деревьев (Вартапетов, 1984, 1998; Равкин, 1984; Юдкин, 2002; Цыбулин, 1999). При наших исследованиях при анализе значительного числа облесенных урочищ этот фактор стоит не на первом месте в ряду остальных, как и в Южном Прибайкалье. Сельскохозяйственно-селитебная специфика деградации ландшафтов в той или иной степени довлеет над всеми ключевыми участками, определяя наибольшую значимость в территориальной неоднородности населения форм антропогенного воздействия. Облесенность и состав преобладающих древесных пород, обычно самые значимые факторы для ненарушенных местообитаний лесной зоны, в нашем анализе уступают кормности, застроенности и макроурбанизации.

Итак, на территориальную неоднородность населения птиц тоболо-иртышской лесостепи и степи наиболее сильно влияют факторы антропогенного происхождения, прежде всего, антропогенное влияние в виде искусственно повышенной кормности территории (режим городских свалок), макроурбанизация (укрытость и озеленность городских и поселковых выделов) и застроенность, а уже потом облесенность, преобладающий состав лесообразующих пород, обводненность и проточность, и рельеф (пойменный режим). Те же основные факторы ранее выделены для объяснения пространственной неоднородности орнитокомплексов слабо нарушенных участков лесостепи Западной и Средней Сибири (Жуков и др., 1985, Торопов и др., 1985) и в лесной зоне Западной Сибири (Равкин, 1984, Вартапетов, 1984, 1998). Тем не менее для лесостепи и степи Тоболо-Прииртышья характерно еще большее антропогенное воздействие на экосистемы в виде макроурбанизации.

Таким образом, в целом неоднородность населения птиц в I половине лета на 22% определяется макроурбанизацией, а также застроенностью и распашкой – 21 и 4% (табл. 1). Из естественных факторов несколько менее значима кормность местообитаний (15%). С облесенностью можно связать лишь 12% дисперсии населения и несколько меньше – с обводненностью и преобладающим составом лесных массивов. Влияние обводненности в тоболо-иртышской лесостепи и степи, в отличие от северной тайги Западной Сибири (Вартапетов, 1998), существенно ниже (10 и 22%). Это связано с большей контрастностью населения лесов и болот в последней, чем открытых местообитаний лесостепи. Влияние сенокосения, выпаса скота и орошения менее значимы.

Во II половине лета общий характер пространственной организации остается прежним, хотя оценки связи с большинством факторов снижаются за счет нивелирующего влияния летних кочевков птиц, особенно в блоке местообитаний антропогенных факторов. В группе естественных факторов возрастает значимость лишь облесенности, обводненности и преобладающего породного состава лесных участков, что связано с большим дефицитом влаги в лесостепи и степи Тоболо-Прииртышья во II половине лета. Всего перечисленными факторами в I и II половинах лета объясняется 58% дисперсии населения птиц, и во II половине лета в целом сохраняется иерархия выделенных для оценки силы и общности связи факторов среды и пространственной неоднородности населения по всем местообитаниям исследованных ландшафтов. При этом обнаруживается ослабление связи между пространственной неоднородностью населения и всеми факторами из-за выравнивающего влияния послегнездовых кочевков и позднелетнего пролета птиц к местам зимовок.

Зимой в тоболо-иртышской лесостепи и степи по-прежнему главенствующее положение занимают антропогенные факторы, и значение их в неоднородности орнитокомплексов становится больше, чем летом. Всего зимой с факторами среды удается связать также 58% неоднородности населения. При сравнении с летним периодом прослеживается резкое снижение значимости облесенности и преобладающего породного состава лесных участков. Это определяется нивелирующим влиянием снежного покрова. Снижение связи для облесенности характерно и для более северных и менее

нарушенных участков лесной зоны Западной Сибири (Вартапетов, 1998). Более важным для птиц зимой становится кормность или трофическая ценность урочищ, значение которой существенно возрастает. Среди антропогенных факторов резко снижения значимости не происходит, за исключением распахки территории, по той же причине, что и облесенности и преобладающего породного состава лесных участков. Напротив, происходит увеличение влияния всех, особенно застроенности территории. При сравнении с менее трансформированными ландшафтами Западной Сибири прослеживается то, что зимой там значимость всех естественных факторов также снижается, за исключением кормности и продуктивности урочищ (Вартапетов, 1998, Юдкин, 2002), как и на юго-западе Тоболо-Прииртышья. Значение застроенности возрастает, так же, как и в нашем случае. Для исследуемой нами территории также значимо антропогенное влияние в форме макроурбанизации (наличие городских свалок), укрытости и озеленности внутриселитебных урочищ.

Таким образом, в I половине лета для 235 видов выделено 4 типа предпочтительности птицами местообитаний. Во II половине лета для 217 видов птиц также выявлено 4 типа предпочтительности и три группы объединений ландшафтов для 138 местообитаний. Это лесостепные среднеоблесенные, частично облесенные, открытые и закустаренные (незастроенной суши), водно-околоводные (реки и озера или их берега) и антропогенные (застроенной суши). В зимний период отмечено 48 видов птиц, или 19 % от числа обитающих в тоболо-иртышской лесостепи и степи видов и выделено только три типа предпочтения птицами местообитаний из четырех, выделенных для летнего периода, включая водно-околоводную группу.

Среди выделенных типов и подтипов орнитокомплексов тоболо-иртышской лесостепи и степи максимальной привлекательностью для жизни птиц обладают селитебные и рудеральные ландшафты, а также озерные и низинно-болотные. Минимальное число видов птиц в зимний и летний периоды характерно для открытых луговых и полевых ландшафтов.

Летом основные территориальные изменения населения птиц тоболо-прииртышской лесостепи и степи сходны и связаны с антропогенной кормностью, облесенностью, увлажненностью, закустаренностью и обводненностью местообитаний. Зимой изменения обусловлены изменением облесенности, закустаренности, антропогенного влияния (макроурбанизации) и застроенности. При сравнении оценок силы и общности связи факторов среды с неоднородностью населения птиц лесной зоны Западной и Средней Сибири (Равкин, 1984; Вартапетов, 1984), а также лесостепи Приобья (Торопов и др., 1985), в лесостепи и степи Тоболо-Прииртышья отмечено доминирование антропогенных факторов. Это связано с более значительной хозяйственной освоенностью исследуемого нами региона.

1. Блинова Т.К., Блинов В.Н. Птицы Южного Зауралья: Лесостепь и степь: В 2 т. - Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1997 — Т.1: Фаунистический обзор и охрана птиц - 296 с., - Т. 2. - Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1999.—Территориальная неоднородность населения птиц и динамические процессы. — 283 с.

2. Вартапетов А.Г. Птицы таежных междуречий Западной Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1984, 237 с.

3. Вартапетов А.Г. Птицы северной тайги Западно-Сибирской равнины - Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. - 327 с.

4. Жуков В.С. Антропогенная трансформация населения наземных позвоночных лесостепи Назаровской котловины (птицы, мелкие млекопитающие и земноводные): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. - Новосибирск: 1989. - 26 с.

5. Жуков В.С., Блинов В.Н., Вартапетов А.Г., Торопов К.В., Цыбулин С.М. Пространственная структура населения птиц (северная лесостепь Западной и Средней Сибири) // Пространственно-временная динамика животного населения (птицы и мелкие млекопитающие). - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. - С. 56-67.

6. Константинов В.М., Бабенко В.Г., Асосокова Н.И., Хохлов А.Н. Численность врановых птиц в антропогенных ландшафтах как отражение степени их синантропности // Экология, биоценотическое и хозяйственное значение врановых птиц. — М., 1984. — С. 8 — 12.

7. Коровин В.А. Птицы в агроландшафтах Урала. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2004. — 504 с.

8. Наумов Р.Л. Птицы в очагах клещевого энцефалита Красноярского края. Автореф. дис. канд., М., 1964, 19с.

9. Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1967. - С. 66-75.

10. Равкин Ю.С. Пространственная организация населения птиц лесной зоны (Западная и Средняя Сибирь). Новосибирск, Наука, Сиб. отд., 1984, 262 с.

11. Трофимов В.А. Модели и методы качественного и факторного анализа матрицы связи // Проблемы анализа дискретной информации. - Новосибирск: 1976. - Ч. 2. - С. 24-36.

12. Трофимов В.А., Равкин Ю.С.. Экспресс-метод оценки связи пространственной неоднородности животного населения и факторов среды // Количественные методы в экологии животных, Л., 1980, с. 113-115.

13. Торопов К.В., Фомин Б.Н., Козлов Н.А., Цыбулин С.М., Вартапетов А.Г., Блинов В.Н., Жуков В.С. Пространственная структура населения птиц (лесостепь Обь-Иртышского междуречья и долины Оби) // Пространственно-временная динамика животного населения (птицы и мелкие млекопитающие). - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. - С. 67-79.

14. Цыбулин С.М. Птицы Северного Алтая.— Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. - 519 с.

15. Юдкин В.А. Птицы подтаежных лесов Западной Сибири — Новосибирск: Наука, 2002 — 488 с.

16. Jaccard P. Lois de distribution florale dans la zone alpine. // *Bull. Soc. Vaund. Sci. Nat.*, 1902, Vol.38, p. 69-130.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.09.06 г.

© Соловьев С.А., Блинова Т.К., Торопов К.В., Блинов В.Н.

Книжная полка

Глеб Всеволодович Добровольский / сост. С. А. Шоба, Н. П. Матекина; авт. вступ. ст. С. А. Шоба. — М.: Наука, 2006. — 6 л. — (Материалы к биобиблиографии ученых).

МЕДИЦИНА

УДК 616.155.16

**Ю. А. КРИВЕНЦЕВ
Д. М. НИКУЛИНА
Р. А. БИСАЛИЕВА**

Астраханская государственная
медицинская академия

ИММУНОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ ФЕТАЛЬНОГО ГЕМОГЛОБИНА В КРОВИ НОВОРОЖДЕННЫХ МАЛЬЧИКОВ И ДЕВОЧЕК С ВНУТРИУТРОБНОЙ ГИПОКСИЕЙ

На основании проведенных исследований установлено достоверное повышение уровня HbF в крови новорожденных с внутриутробной гипоксией и с задержкой внутриутробного развития, а также значительное снижение уровня HbF у новорожденных с массой тела менее 1000 г; установлено, что концентрация HbF в крови новорожденных девочек превышает такую у мальчиков.

Контроль состояния здоровья беременной женщины и плода, матери и новорожденного ребенка является одной из важнейших социальных проблем современной России, успешное решение которой, несомненно, способствует улучшению демографической ситуации в стране. Не последнее место в решении данной проблемы принадлежит своевременной и адекватной диагностике.

Перспективным маркером состояния гомеостаза женщины и ребенка представляется фетальный гемоглобин (HbF).

HbF начинает синтезироваться через 2 недели после формирования печени плода (с 12-й недели эмбрионального развития) и к 6 месяцам замещает примитивный гемоглобин, становясь основным гемоглобином плода. Во второй половине беремен-

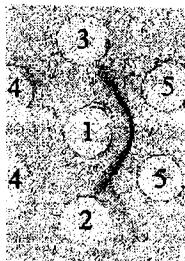


Рис. 1. Контроль специфичности антисыворотки на фетальный гемоглобин.

1 – антисыворотка на HbF; 2 – антисыворотка на HbA; 3 – сывороточный альбумин; 4 – очищенный препарат HbA; 5 – экстракт эмбриона 6-12 недель

ности количество HbF постепенно уменьшается параллельно увеличению количества HbA [1, 2].

Определение уровня фетального гемоглобина в крови имеет большое клиническое значение ввиду достоверного изменения уровня его концентрации при многих заболеваниях эритрона, гипоксических состояниях, болезнях сердечно-сосудистой и дыхательной систем, талассемиях и др [2, 3, 4].

В современной клинической практике используют, в основном, колориметрические методы количественного определения HbF, которые нельзя считать абсолютно специфичными по данному белку. Метод Зингера, например (Singer K. 1951), регистрирует щелочустойчивую фракцию гемоглобина, к которой можно отнести как фетальный, так и примитивный (эмбриональный) его типы. Определение же фетального гемоглобина в мазках крови [5] не является количественным.

В последние годы активно ведется работа по моделированию иммунохимических тест-систем на HbF [6, 7], точность и специфичность которых, безусловно, выше, чем у колориметрических методик.

Исходным биоматериалом для выделения и очистки HbF служила гепаринизированная пуповинная кровь. Биоматериал получали в КДЛ АГМА, родильном доме №2 г. Астрахани.

В результате проведенной НИР разработан оптимальный методический алгоритм выделения и очистки HbF, состоящий в последовательном сочетании следующих этапов:

- получение гемолизата трехкратной промывкой в 0,9% растворе хлорида натрия с осмотически-механическим гемолизом и центрифугированием;
- щелочная денатурация 1,2 М раствором NaOH с осаждением сульфатом аммония 50%-ной насыщенности;
- обессоливание гель-проникающей хроматографией на колонке с сефадексом G-25, рабочий буфер – 0,05 М фосфатный буферный раствор pH 7,4;
- ионообменная хроматография на DEAE-сефадексе G-50 с 0,01 М трис-хлоридным рабочим буфером pH 8,1 в нисходящем градиенте pH.

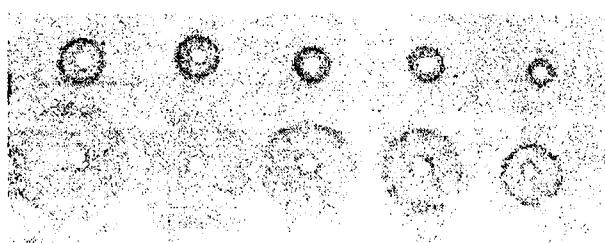


Рис. 2. Радиальная иммунодиффузия по Манчини: титрование стандартного антигена для моделирования калибровочной кривой

Анализ чистоты полученных препаратов проводился методом вертикального электрофореза в полиакриламидном геле.

Полученные очищенные препараты фетального гемоглобина использовали, в частности, для получения специфических антисывороток на данный белок методом иммунизации кроликов (см. выше). Иммунизация кроликов проводилась с полным адьювантом Фрейнда по стандартной схеме [8].

Контроль специфичности антисывороток на HbF проводили сопоставлением антисыворотки на HbF с другими антигенными композитами путем радиальной иммунодиффузии по Оухтерлони (рис.1), методом иммуноэлектрофореза, специфической окраске на гемоглобин гваяколовым методом [2] и др.

На основе полученных антисывороток разработана специфическая иммунохимическая тест-система на HbF, в которой тест-антигеном является гемолизат пуповинной крови в рабочем разведении: 1/64-1/256. Данная тест-система позволяет проводить количественное определение HbF по Манчини или полуколичественное определение HbF по Оухтерлони.

Объектом нашего исследования являлась гепаринизированная пуповинная кровь новорожденных с тяжелой внутриутробной гипоксией, а также детей с тяжелой внутриутробной гипоксией в сочетании с задержкой внутриутробного развития и с глубокой недоношенностью (масса тела не более 1000 г). Всего было обследовано 135 образцов пуповинной крови, из них: 46 проб от здоровых новорожденных детей (контрольная группа), 79 образцов от детей с тяжелой внутриутробной гипоксией. В данную группу входили также 43 образца крови с задержкой внутриутробного развития и 26 проб крови детей с глубокой недоношенностью (масса тела не более 1200 г) (табл.1).

Кровь брали из пуповины сразу после ее рассечения, консервировали 1%-ным раствором азидна натрия и хранили до исследования при температуре -18°С.

Количественный иммунохимический анализ HbF в исследуемых образцах проводили радиальной иммунодиффузией по Манчини и соавт. в мо-

Таблица 1

Перечень использованного в работе материала

Исследуемый материал	Количество проб		
	Всего	Мальчики	Девочки
Пуповинная кровь здоровых детей (контрольная группа)	46	25	21
Пуповинная кровь детей с тяжелой внутриутробной гипоксией, из них с:	89	46	43
задержкой внутриутробного развития	43	20	23
глубокой недоношенностью	26	12	14
ВСЕГО	135	71	64

Таблица 2

Результаты количественного определения HbF у новорожденных по нозологическому признаку

Исследуемый материал	Концентрация HbF (мг/л)
Пуповинная кровь здоровых детей (контрольная группа)	109,67±4,4
Пуповинная кровь детей с тяжелой внутриутробной гипоксией, из них с:	140,79±6,2
задержкой внутриутробного развития	184,77±7,8
глубокой недоношенностью	45,81±2,2

Таблица 3

Результаты количественного определения HbF у новорожденных по половому признаку

Исследуемый материал	Концентрация HbF (мг/л)	
	Мальчики	Девочки
Пуповинная кровь здоровых детей (контрольная группа)	107,7±2,9	121,14±3,5
Пуповинная кровь детей с тяжелой внутриутробной гипоксией	142,26±4,1	230,69±5,2

дификации Фехей и Мак-Келви [9]. В ходе определения использовали только моноспецифические антисыворотки на HbF.

Для построения калибровочных кривых использовали препараты HbF с концентрацией от 0,5 мг/л до 4000 мг/л по исследуемому гемоглобину. Следует отметить, что для каждой новой антисыворотки необходимо построение новой кривой (рис.2).

Развернутый иммунохимический количественный анализ HbF в пуповинной крови новорожденных с исследуемой патологией и глубокой недоношенностью показал (табл. 2) значительное достоверное повышение уровня HbF в крови новорожденных с тяжелой внутриутробной гипоксией (140,79±6,2 мг/л) и особенно с задержкой внутриутробного развития (184,77±7,8 мг/л) по сравнению с контрольной группой (109,67±4,4 мг/л), что соответственно на 28,35% и на 68,46% превышает концентрацию HbF в группе сравнения. Концентрация HbF в крови новорожденных с массой тела менее 1000 г, наоборот, оказалась значительно ниже — 45,81±2,2 мг/л (на 58,25% ниже, чем в контрольной группе).

Значительное повышение уровня HbF при гипоксии можно объяснить широко известным в научной литературе фактом: HbF имеет большее сродство к кислородом, чем гемоглобин взрослого, следовательно, увеличение уровня HbF в крови способствует более оптимальному тканевому газообмену в условиях тканевой гипоксии [1, 2, 4].

Изменения концентрации HbF при задержке внутриутробного развития и глубокой недоношенности, очевидно, связаны с колебаниями уровня продукции HbF в процессе внутриутробного развития.

Проведен сравнительный анализ концентрации HbF в данной выборке проб пуповинной крови новорожденных по половому признаку (табл.3). В результате анализа данных впервые показано, что концентрация HbF в крови новорожденных девочек, определяемая иммунохимически, превышает таковую у новорожденных мальчиков. И если в группе здоровых детей эта разница невелика, то в группе новорожденных с внутриутробной гипоксией уровень HbF в крови новорожденных девочек выше, чем у мальчиков, на 62,16%!

Столь значительный разброс средних концентраций HbF в крови новорожденных мальчиков и девочек можно объяснить более высокими компенсаторными возможностями женского организма в этом онтогенетическом периоде.

Внедрение полученного иммунохимического теста на HbF в практическую медицину с учетом приведенных данных способствует улучшению диагностики, прогноза и качества лечения новорожденных с неонатологической патологией.

Библиографический список

1. Валкинсон Д. Принципы и методы диагностической энзимологии. М. Медицина. — 1980.
2. Стародуб Н.Ф. Гетерогенная система гемоглобина: структура, свойства, синтез, биологическая роль / Н.Ф. Стародуб, В.И. Назаренко. - АН УССР, Ин-т молекулярной биологии и генетики. Киев: Наукова думка, 1987. - 198с.
3. Weatherall D.J. The Thalassaemic Syndromes / D.J. Weatherall, J.B. Clegg. - 3rd ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1981.
4. Гипоксия. Адаптация, патогенез, клиника. — СПб, ООО "ЭЛБИ-СПб", 2000. — 384 с.
5. Betke K. Fetaler und bleibender Blutfarbstoff in Erythrozyten und Erythroblasten von menschlichen Feten und Neugeborenen / K.Betke, E.Kleinhauser // Blut. v.5. p.241-249. 1958.
6. Токарев Ю.Н. Иммунохимический метод диагностики ряда гемоглобинопатий / Ю.Н.Токарев, А.Н.Ахундова, А.П.Андреева, А.А.Левина. - Метод. рекомендации // ЦНИИ гематологии и переливания крови, Азерб. НИИ гематологии и переливания крови. — Баку. — Новая книжная типография. — 1982. — 9 с.
7. Кривенцев Ю.А. Получение специфической антисыворотки на фетальный гемоглобин / Ю.А.Кривенцев, Р.А.Бисалиева, Н.А.Ковалева, А.В.Лада // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Достижения фундаментальных наук в решении актуальных проблем медицины». — Астрахань-Волгоград-Москва. — 2006. — С.62-65.
8. Никулина Д.М. Практическое освоение иммунохимических методов / Д.М. Никулина. - Метод. рекомендации. — Астрахань, - 1991. — 36 с.
9. Fahey J.L. Quantitative determination of serum immunoglobulin antibody-agar plates / J.L.Fahey, E.M. McKelvey. — J. Immunol. — 1965. - p.84-90.

НИКУЛИНА Дина Максимовна, кандидат медицинских наук, доцент, профессор АГМА.

КРИВЕНЦЕВ Юрий Алексеевич, кандидат медицинских наук, доцент АГМА.

БИСАЛИЕВА Рината Альбакиевна, ассистент АГМА.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.10.06 г.

© Никулина Д.М., Кривенцев Ю.А., Бисалиева Р.А.

ИММУНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БОЛЬНЫХ С ПЛЕВРАЛЬНЫМ ВЫПОТОМ РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ

В статье проведена оценка ряда иммунологических показателей сыворотки крови у больных с ПВ различной этиологии. Характерными чертами для ППВ являются стимуляция фагоцитарной активности клеток, повышение содержания ЦИК в периферической крови и гиперпродукция IgG. Для пациентов с ПВ туберкулезной этиологии свойственны чрезмерная активация супрессорного звена лимфоцитов (CD8) и избыток IgM. В группе больных с опухолевыми плевритами зарегистрированы иммунодефицит тяжелой степени, что отразилось в высоком показателе ЛТИ, а также избыточная циркуляция иммунных комплексов.

В диагностике плевральных выпотов (ПВ) различной этиологии одним из важных аспектов является изучение иммунного статуса, в частности, субпопуляций лимфоцитов в периферической крови. Попытки использования иммунологических показателей в качестве критериев диагностики ПВ начали проводиться около 20 лет назад [7]. С внедрением метода моноклональных антител эти исследования были продолжены до настоящего времени. Среди показателей иммунного статуса активно изучается роль интерлейкинов при ПВ; сведения же о субпопуляциях лимфоцитов ограничены, а подчас и противоречивы.

Цель исследования: оценка ряда параметров иммунного статуса у больных с ПВ различного генеза.

Материалы и методы. Проведено иммунологическое обследование 21 пациента с ПВ. В ходе исследования больные были разделены на три группы: I группа (n=10) – с парапневмоническим ПВ (ППВ), II группа (n=5) – пациенты с ПВ туберкулезной этиологии, III – (n=6) – с ПВ опухолевого происхождения.

Определение субпопуляций лимфоцитов (CD3, CD4, CD8, CD16) проводили в реакции иммунофлюоресценции с помощью моноклональных антител (МКАТ) ООО «Сорбент» (г. Москва). Количественное определение уровня сывороточных иммуноглобулинов основных классов G, A, M осуществлялось методом радиальной иммунодиффузии по Манчини.

Циркулирующие иммунные комплексы (ЦИК) определялись по преципитации ЦИК в 3,75%-ном растворе полиэтиленгликоля и измерялись в единицах оптической плотности. Нами вычислены индексные показатели: лейкоинтоксикационный индекс (ЛИИ), лейко-Т-клеточный индекс (ЛТИ) и иммунорегуляторный индекс (ИРИ). Кроме этого, провели оценку фагоцитарной активности ней-

трофилов. Контрольную группу составили 10 здоровых доноров.

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования выявили наличие изменений системного иммунитета у пациентов с ПВ. Их направленность, выраженность и специфичность были неоднозначными при ПВ различной этиологии (таблица 1). Тем не менее во всех группах обследуемых больных выявлен дефицит Т-клеточного звена, что проявлялось в снижении относительного количества CD3+, CD4+ и CD8+ лимфоцитов ($p < 0,001$). Не отмечено характерного для ПВ туберкулезной этиологии возрастания CD3+ и CD4+ в системном кровотоке [3]. Возможно, это связано с миграцией субпопуляций лимфоцитов в очаг воспаления; в этой связи многочисленные авторы указывают на необходимость определения Т- и В-лимфоцитов в плевральной жидкости [2,8,10]. Наибольшее снижение уровня CD4+ лимфоцитов и отношения CD4+/CD8+ зарегистрировано в группе больных с опухолевыми ПВ, что также отмечено в недавно проведенных исследованиях по этой проблеме [4]. Показатели CD8+ лимфоцитов достоверно отличались во всех группах по сравнению с параметрами здоровых доноров, но не различались между основными группами (таблица 1). Согласно данным других публикаций, уровень CD8+ лимфоцитов в периферической крови у больных с карциномой легких и ПВ достоверно не отличался по сравнению с группой здоровых доноров [8]. При ПВ туберкулезной этиологии большее значение имеет определение ИРИ в периферической крови и особенно в плевральной жидкости: доминирование Т-хелперов в плевральной жидкости и Т-супрессоров в периферической крови приводит к увеличению показателя ИРИ в плевральной жидкости и служит иммунологическим критерием ПВ специфического генеза [10]. Это подтверждается известным ранее фактом скопления CD4+CDw29+

Показатели иммунного статуса у больных с ПВ

Показатель	ППВ (n = 10)	ТБ (n = 5)	Рак (n = 6)	Контроль (n = 10)
CD 3, %	48,50±2,39**	46,0±5,0**	48,17±5,83**	70,71±1,70
CD 4, %	29,0±1,45	29,40±1,35**	25,33±4,05*	38,31±1,32
CD 8, %	18,7±1,24**	17,82±5,77***	17,66±2,43**	29,63±0,72
CD 16, %	10,2±1,35	19,22±4,23	20,83±6,64	12,03±6,0
ИРИ	1,38±0,13**	2,35±0,34**	0,43±0,19**	5,12±0,50
ЛТИ	8,37±1,74	6,91±0,92	12,13±3,81***	6,32±0,41
Фагоцитоз, %	71±2,59**	61,44±4,62	61,0±4,05	55,91±0,80
ЦИК	116,7±25,72*	166,41±86,80	78,83±16,03***	41,19±2,18
Ig G, г/л	16,56±1,97*	24,48±10,31	11,66±1,46	10,74±0,30
Ig M, г/л	1,72±0,24**	1,18±0,23***	2,12±0,61*	0,75±0,06
Ig A, г/л	2,53±0,22	3,29±1,05	2,01±0,44	1,90±0,11

Примечание: достоверность различий рассчитана между основными группами и контрольной группой: * $p < 0,001$; ** $p = 0,0001$; *** $p < 0,05$

клеток в плевральной жидкости при ПВ туберкулезной этиологии [2].

В отношении CD16+ лимфоцитов выявлена наибольшая тенденция к возрастанию данной субпопуляции Т-лимфоцитов в группе больных с опухолевыми плевритами. Это отражает реализацию немедленного уровня иммунного надзора за опухолевыми клетками. Повышение активности натуральных киллеров оказалось характерно и для больных с ПВ туберкулезной этиологии, что подтверждается данными других исследователей [5,6,8]. В противоположность содержанию CD16+ лимфоцитов в периферической крови было ниже у пациентов с ППВ по сравнению с контрольной группой. По-видимому, это связано с включением в исследование больных на фоне купирования острого процесса на стадии формирования ПВ. Содержание натуральных киллеров внутри групп отличалось только между пациентами с ППВ и плевритом специфической этиологии – 10,2±1,35 против 19,22±4,23 ($p < 0,05$) соответственно, что связано с повышенной антителозависимой клеточной цитотоксичностью у больных с туберкулезом легких.

Показатели лейко-Т-клеточного индекса превышали нормативные данные в группе больных с ППВ и особенно ПВ опухолевой этиологии. Как известно, этот показатель более точно характеризует истинное содержание Т-лимфоцитов в периферической крови, нежели абсолютное и относительное количество Т-лимфоцитов [1]. В нашем исследовании у пациентов с неопластическими ПВ иммунодефицит расценивался как тяжелый (более 12). Это обусловлено наличием пациентов с III-IV стадией опухолевого процесса и сопутствующей параканкрозной пневмонией.

Фагоцитарная активность лейкоцитов оказалась стимулированной во всех группах больных, но достоверно только у пациентов с ППВ, что свидетельствует о сохранении резервных возможностей иммунитета при остром течении воспалительного процесса (таблица 1). Выраженность данного фактора неспецифической защиты обуславливала сроки разрешения ПВ и отсутствие тенденции к нагноению плевральной жидкости.

С целью анализа антителозависимых механизмов защиты при ПВ было определено содержание различных классов иммуноглобулинов. Об интенсивной активации гуморального иммунитета при ПВ свидетельствует повышенное содержание в сыворотке всех классов иммуноглобулинов по сравнению с контрольной группой. Особенно это характерно для IgG в I ($p < 0,01$) и III ($p < 0,05$) группах больных. В случае ПВ туберкулезной этиологии уровень Ig G достоверно не отличался от контрольной группы, несмотря на тенденцию к хронизации процесса. Отмечено достоверно высокое содержание IgM у всех пациентов ($p < 0,001$ для I, $p < 0,05$ для II и $p < 0,01$ для III групп), что связано с повышенной потребностью организма в антителах для нейтрализации антигенов в условиях бактериальной или опухолевой агрессии.

Вывод. Выявление вышеописанных иммунологических особенностей у больных с ПВ отражает степень и характер иммунных расстройств, позволяя установить иммунологические критерии дифференциальной диагностики плевритов различной этиологии и определить пути их коррекции. Характерными чертами для ППВ являются стимуляция фагоцитарной активности клеток, повышение содержания ЦИК в периферической крови и гиперпродукция IgG. Для пациентов с ПВ туберкулезной этиологии свойственны чрезмерная активация супрессорного звена лимфоцитов (CD8) и избыток IgM. В группе больных с опухолевыми плевритами зарегистрированы иммунодефицит тяжелой степени, что отразилось в высоком показателе ЛТИ, а также избыточная циркуляция иммунных комплексов (таблица 1).

Заключение. В настоящее время перспективными исследованиями в области иммунологии ПВ считаются определение субпопуляций Т-лимфоцитов непосредственно в плевральной жидкости в сочетании с интерлейкинами, регулирующими функции иммунокомпетентных клеток [9,11]. Это позволяет не только оценивать степень иммунных расстройств, но и прогнозировать исход заболеваний. Так, содержание CD4+ лимфоцитов в плевральной жидкости у пациентов с мелкоклеточным раком легких $\leq 30\%$ приводит к повышению 5-лет-

ней выживаемости больных в 84% случаев, а при наличии CD4+ лимфоцитов >30% 5-летняя выживаемость не превышает 26,9% [11]. Эти результаты нуждаются в проведении дальнейших проспективных исследований по проблеме иммунологии ПВ.

Библиографический список

1. Караулов А.В. Клиническая иммунология и аллергология: Учебное пособие / А.В. Караулов. — М.: Медицинское информационное агентство, 2002. — 647 с.
2. Barnes P. Compartmentalization of a CD4+ T lymphocyte subpopulation in tuberculous pleuritis / P. Barnes // *J Immunol.* — 1989. — Vol. 142, T. 4. — P. 1114 — 1119.
3. Dlugovitzky D. Levels of interleukin-8 in tuberculous pleurisy and the profile of immunocompetent cells in pleural and peripheral compartments / D. Dlugovitzky // *Immunol Lett.* — 1997. — Vol. 55, T. 1. — P. 35 — 39.
4. Klimiuk J. Lymphocyte and lymphocyte subsets in pleural fluid-comparison of malignant and non-malignant disorders / J. Klimiuk // *Pol Arch Med Wewn.* — 2004. — Vol. 111, 3. — P. 291-296.
5. Lucivero G. Lymphocyte subsets in peripheral blood pleural fluid / G. Lucivero // *Eur respire J.* — 1988. — Vol. 1, № 14. — P. 337-340.
6. Okubo Y. NK in carcinomatous and tuberculous pleurisy. Phenotypic and functional analyses of NK cells peripheral blood and pleural effusions / Y. Okubo // *Chest.* — 1987. — Vol. 92, N 3. — P. 500 — 504.

7. Pettersson T. T and B lymphocytes in pleural effusions / T. Pettersson // *Chest.* — 1978. — Vol. 73, № 1. — P. 49 — 51.
8. Prado-Garcia H. Effector, memory and naive CD8+ T cells in peripheral blood and pleural effusion from lung adenocarcinoma patients / H. Prado-Garcia // *Lung Cancer.* — 2005. — Vol. T. 3. — P. 361 — 371.
9. Qin X.—J. Interleukin-16 in tuberculous and malignant pleural effusions / X.-J. Qin // *Eur Respir J.* — 2005. Vol. 25. P. 605—611.
10. San Jose M.E. Lymphocyte populations in tuberculous pleural effusions / M.E. San Jose // *Ann Clin Biochem.* — 1999. — Vol. 36, 4. — P. 492 - 500.
11. Takahashi K. Prognostic value of CD4+ lymphocytes in pleural cavity of patients with non-small cell lung cancer / K. Takahashi // *Thorax* — 2001. Vol. P. 639 — 642.

СОВАЛКИН Валерий Иванович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии ОГМА.

ПОДГУРСКАЯ Елена Петровна, заведующая пульмонологическим отделением Омской областной клинической больницы, главный пульмонолог Омской области.

ЛЕВИЦКАЯ Наталья Анатольевна, заведующая иммунологической лабораторией Омской областной клинической больницы.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.

© Совалкин В.И., Подгурская Е.П., Левицкая Н.А.

УДК 616.24-002-092:615.218.8

**Е. А. БАЙГОЗИНА
В. И. СОВАЛКИН
Т. И. ДОЛГИХ**

Омская областная
клиническая больница
Омская государственная
медицинская академия

РОЛЬ ИНТЕРФЕРОНА-ГАММА В ПАТОГЕНЕЗЕ ОСТРОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛЕГКИХ И НОЗОКОМИАЛЬНОЙ ПНЕВМОНИИ

На основании литературных данных показана двойственная роль интерферона-гамма в патогенезе острого повреждения легких и нозокомиальной пневмонии. В случае нозокомиальной пневмонии ИФН- γ как медиатор иммунокомпетентных клеток оказывает протективное действие. С другой стороны, с его помощью запускается ряд механизмов, способствующих повреждению лёгких, что требует дальнейшего изучения.

В клинической практике проводятся исследования по изучению уровня ИФН- γ при инфекциях, вызванных внутриклеточными патогенами, в то время как при инфекциях, ассоциированных с внеклеточными (в том числе нозокомиальными) микроорганизмами, роль его остается малоизученной. В эксперименте на животных показана протективная роль ИФН- γ против грамотрицательных бактерий при пневмонии, в то же время описаны

механизмы ИФН- γ -зависимого повреждения легких. Предметом дальнейших исследований должны быть механизмы ИФН- γ при остром повреждении легких и нозокомиальных пневмониях.

Гамма-интерферон (ИФН- γ) является одним из важных стимуляторов иммунокомпетентных клеток против широкого спектра инфекционных агентов [16]. К настоящему времени достаточно полно изучены механизмы Т-клеточного иммуни-

тета против интрацеллюлярных патогенов, в то время как механизм действия ИФН- γ при острых инфекциях, вызванных внеклеточными бактериями, остается малоизученным. Доказана защитная роль ИФН- γ при пневмонии, вызванной *Streptococcus pneumoniae* и *Pseudomonas aeruginosa* [16]. В качестве одного из компонентов ранней иммунной защиты против экстрацеллюлярных бактерий ИФН- γ служит ключевым активатором макрофагов и усиливает цитотоксическое действие сенсibilизированных лимфоцитов на клетки-мишени [25]. Согласно другим исследованиям, в эксперименте на животных показано, что избыток ИФН- γ , как и TNF- α и IL-6, при системной инфекции, вызванной *S. aureus*, приводит к гибели животных. Это доказано путем уменьшения уровня летальности среди экспериментальных животных после введения моноклональных антител против ИФН- γ [26].

В случае нозокомиальной пневмонии (НП), вызванной *Klebsiella pneumoniae*, ИФН- γ играет дивергентную роль [16]. Интратрахеальная инокуляция ИФН- γ -дефицитным мышам приводила к достоверному повышению летальности по сравнению с группой животных, чувствительной к ИФН- γ . Это сопровождалось 100-кратным увеличением количества бактерий в легочной ткани спустя 2 суток после инфицирования животных и коррелировало с возрастанием IL-10 в сыворотке. Эти данные указывают на то, что ИФН- γ является критическим посредником в ограничении очага воспаления в случае грамотрицательной нозокомиальной пневмонии. Двойственность роли ИФН- γ заключается в отсутствии различий в уровне летальности среди ИФН- γ -дефицитных животных и группой животных, чувствительных к ИФН- γ , при системной инфекции, вызванной *Klebsiella pneumoniae* [16].

Для понимания сущности функций ИФН- γ при НП рассмотрим роль последнего в регуляции иммунокомпетентных клеток [39].

Моноциты/макрофаги

ИФН- γ играет большую роль в биологии моноцитов/макрофагов — иммунных эффекторных клеток, являющихся первой линией защиты против инфекционных агентов. ИФН- γ является первичным макрофаг-активирующим фактором (МАФ) в системном кровотоке [28]. В качестве МАФ ИФН- γ активирует ряд функций макрофагов, включая противоопухолевую цитотоксичность клеток [20], антимикробную активность [18], повышает гибель интрацеллюлярных патогенов [34] и осуществляет антигенный процессинг и презентацию лимфоцитам посредством индукции антигенов главного комплекса гистосовместимости [1]. Известно также, что ИФН- γ в синергизме с другими агентами индуцирует экспрессию генов моноцитов/макрофагов [8].

T-клетки

ИФН- γ рассматривается как маркер T-лимфоцитов, при этом ИФН- γ усиливает клеточно-опосредованный иммунный ответ в противоположность IL-4 и IL-10, ответственным за гуморальный иммунитет [1]. ИФН- γ в синергизме с IL-2 «отвечает» за дифференцировку T-лимфоцитов в сторону Th1-популяции [27]. Наличие ИФН- γ необходимо для адекватного T-клеточного апоптоза [10]. ИФН- γ -индуцированный апоптоз ингибируется IL-2 [10]. Также выявлено, что ИФН- γ индуцирует экспрессию рецепторов IL-2 на митоген-активи-

рованных T-клетках [24]. Нейтрализация ИФН- γ с помощью моноклональных антител ингибирует T-клеточную пролиферацию, индуцированную IL-2, анти-CD3 и HLA-аллоантигенами [19].

Полиморфноядерные лейкоциты

Эффекты ИФН- γ на популяцию нейтрофилов реализуются через индукцию аффинности к экспрессии рецепторов Fc-фрагмента IgG [22], результатом чего является повышение фагоцитоза и цитотоксичности [21]. ИФН- γ в комбинации с липополисахаридами и TNF- α достоверно усиливает продукцию супероксида и гибель патогенов нейтрофилами [31].

Роль гамма-интерферона в патогенезе нозокомиальной пневмонии

Изучение роли ИФН- γ в патогенезе НП имеет практическое значение. Это связано с проблемой клинического применения препаратов интерферона в терапии внутренних болезней. Особый интерес представляет выявленное в последние годы антибактериальное действие ИФН в отношении как грамположительных, так и грамотрицательных микроорганизмов. При этом высокую чувствительность к ИФН проявляют грамположительные бактерии, низкую — грамотрицательные. К настоящему времени известно, что рекомбинантные ИФН *in vitro* и *in vivo* активируют механизмы захвата и переваривания золотистого стафилококка, клебсиелл, кандид и криптококкуса [2].

Роль ИФН- γ и оксида азота в отеке легких, индуцированном липополисахаридами

Токсические эффекты эндотоксинов реализуются посредством выработки цитокинов, особенно IL-1 и TNF- α [33]. Механизмы их функционирования приводят к экспрессии эндотелиальных и лейкоцитарных молекул адгезии, что ведет к миграции нейтрофилов и нарушению сосудистой проницаемости. Это является ключевым моментом в патогенезе эндотоксин-индуцированного повреждения легких [11]. Несмотря на то, что ИФН- γ — цитокин, продуцируемый стимулированными T-клетками и натуральными киллерами, часть из его эффектов в ситуации острого респираторного дистресс-синдрома (ОРДС) остается недостаточно изученной. Известно, что ИФН- γ является ведущим медиатором системного воспалительного ответа, обусловленного липополисахаридами [6]. Механизмы интерферона при ОРДС-синдроме реализуются через продукцию и активизацию других цитокинов (например, TNF- α и IL-1) и других медиаторов воспаления (нитрит азота, реактивный кислород, тромбоцит-активирующий фактор и др.) [5]. ИФН- γ способствует стимуляции альвеолярных макрофагов [3] и усилению экспрессии интерцеллюлярной молекулы адгезии-1 и подобных молекул, приводящих к росту адгезии лейкоцитов [9]. Более того, ИФН- γ стимулирует фермент NO-синтазу [15].

В эксперименте на животных показано, что при внутривенном введении липополисахарида развивался отек легких максимум через 6 часов. Животным проводилась нейтрализация анти-ИФН- γ антител, что приводило к повышению сывороточного ИФН- γ и ассоциировалось с лучшим прогнозом. При этом концентрация других цитокинов и NO не изменялись. При одновременном введении ИФН- γ и липополисахаридов внутривенно степень отека легких была менее выражена, однако уро-

вень противовоспалительных цитокинов и NO в сыворотке крови возрастал, приводя к высокой летальности. Терапия с применением анти-IL-12-антител приводила к подавлению выработки ИФН- γ и снижению летальности, не влияя на уменьшение отека легких. Таким образом, ИФН- γ , сам по себе не влияя на развитие отека легких, способствует индукции других цитокинов и медиаторов воспаления. По данным современных исследований [38], ИФН- γ является ключевым компонентом гипероксического повреждения легких. Этот аспект особенно важен пациентам в критическом состоянии, получающим кислородотерапию в течение длительного периода времени [4]. Кислород-индуцированное повреждение легких характеризуется повреждением альвеолярно-капиллярной мембраны в результате апоптоза альвеолярного эндотелия и эпителия [4]. Патогенез гипероксического повреждения легких до конца не изучен, но известно, что оно реализуется через активные кислородные радикалы. Провоспалительные цитокины, такие, как TNF- α и ИФН- γ , также играют роль в повреждении легких. Так, доказано, что концентрация данных цитокинов в легочной ткани повышается вследствие гипероксии еще до развития гнойного воспаления [29].

В эксперименте на животных показано, что при недостатке рецептора TNF, рецептора 1 TNF и рецептора 2 TNF последние были чувствительны к гипероксии [23]. В ряде исследований показано, что ИФН- γ индуцирует апоптоз эпителиальных клеток [13, 35]. Ключевая роль ИФН- γ в эксперименте доказана: лабораторные животные, лишенные рецепторов ИФН- γ , в состоянии гипероксии погибали реже, чем контрольная группа. Концентрации IL-12 и IL-18 (индукторов ИФН- γ) в бронхоальвеолярной лаважной жидкости животных, подвергшихся гипероксии, были значительно повышены.

Рассмотрена роль интерферон-регуляторного фактора-1 (ИРФ-1) в патогенезе пневмонии, вызванной *Pseudomonas aeruginosa* [36]. ИРФ-1 вовлечен в воспалительный ответ, обусловленный факторами вирулентности синегнойной палочки, - липополисахаридом и фосфолипазой С. Показано, что отсутствие ИРФ-1 не влияет на продукцию хемокинов, индуцированных одним из этих факторов вирулентности. Однако наличие ИРФ-1 необходимо для генерации Th1-ответа [14, 32]. Поскольку Th1-зависимые цитокины «ответственны» за нейтрализацию *P. aeruginosa* [36], низкий уровень ИРФ-1 приводит к персистенции синегнойной палочки и хронизации инфекции.

В ряде работ изучена генетическая предрасположенность к нозокомиальной пневмонии и сепсису [37]. Так, полиморфизм ИФН- γ ассоциируется с возрастанием риска инфекции у больных с травмами [30]. При этом патогенетическую роль играет преобладание у больных D-аллелей ИФН- γ . В другом исследовании показано, что микросателлитный маркер – ген ИФН- γ – рецептора 1 коррелирует с возрастанием инфекции у пациентов с политравмой [7].

При нозокомиальных пневмониях, вызванных грамотрицательной микрофлорой, выявлены глубокие иммунные нарушения, которые проявлялись резким увеличением концентрации в крови провоспалительных цитокинов на фоне недостаточности ИФН- γ , что предопределяло глубокий дефицит клеточно-опосредованного иммунитета [1].

В настоящее время рассматривается возможность применения ИФН- γ с лечебной и профилактической целью у больных с нозокомиальными инфекциями [17]. В небольшом исследовании показано, что ингаляция ИФН- γ больным с низким уровнем HLA-DR экспрессии приводит к снижению частоты развития вентилятор-ассоциированной пневмонии с 5/10 до 1/11 ($p < 0,05$) [17].

В настоящее время очевидно, что ИФН- γ является одним из важных медиаторов клеточного иммунитета. В клинической практике проводятся исследования по изучению уровня ИФН- γ при инфекциях, вызванных внутриклеточными патогенами, в то время как при инфекциях, ассоциированных с внеклеточными (в том числе нозокомиальными) микроорганизмами, роль его остается малоизученной. В эксперименте на животных показана протективная роль ИФН- γ против грамотрицательных бактерий при пневмонии, в то же время описаны механизмы ИФН- γ -зависимого повреждения легких. Предметом дальнейших исследований должно стать изучение механизмов ИФН- γ при остром повреждении легких и нозокомиальной пневмонии.

Библиографический список

1. Маркелова Е.В. Состояние системы цитокинов при нозокомиальных пневмониях / Е.В.Маркелова, Б.И. Гельцер // Цитокины и воспаление. – 2003. - № 1. - С. 14-19.
2. Рафальский В.В. Клиническое применение препаратов интерферона: справочное пособие / В.В. Рафальский. – Смоленск: СГМА, Русич – Принт, 1997.
3. Badger A.M. Modulation of rat bronchoalveolar function by the intratracheal delivery of interferon- γ / A.M. Balger, P.C. Meunier // J. Interferon Res. – 1987. – Vol. 8. – P. 251-260.
4. Barazzone C. Oxygen toxicity in mouse lung: pathways to cell death / C. Barazzone, S. Horowitz // *Im. J. Respir. Cell Mol. Biol.* – 1998. – Vol. 19. – P. 573-581.
5. Billiau A. Interferon- γ : biology and role in pathogenesis / A. Billiau // *Adv. Immunol.* – 1996. – Vol. 62. – P. 61-130.
6. Car B.D. Interferon- γ receptor deficient mice are resistant to endotoxic shock / B.D. Car, V.M. Eng // *J. Exp. Med.* – 1994 – Vol. 179. – P. 1437-1444.
7. Davis E.G. Microsatellite marker of interferon-gamma receptor 1 gene correlates with infection following major trauma / E.G. Davis, M.R. Eichenberger // Department of Surgery, Price Institute of Surgical Research, University of Louisville School of Medicine, KY 40292, USA. – 2000. - Vol. 128 (2). – P. 301-305.
8. Donnelly R. Differential regulation of IL-1 production in human monocytes by IFN- γ and IL-4 / R. Dinnelly, M.J. Fenton // *J. Immunol.* – 1990. – Vol. 145. – P. 569-575.
9. Dustin M.L. Tissue distribution, biochemistry and function of a natural adherence molecule (ICAM-1): induction by IL- α and interferon- γ // M.L. Dustin, R. Rothlein // *J. Immunol.* – 1993. – Vol. 137. – P. 245-254.
10. Groux H. CD3-mediated apoptosis of medullary thymocytes and activated peripheral T cells: respective roles of interleukin-1, interleukin-2, interferon- γ and accessory cells / H. Groux, D. Monte // *Eur. J. Immunol.* – 1993. – Vol. 23. – P. 1623-1629.
11. Heremans H. Role of interferon- γ and Nitric Oxide in Pulmonary Edema and Death Induced by Lipopolysaccharide / H. Heremans, C. Dillen // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2000. – Vol. 161. – P. 110-117.
12. Keller R. Modulation of major histocompatibility complex (MHC) expression by interferons and microbial agents / R. Keller, P. Joller // *J. Immunol.* – 1988. – Vol. 28. – P. 113-121.
13. Kim K.B. Potentiation of Fas- and TRAIL-mediated apoptosis by IFN-gamma in A549 lung epithelial cells: enhancement of caspase-8 expression through IFN-response

element / K.B. Kim, Y.H. Choi // *Citokine*. — 2002. — Vol. 20. — P. 283-288.

14. Lohoff M. Interferon regulator factor-1 is required for a T helper 1 immune response in vivo / M. Lohoff, D. Ferrick // *Immunity*. — 1997. — Vol. 6. — P. 681.

15. Moncada S. Mechanisms of disease: the L-arginin-nitric oxide pathway / S. Moncada, A. Higgs // *N. Engl. J. Med.* — 1993. — Vol. 329. — P. 2002-2012.

16. Moore T.A. Divergent role of gamma interferon in a murine model of pulmonary versus systemic *Klebsiella pneumoniae* infection / T.A. Moore, M.L. Perry // *Infection and Immunity*. — 2002. — Vol. 70. — P. 6310-6318.

17. Nakos G. Immunoparalysis in patients with severe trauma and the effect of inhaled interferon- gamma / G. Nacos, V.D. Malamou-Mitsi // *Crit. Care Med.* — 2002. — Vol. 30 (7). — P. 1488-1494.

18. Nathan C.F. Identification of interferon- γ as the lymphokine that activates human macrophage oxidative metabolism and antimicrobial activity / C.F. Nathan, H.W. Murray // *J. Exp. Med.* — 1983. — Vol. 158. — P. 670-689.

19. Novelli F. Blockade of physiologically secreted IFN- γ inhibits human T-lymphocyte and natural killer cell activation / F. Novelli, M. Giovarelli // *J. Immunol.* — 1991. — Vol. 147. — P. 1445-1452.

20. Pace J.L. Recombinant mouse γ -interferon induces the priming step in macrophage activation for tumor cell killing / J.L. Pace, S.W. Russell // *J. Immunol.* — 1983. — Vol. 130. — P. 2011-2013.

21. Perussia B. Immune interferon enhances functional properties of human granulocytes: role of Fc receptors and effect of lymphotoxin, tumor necrosis factor, and granulocyte-macrophage colony-stimulating factor / B. Perussia, M. Kobayashi // *J. Immunol.* — 1987. — Vol. 138. — P. 765-774.

22. Petroni K.C. Modulation of human polymorphonuclear leukocyte IgG Fc receptors and Fc receptor-mediated functions by IFN-gamma and glucocorticoids / K.C. Petroni, L. Shen // *J. Immunol.* — 1988. — Vol. 140. — P. 3467-3472.

23. Pryhuber G.S. Ablation of tumor necrosis factor receptor type 1 (p55) alters oxygen-induced lung injury / G.S. Pryhuber, D.P. O'Brien // *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* — 2000. — Vol. 278. — P. 1082-1090.

24. Rodrigues M.A. Human IFN- γ up-regulated IL-2 receptors in mitogen-activated T-lymphocytes / M.A. Rodrigues // *Immunology*. — 1990. — Vol. 69. — P. 554-557.

25. Rubins J.B. Role of gamma interferon in the pathogenesis of bacteremic *Pneumococcal Pneumonia* / J.B. Rubins, C. Pomeroy // *Infection and Immunity*. — 1997. — Vol. 65. — Vol. 7. — P. 2975-2977.

26. Sasaki S. Interleukin-4 and Interleukin-10 are involved in host resistance to *Staphylococcus aureus* infection through regulation of Gamma Interferon / S. Sasaki, S. Nishikawa // *Infection and Immunity*. — 2000. — Vol. 68. — P. 2424-2430.

27. Schmitt E. T-helper type 1 development of naive CD4+ T cells requires the coordinate action of interleukin-12 and interferon- γ and is inhibited by transforming growth factor- β /

E. Schmitt, P. Hoehn // *J. Immunol.* — 1994. — Vol. 24. — P. 793-798.

28. Schultz R.M. Functional identity between murine interferon and macrophage activating factor / R.M. Schultz, W. Kleinschmidt // *Nature*. — 1983. — Vol. 305. — P. 239-240.

29. Shea L.M. Hyperoxia activates NF-kappa B and increases TNF-alpha and IFN-gamma gene expression in mouse pulmonary lymphocytes / L.M. Shea, C. Beehler // *J. Immunol.* — 1996. — Vol. 157. — P. 3902-3908.

30. Stassen N.A. Interferon-gamma gene polymorphisms and the development of sepsis in patients with trauma / N.A. Stassen, L.A. Lesli-Norfleet // *Entrez. Pub. Med.* — 2002. — Vol. 132 (2). — P. 289-292.

31. Suzuki K. Priming effect of recombinant human interleukin-2 and recombinant human interferon-gamma on human neutrophil superoxide production / K. Suzuki, M. Kaneko // *Arzneimittelforschung*. — 1990. — Vol. 40. — P. 1176-1179.

32. Taki S. Multistage regulation of Th1-type immune responses by the transcription factor IRF-1 / S. Taki, T. Sato // *Immunity*. — 1997. — Vol. 6. — P. 673.

33. Tracey K.J. The role of cytokine mediators in septic shock / K. Tracey, S.F. Lowry // *Adv. Surg.* — 1990. — Vol. 23. — P. 21-56.

34. Torrico F. Endogenous IFN- γ is required for resistance to acute *Trypanosoma cruzi* infection in mice / F. Torrico, H. Heremans // *J. Immunol.* — 1991. — Vol. 146. — P. 3626-3632.

35. Wang Z. Interferon induction of pulmonary emphysema in the adult murine lung / Z. Wang, T. Zheng // *J. Exp. Med.* — 2000. — Vol. 192. — P. 1587-1600.

36. Wieland C.W. Pulmonary inflammation induced by *Pseudomonas aeruginosa* lipopolysaccharide, phospholipase C, and exotoxin A: role of interferon regulatory factor 1 / C.W. Wieland, B. Siegmund // *Infection and Immunity*. — 2001. — Vol. 70. — P. 1352-1358.

37. Wunderink R.G. Nosocomial pneumonia, including ventilator-associated pneumonia / R.G. Wunderink // *Proc. Am. Thorac. Soc.* — 2005. — Vol. 2. — P. 440-444.

38. Yamada M. Interferon- γ : a key contributor to hyperoxia-induced lung injury in mice / M. Yamada, H. Kubo // *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* — 2004. — Vol. 287. — P. 1042-1047.

39. Young H.A. Role of interferon- γ in immune cell regulation / H.A. Young, K.J. Hardy // *J. of Leukocyte Biology*. — 1995. — Vol. 58. — P. 373-381.

БАЙГОЗИНА Евгения Александровна, кандидат медицинских наук, врач-пульмонолог Омской областной клинической больницы.

СОВАЛКИН Валерий Иванович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой внутренних болезней №1 ОГМА.

ДОЛГИХ Татьяна Ивановна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая Центром лабораторной диагностики ОГМА.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.10.06 г.
© Байгозина Е.А., Совалкин В.И., Долгих Т.И.

Книжная полка

Иванов Е.М., Кытиков О.Ю., Ногородцев А.Д. Озонотерапия в гериатрии: Монография. — Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2006. — 255 с.

Кадры в здравоохранении, фармации, и системе социальной защиты. Образцы должностных инструкций. Квалификационные характеристики / Авт.-сост. Л.И. Липень. — Минск: Дикта, 2006. — 296 с.

Колесников Л.А., Чукбар А.В. Анатомия зубов: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., испр., доп. — М.: Медицина XXI; Практ. медицина, 2007. — 48 с.

Казанский медицинский университет
Клинический онкологический
диспансер МЗ РТ, г. Казань

ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТАПЛАЗИЙ, ДИСПЛАЗИЙ И АДЕНОКАРЦИНОМ В ПИЩЕВОДЕ БАРРЕТТА

С помощью моноклональных антител к цитокератинам (№ 7,20,5,14, "PAN"), виллину, Ki-67, PCNA, p53, циклину-D1 исследовано 63 случая патологии пищевода, включая 45 пищевода Барретта (ПБ) и 10 аденокарцином. Выявлены различия в ИГХ-фенотипе кишечной и желудочной метаплазии в ПБ, получены данные в пользу теории происхождения железистого эпителия ПБ из резервных клеток плоского эпителия.

Исследовано 63 случая патологии пищевода, включая 45 пищевода Барретта (ПБ) и 10 аденокарцином, с применением моноклональных антител к цитокератинам (№7,20,5,14, "PAN"), виллину, Ki-67, PCNA, p53, циклину-D1. Выявлены различия в ИГХ фенотипе кишечной и желудочной метаплазии в ПБ, получены данные в пользу теории происхождения железистого эпителия ПБ из резервных клеток плоского эпителия.

Актуальность. Наиболее частой опухолью пищевода до недавнего времени являлся плоскоклеточный рак (до 90-95% злокачественных новообразований этой локализации) [1]. За последние несколько десятилетий структура заболеваемости злокачественными опухолями пищевода претерпела значительные изменения. В России, США, странах Западной Европы, а также в ряде стран Азии отмечается резкий подъем заболеваемости аденокарциномой пищевода. Частота выявления аденокарцином пищевода в России в настоящее время оценивается как 6–8 новых случаев на 100 тыс. населения в год [2].

Как показано в большом количестве работ, риск развития аденокарциномы пищевода связан с железистой метаплазией эпителия пищевода, которая является осложнением гастроэзофагеальной рефлюксной болезни (ГЭРБ). Впервые это состояние было описано английским хирургом Норманом Руппертом Барреттом в 1950 г. и получило в дальнейшем название «пищевод Барретта» (ПБ) [3, 4].

По данным ряда исследований, частота ПБ в общей популяции достаточно высока и составляет в среднем от 0,95% до 4,8% в различных регионах [5]. До 80-90% аденокарцином дистального отдела пищевода развивается на фоне ПБ [6].

Участки кишечной метаплазии могут возникать не только в слизистой оболочке пищевода, но и в кардии желудка. По сравнению с ПБ кишечная метаплазия кардии имеет значительно более низкий злокачественный потенциал и не требует врачебного вмешательства [7,8]. Для дифференциальной диагностики этих состояний было предложено исследовать экспрессию специфических для этих локализаций маркеров с помощью иммуногистохимического (ИГХ) анализа.

Таким образом, актуальным является изучение таких морфологических характеристик эпителия

в ПБ, которые достоверно указывают на риск развития аденокарцином, что позволило бы выбирать рациональный терапевтический подход.

Целью настоящего исследования являлось изучение морфогенеза метаплазий, дисплазий и аденокарцином в ПБ.

Задачи. 1) Провести анализ изменений в эпителии пищевода при различных формах метаплазий; 2) Исследовать диспластические процессы в ПБ; 3) Изучить ИГХ – фенотип аденокарцином, возникающих из ПБ; 4) Создать оптимальный алгоритм ИГХ-диагностики для повседневного исследования ПБ в онкологической практике.

Материал и методы

В соответствии с целью и задачами было проведено гистологическое и иммуногистохимическое изучение 63 случаев патологии дистального отдела пищевода, включая 45 наблюдений ПБ и 10 – аденокарциномы пищевода у больных, лечившихся в Клиническом онкологическом диспансере Республики Татарстан (г. Казань) с 2001 по 2006 гг. Был проведен также анализ амбулаторных карт и историй болезни (табл. 1 и 2).

Полученный при помощи эндоскопии материал фиксировали в 10 %-ном формалине, обезвоживали в спиртах восходящей плотности и заливали в парафин. На микротоме Leica (Германия) готовились парафиновые срезы толщиной 5-7 мкм, которые наносились на стекло, обработанное поли-L-лизинном, окрашивались гематоксилином и эозином, а также использовались для иммуногистохимических реакций. После депарафинирования и обезвоживания срезов проводилась демаскировка антигенных детерминант кипячением в 0,1М цитратном буфере pH 6,0 в течение 20 минут. Иммуногистохимические исследования проведены с помощью набора моно- и поликлональных антител к белкам промежуточных филаментов эпителиальных клеток (цитокератинам – ЦКР №7, 20, 5, 14, "PAN"), клеток мезенхимального происхождения (виментину), белку щеточной каемки энтероцитов (виллину), маркерам пролиферации (Ki-67, PCNA) и дисплазии (p53, циклину D1), а также ряду других тканеспецифических белков (CD68, PЭА, ЭМА). Иммуногистохимические реакции на парафиновых срезах проводили с

Таблица 1

Распределение больных с ПБ по полу, возрасту, протяженности очагов поражения и гистологическому типу строения

	пол		возраст (лет)			протяженность (см)			гистологический тип	
	муж	жен	≤40	40-60	≥60	≤2	2-3	≥3	желудочный	кишечный
число наблюдений	34	11	5	33	7	19	14	12	27	18
%	76	24	11	73	16	42	31	26	60	40

Таблица 2

Распределение больных со злокачественными новообразованиями пищевода по полу, возрасту и гистологическому типу опухоли

	Пол		Возраст			Гистологический тип		
	муж	жен	≤40	40-60	≥60	Аденокарцинома	Плоскоклеточный рак	Низкодифференцированный рак
число наблюдений	9	5	-	4	10	10	2	2
%	65	35		29	71	72	9	9

помощью системы стрептавидин-биотин (LSAB 2, DAKO).

Заключение препаратов при окрашивании хромогеном АЕС проводилось при помощи специальной среды Fastmount, а при использовании ДАБ, устойчивого к действию органических растворителей, — с помощью канадского бальзама. Проматривали стекла в микроскопе Leica CTR 5000.

Характер иммуногистохимических реакций оценивали визуально в баллах с учетом интенсивности окраски и процента окрашенных клеток. Подсчет индекса пролиферации выполняли с помощью системы для морфометрии на базе IBM PC Pentium 4 и пакета программ "Leica Qwin 3000".

Результаты

1) Строение и фенотип метапластического эпителия в ПБ.

Среди 50 случаев ПБ мы выявили 3 типа метаплазии: кардиальную, фундальную и кишечную (характеризующуюся наличием бокаловидных клеток). Иммуногистохимически желудочная метаплазия характеризовалась позитивной реакцией с антителами к ЦКР №7 (в поверхностном железистом эпителии), негативной или слабой реакцией с антителами к ЦКР №20 и виллину. При анализе иммуногистохимической реакции с маркером Ki-67 в случае желудочной метаплазии пролиферация была низкой (до 10-15%) или умеренной (до 20%), в среднем 14%.

Фенотип кишечной метаплазии, по данным иммуногистохимического анализа, включал в себя экспрессию ЦКР №7 в поверхностном и глубоком слоях железистого эпителия, экспрессию ЦКР №20 лишь в поверхностном железистом эпителии и экспрессию виллина (апикально). С помощью антител к Ki-67 и PCNA обнаружился умеренный (до 20%) или высокий уровень пролиферации (30-40%), в среднем 27%. В 24 из 30 исследованных случаев желудочной и кишечной метаплазии была обнаружена позитивная реакция в метапластическом эпителии с антителами к цитокератинам высокой молекулярной массы (№ 5,14 по каталогу Мола), в норме экспрессируемых лишь плоским и протоковым эпителиями.

2) Строение и фенотип дисплазий в ПБ. В результате исследования 45 случаев пищевода Барретта признаки дисплазии были выявлены в 7 случаях исключительно на фоне кишечной метаплазии. В трех наблюдениях гистологическая картина соответствовала лёгкой дисплазии: в клетках поверхностных желез обнаружались гиперхромные ядра с нарушенной ориентацией

без выраженных признаков воспаления. Если диспластические изменения проявлялись на фоне выраженной плазмоцитарной и гистиоцитарной инфильтрации, ставился диагноз — неопределённая степень дисплазии (4 случая). При иммуногистохимическом анализе с использованием антител к маркерам дисплазии p53 и циклину D1 в двух случаях была выявлена позитивная реакция на p53. Также в случае дисплазии обнаружился высокий уровень пролиферации по уровню Ki-67 (количество позитивных ядер более 40%). Все анализы с антителами к циклину D1 были негативными. ИГХ окрашивание коллагена IV базальной мембраны не выявило её дефектов при дисплазии в ПБ.

3) Строение и фенотип аденокарцином пищевода. Среди 10 выявленных случаев аденокарциномы пищевода гистологически определялись папиллярный, тубулярный и диффузный (в двух случаях недифференцированного рака) типы строения. При иммуногистохимическом анализе 10 случаев аденокарцином было выявлено 3 варианта фенотипа: «кишечный тип» (экспрессия ЦКР №20 и виллина), «желудочный кардиальный тип» (экспрессия ЦКР №7 и виллина), «смешанный кишечно-кардиальный тип» (позитивная реакция на ЦКР №7 и №20, виллин). Недифференцированный рак характеризовался лишь экспрессией ЦКР-PAN и ЭМА. В одном случае (10%) аденокарциномы пищевода выявлена позитивная реакция на маркер дисплазии p53. Уровень пролиферации в клетках аденокарциномы пищевода был высоким (40-60% ядер, позитивных на Ki-67).

В случае аденокарциномы обнаруживалась инвазия опухолевых клеток базальной мембраны (визуализированной при помощи ИГХ окрашивания антителами к коллагену IV).

Кроме того, в клетках аденокарцином во всех ИГХ анализах нами была выявлена позитивная реакция на цитокератины высокой молекулярной массы (№ 5,14 по каталогу Мола).

Использование полученных данных в клинике

После анализа гистологического строения и фенотипа ткани 63 пациентам был поставлен диагноз: в 27 случаях — ПБ с желудочной метаплазией, в 18 — ПБ с кишечной метаплазией, в 10 — аденокарцинома пищевода на фоне ПБ, в двух — плоскоклеточный рак (ПКР), в двух — низкодифференцированный рак и в четырех — хронический продуктивный эзофагит (табл. 3).

С использованием полученных нами данных в клинике определялись группы больных, требу-

Структура наблюдений

	кишечная метаплазия	желудочная метаплазия	Аденокарцинома	Плоскоклеточный рак	Низкодифференцированный рак	Хронический эзофагит
число наблюдений	18 (3)*	27	10	2	2	4
%	29 (5)	43	16	3	3	6

*В 3-х (5% от общего числа наблюдений) случаях кишечной метаплазии были выявлены признаки легкой дисплазии

ющих различных вариантов врачебной тактики: радикального хирургического вмешательства, локального эндоскопического лечения, консервативной терапии или наблюдения.

Обсуждение. ПБ привлекает все большее внимание клиницистов и морфологов в связи с растущей заболеваемостью аденокарциномой пищевода. Проведенное нами гистологическое, гистохимическое и иммуногистохимическое исследование метапластического железистого эпителия пищевода выявило гетерогенность ПБ как по гистологическому строению, так и спектру экспрессируемых антигенов. Гистологически в ПБ выявлялся железистый эпителий с бокаловидными клетками («кишечный тип») и без таковых («желудочный тип» с фундальным и кардиальным вариантами строения). При иммуногистохимическом исследовании выявлено два основных варианта фенотипа: желудочный (позитивная ИГХ реакция на ЦКР №7 в поверхностном и глубоком слоях железистого эпителия, слабая очаговая или негативная реакция на ЦКР №20, слабая или негативная реакция на виллин) и кишечный (позитивная реакция на ЦКР №7 лишь в глубоких отделах желез и яркая позитивная реакция на ЦКР №20 во всех слоях железистого эпителия, яркая апикальная реакция на виллин). Наши данные согласуются с исследованиями других авторов, которые изучали экспрессию цитокератинов №7 и №20 в ПБ [9]. Обнаруженная нами позитивная иммуногистохимическая реакция с антителами к цитокератинам высокого молекулярного веса (в норме маркирующим базальные клетки плоских эпителиев) в подавляющем большинстве анализов (24 из 30) случаев ПБ говорит в пользу гипотезы о происхождении эпителия пищевода Барретта из резервных клеток плоского эпителия самого пищевода.

Уровень пролиферации (маркеры Ki-67 и PCNA) в случае желудочной метаплазии оказался достоверно ниже (в среднем 14%), чем при кишечной (в среднем 27 %, $p < 0,05$), что согласуется с данными зарубежных исследований.

В трех из 45 случаев ПБ (7%) был выставлен диагноз «дисплазия на фоне кишечной метаплазии». Это – средний показатель в сравнении с опубликованными ранее данными [10]. Экспрессия аномального белка p53 была выявлена в двух случаях дисплазии в пищеводе Барретта. Ни в одном из проанализированных нами случаев дисплазии в ПБ не была выявлена сверхэкспрессия циклина D1. По данным литературы, экспрессия мутантного белка p53 является ранним событием канцерогенеза в пищеводе Барретта и может использоваться для подтверждения диагноза дисплазии [11]. Сверхэкспрессия циклина D1 – показатель тяжелого нарушения регуляции клеточного цикла, по данным литературы, в случае пищевода Барретта наблюдается в 29% случаев тяжелой дисплазии и в 85% при аденокарциномах пищевода, являясь неблагоприятным прогностическим фактором [12].

Можно провести параллель между обнаруженными нами 3 вариантами фенотипа аденокарцином

пищевода (желудочный, кишечный и смешанный) и фенотипически гетерогенными метапластическими эпителиями в ПБ. Эти данные говорят в пользу последовательного развития аденокарцином пищевода из повреждаемого эпителия, а не появления их de novo.

Несмотря на то что большинство гастроэнтерологов и морфологов склоняется к низкой оценке злокачественного потенциала метаплазии эпителия пищевода желудочного типа, тем не менее при выявлении этой патологии пациент не должен оставаться без внимания. Во-первых, желудочная метаплазия эпителия пищевода сама по себе является проявлением тяжелого течения гастроэзофагеальной рефлюксной болезни, требующей иногда не только консервативной терапии, но и оперативного вмешательства для восстановления функции кардиального сфинктера. Во-вторых, исследование ряда авторов показали, что внутри пласта метапластического эпителия желудочного типа могут находиться небольшие островки кишечной метаплазии (нередко не выявляемые патологом), которые достаточно часто имеют признаки дисплазии и обладают высоким злокачественным потенциалом. В-третьих, в некоторых публикациях указывается, что желудочная метаплазия со временем может трансформироваться в кишечную, являясь начальной стадией прогрессирования от нормального эпителия пищевода до аденокарциномы [13].

Выводы

1. Кишечная и желудочная метаплазия в ПБ обладает различным иммуногистохимическим фенотипом, что может использоваться при дифференциальной диагностике. Кишечная метаплазия характеризуется высокой митотической активностью и нередко имеет черты дисплазии. Экспрессия цитокератинов № 5,14 в ПБ говорит в пользу гипотезы о развитии железистой метаплазии из базальных клеток плоского эпителия.

2. Для верификации дисплазии в ПБ в сложных случаях может использоваться маркер p53.

3. Сходство между различными типами дифференцировки аденокарциномы и метаплазий, экспрессия цитокератинов высокой молекулярной массы в обоих случаях говорят в пользу теории происхождения аденокарциномы из метапластического эпителия ПБ.

4. Для дифференциальной диагностики и прогнозирования течения патологического процесса при ПБ рекомендуется использование ряда моноклональных антител к цитокератинам № 7, 20, виллину, Ki-67, белку p53 как маркерам «первой линии» и РЭА, циклину D1, CD68, коллагену IV в расширенной «панели».

Библиографический список

1. Патологоанатомическая диагностика опухолей человека: Руководство в 2-х томах. Т.2/ под ред. Н.А. Краевского, А.В. Смольяникова, Д.С.Саркисова. – 4-е изд., перераб.

2. Болезни пищевода/ под ред. Ивашкина В.Т., Трухманова А.С. – Москва, «Триада – X», 2000 – 179 с.
3. Barrett N. Chronic peptic ulcer of the oesophagus and "oesophagitis". Br J Surg 1950;38:175-182.
4. Barrett N. The lower oesophagus lined by columnar epithelium. Surgery 1957;41:881-894.
5. Giulii R. Barrett's esophagus: 250 questions-250 answers, Paris: John Libbey Eurotext 2003, Vol.1, p. 1-6.
6. Falk GW. Barret's esophagus: screening, surveillance and decisions on dysplasia and cancer risk// Scientific sessions hand-outs. Digestive disease week. – 2003. – p.248.
7. Younes M. What is the role of cytokeratins in Barrett/cardia differentiation? Arch. Pathol Lab. Med. 2005 Feb; 129 (2) 181-2.
8. Mohammed IA, Streutker CJ, Riddel RH. Utilization of cytokeratins 7 and 20 does not differentiate between Barrett's esophagus and gastric cardiac intestinal metaplasia. Mod. Pathol 2002 Jun; 15 (6): 611-6.
9. Mouzas I. A. et al. Cytokeratin immunoreactivity of intestinal metaplasia. Gut 2002; 51:894-895.
10. Skacel M. et al. The diagnosis of low-grade dysplasia in Barrett's esophagus and its implications for disease progression. Am J Gastroenterol 2000 Dec;95(12):3383-7.
11. Yan-Song Bian, et al. p53 Gene Mutation and Protein Accumulation during Neoplastic Progression in Barrett's Esophagus. Mod Pathol 2001;14: 397-403.
12. Kamal Bani-Hani et al. Prospective study of cyclin D1 overexpression in Barrett's esophagus: Association with increased risk of adenocarcinoma. Journal of the National Cancer Institute, Vol. 92, No. 16, 1316-1321, August 16, 2000.
13. Sampliner RE. Practical guidelines on the diagnosis, surveillance and therapy of Barrett's esophagus. Am. Journal of Gastroenterology 1998; 93:1028-1031.

АХМЕТОВ Т.Р., аспирант Казанского медицинского университета.

Дата поступления статьи в редакцию: 22.10.06 г.
© Ахметов Т.Р.

УДК 616.24-002:616.98-07

Е. А. БАЙГОЗИНА
В. И. СОВАЛКИН
А. В. ПАВЛОВ
М. В. ПОДОЙНИКОВ

Омская областная
клиническая больница
Омская государственная
медицинская академия

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ НОЗОКОМИАЛЬНОЙ ПНЕВМОНИИ В МНОГОПРОФИЛЬНОМ СТАЦИОНАРЕ

На основании проведенных исследований выявлено, что частота диагностических ошибок в отношении нозокомиальной пневмонии составляет 26,2%. Основными проблемами гипо- и гипердиагностики НП являются: наличие «масок» пневмонии, возможность её малосимптомного или скрытого течения и разнородность популяции больных. Выявлено соответствие клинического течения НП её морфологическому варианту.

Развитие нозокомиальной пневмонии (НП) сопряжено с высоким риском летального исхода. Своевременная диагностика данного осложнения связана с рядом трудностей, обуславливающих частоту диагностических ошибок в 26,2% случаев. Основными проблемами в диагностике НП являются: наличие «масок» пневмонии, возможность её малосимптомного или скрытого течения и разнородность популяции больных. Выявлено соответствие клинического течения НП её морфологическому варианту.

Несмотря на полуторадесятилетний опыт изучения, НП по-прежнему остается серьезной проблемой в современных многопрофильных стационарах. Об этом свидетельствуют мировые данные о распространенности НП – 5-10 случаев на 1000 госпитализированных пациентов в стационар [3].

На долю вентилятор-ассоциированной пневмонии (ВАП) приходится 20-50% [4]. Актуальность проблемы усугубляется высоким уровнем летальности от данного осложнения - ~33-50% [3] и возрастанием общей стоимости лечения пациента в стационаре – в 3,5 раза [4]. Прогноз НП во многом определяется своевременностью диагностики и лечения НП.

Цель. Выявить причины трудностей диагностики НП, изучив особенности клинического её течения, и сопоставить их с результатами патоморфологических исследований в случае неблагоприятного исхода.

Материалы и методы. Проспективно и ретроспективно (анализ историй болезни и протоколов патологоанатомических вскрытий) рассмотрены течение и исход нозокомиальной пневмонии у 38 пациентов, находившихся на лечении в отде-



Рис. 1. Частота диагностических ошибок в отношении нозокомиальной пневмонии (по данным протоколов вскрытий)



Рис. 2. Варианты течения

лениях общего профиля и ОРИТ многопрофильного стационара за период с ноября 2005 года по август 2006 года. Средний возраст обследуемых больных составил $40,39 \pm 2,23$ лет. У 27 (71,1%) больных пневмония развивалась на фоне проведения ИВА – вентилятор-ассоциированная пневмония. У 11 (28,9%) пациентов с пневмонией респираторной поддержки не проводилось.

Результаты и их обсуждение. При анализе данных историй болезни обращает внимание разнообразность популяции больных с НП. Среди них выделяют группы с НП, возникшие в отделениях общего профиля, в блоках интенсивной терапии и находящиеся на ИВА. Наиболее часто НП развивается в отделениях хирургического профиля – в 71% случаев, в отделениях терапевтического профиля – 23%; в неврологическом стационаре – 6%.

Развитие НП у хирургических больных пролонгирует пребывание последних как в ОРИТ, так и в стационаре. Достаточно отметить, что продолжительность нахождения в ОРИТ увеличивается в среднем на 22 суток, а в стационаре – на 25 суток. Кроме того, ухудшается прогноз у пациентов хирургического профиля: летальность увеличивается до 64% против 34% у больных без данного осложнения. При этом атрибутивная стоимость лечения одного больного с НП составляет 40-50 тысяч рублей.

Согласно нашим результатам патологоанатомических исследований, распространенность НП составила 14,2%. По свидетельству В.А. Руднова, «пока сложно рассматривать истинную распространенность ВАП в России из-за отсутствия стандартов диагностики и интенсивной терапии, низкой оснащенности и крайней гетерогенности пациентов ОРИТ» [2]. Тем не менее, по нашим данным, более чем в 70% случаев имело место совпадение клинико-рентгенологического и патологоанатомического диагнозов НП. В 16% случаев НП не была диагностирована прижизненно, а у 10,2% больных имела место гипердиагностика (рис. 1).

Причины гипо- или гипердиагностики НП зачастую кроются в особенностях течения данной пневмонии. В отличие от внебольничной нозокомиальной пневмонии, особенно ВАП, может иметь малосимптомное или скрытое течение. Это стало

известно благодаря ранее проведенным исследованиям [1]. По результатам наших исследований, чаще встречается типичный вариант течения НП – в 59% случаев. Малая выраженность клинических симптомов была характерна в 30% случаев, а скрытый вариант течения – в 11% (рис. 2). У больных с типичным течением НП чаще наблюдался двусторонний характер поражения легких с локализацией инфильтративных изменений в 55% случаев в нижних отделах, в 45% - полисегментарно. Более чем в половине случаев (55,5%) пневмония носила очагово-сливной характер, в 33,3% - очаговый и в 11,1% - субтогальный. На рисунке 3 представлена рентгенограмма пациента, непосредственной причиной смерти которого послужила госпитальная пневмония. Среди осложнений НП следует выделить: плевральный выпот – 20% случаев; отек легких – 11,4%; абсцедирование – 8,6% и пневмоторакс – 2,9%.

Среди актуальных альтернатив НП (ВАП) наиболее распространенным был ОРДС-синдром – в 15% случаев он предшествовал развитию пневмонии. Среди других «масок» НП следует отметить тромбоэмболию легочной артерии, ателектазы и отек легких.

При патоморфологическом исследовании легких в 34,3% случаев выявлен серозно-гнойный характер пневмонии. Данный вариант НП чаще встречался у больных с длительным пребыванием в ОРИТ и на ИВА, с тяжелой хирургической патологией и сепсисом. Необходимо отметить, что подобный тип НП чаще соответствовал типичному течению пневмонии. Серозно-геморрагический вариант НП верифицирован у 28,6% умерших больных. Подобные изменения в легких несколько чаще выявлялись у пациентов с гематологической патологией, сопровождающейся тромбоцитопенией и геморрагическим синдромом. Для больных с нейтропенией характерно развитие фибринозно-некротического типа пневмонии; её частота составила 25,7%. В одном случае нами выявлены морфологические изменения в легких, соответствующие вирусной пневмонии (серозно-десквамативный вариант).

Анализируя патоморфологическую стадию процесса, нами выявлено, что для развернутой стадии пневмонии характерны наличие в просвете бронхов слущенного альвеолярного эпителия, инфильтрация слизистой оболочки бронхов полиморфноядерными лейкоцитами. В паренхиме легких наблюдаются полнокровие сосудов, наличие серозной жидкости в полости альвеол в сочетании со слущенным альвеолярным эпителием и полиморфноядерными лейкоцитами. При развитии стадии осложнений НП альвеолярные перегородки местами разрушены, межальвеолярные пространства заполнены полиморфноядерными лейкоцитами, образуя участки микроабсцедирования. Стадия разрешения пневмонии наблюдалась только в 5,7% случаев.

При бактериологическом исследовании аутопсийного материала наиболее частыми инфекционными агентами выступали синегнойная палочка и золотистый стафилококк, нередко в ассоциации, что соответствовало спектру возбудителей НП прижизненно.

Вывод. Распространенность диагностических ошибок (гипо- и гипердиагностика) в отношении НП составляет 26,2%. Основными причинами трудностей диагностики являются: наличие

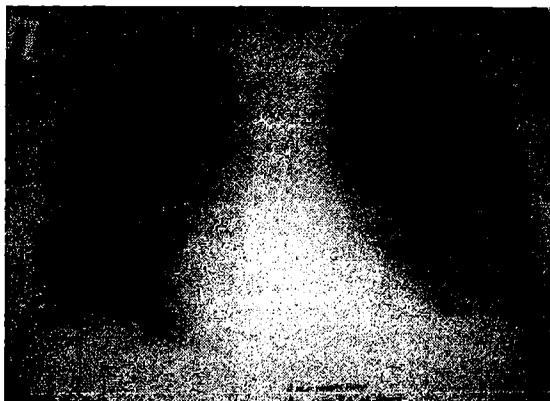


Рис. 3. Р-грамма ОГК в прямой проекции больного А., 62 лет.
 Диагноз: нозокомиальная двусторонняя субтотальная пневмония, осложненная двусторонним плевральным выпотом

«масок» НП (ОРДС-синдром, ТЭЛА, ателектазы и отек легких), возможность малосимптомного или скрытого течения НП и разнородность популяции больных. Патоморфологические изменения в легких нередко соответствуют клиническому варианту течения НП: серозно-гнойный тип пневмонии чаще встречается при типичном варианте течения; фибринозно-некротический и серозно-десквамативный типы характерны для малосимптомного или скрытого вариантов течения НП (ВАП).

Библиографический список

1. Домникова Н.П. Внутрибольничные пневмонии / Н.П. Домникова, Л.Д. Сидорова, Г.И. Непомнящих. — М.: Издательство РАМН. — 2003. — 287 с.
2. Руднов В.А. Вентиляторассоциированная пневмония: дискуссионные вопросы терминологии, диагностики и эмпирической антибиотикотерапии / В.А. Руднов // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. — 2001. - № 3. — том 3. — С. 198-208.
3. American Thoracic Society Documents. Guidelines for the Management of Adults with Hospital-acquired, Ventilator-associated and Healthcare-associated Pneumonia // Am. J. Respir. Crit. Care Med. — 2005. - Vol. 171. — P. 388-416.
4. Warren D.K. Outcome and attributable cost of ventilator-associated pneumonia among intensive care unit patients in a suburban medical center / D.K. Warren, S.J. Shukla // Crit. Care Med. — 2003. — Vol. 31, № 5. — P. 1312-1317.

БАЙГОЗИНА Евгения Александровна, кандидат медицинских наук, врач-пульмонолог ООКБ.

СОВАЛКИН Валерий Иванович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной терапии ОГМА.

ПАВЛОВ Алексей Вячеславович, врач-патоморфолог ООКБ.

ПОДОЙНИКОВ Михаил Владимирович, заведующий патологоанатомическим отделением ООКБ.

Дата поступления статьи в редакцию: 28.09.06 г.

© Байгозина Е.А., Совалкин В.И., Павлов А.В., Подойников М.В.

УДК 616.12-008.313+616.12-008.318-08

Д. В. НАУМОВ
В. Т. ДОЛГИХ
В. А. АХМЕДОВ
В. Э. ДВОРНИКОВ

Омская государственная
 медицинская академия
 Клиническая больница
 на станции Омск

ФИБРИЛЛЯЦИЯ ПРЕДСЕРДИЙ КАК РАЗНОВИДНОСТЬ НАДЖЕЛУДОЧКОВЫХ ТАХИАРИТМИЙ, ОТЯГОЩАЮЩАЯ ТЕЧЕНИЕ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ

В обзоре содержится анализ отечественных и зарубежных публикаций по проблеме фибрилляции предсердий, которая существенно отягощает течение артериальной гипертензии. Акцентируется внимание на ведущих патогенетических факторах возникновения, течения и устранения фибрилляции предсердий. Особое внимание уделяется схемам комплексного лечения больных, страдающих гипертонической болезнью, периодически осложняющейся пароксизмами фибрилляции предсердий.

По данным ВОЗ, нарушения ритма сердца занимают 4-е место в структуре сердечно-сосудистых заболеваний [1]. При этом фибрилляция, или мерцание предсердий (МП), является одной из наиболее

распространенных форм нарушений сердечного ритма, и в отличие от желудочковых аритмий МП обычно не представляет непосредственной угрозы жизни больного. Фибрилляция предсердий

(ФП) является одним из наиболее частых вариантов нарушений ритма сердца и в экономически развитых странах встречается у миллионов людей преимущественно пожилого и старческого возраста. Медико-социальное значение ФП определяется повышенным уровнем летальности больных и достаточно частым развитием её осложнений, в первую очередь ишемического инсульта.

Острые нарушения гемодинамики, вызываемые МП, подчас являются причиной госпитализации больных в отделение интенсивной терапии и реанимации. Любопытно, что в США на долю случаев МП приходится больше дней госпитализаций, чем на все желудочковые аритмии вместе взятые. Повышенный интерес к МП связан и с его осложнениями в виде тромбоэмболии легочной артерии (ТЭЛА), церебральных и почечных сосудов. Риск ТЭЛА повышен при МП в среднем в 5 раз, а риск инсульта возрастает при увеличении левого предсердия свыше 40 мм (по данным эхокардиографии), что обуславливает необходимость проведения предварительной антикоагулянтной терапии.

Среди других осложнений МП – аритмогенная дилатация сердечных камер, а также расстройства гемодинамики, проявляющиеся, в частности, застоем в легких, большом круге и синкопальными состояниями. Нарушения гемодинамики у больных МП могут быть обусловлены эпизодами ускорения желудочковых сокращений, их нерегулярностью, укорочением наполнения желудочков в диастолу, отсутствием эффективных предсердных систол («предсердной подкачки»), снижением сократительной функции миокарда либо вагусными реакциями.

Фибрилляция предсердий (ФП) – разновидность наджелудочковых тахиаритмий, характеризующаяся не координированной электрической активностью предсердий с последующим ухудшением их сократительной функции. Она характеризуется учащенным хаотичным и не координированным возбуждением и сокращением отдельных мышечных волокон предсердий (от 350 до 600 мин⁻¹) и сопровождается низким сердечным выбросом вследствие нарушения наполнения желудочков кровью и нерегулярного их сокращения, желудочковой дисфункцией и повышенным риском развития тромбоэмболических инсультов. ФП – одна из наиболее частых аритмий с отягощенным прогнозом из-за гемодинамических последствий, необходимости проведения антиаритмической терапии в целях уменьшения риска возникновения тромбоэмболических осложнений, в частности инсульта.

Известно, что появление ФП увеличивает риск возникновения сердечно-сосудистой заболеваемости и летальности. В то же время при артериальной гипертензии (АГ) риск развития ФП повышается на 42%. В настоящее время отсутствуют данные об оптимальной терапевтической стратегии ведения больных АГ, имеющих постоянную или пароксизмальную форму ФП или риск ее возникновения. ФП в сочетании с артериальной гипертензией встречается приблизительно в 10 раз чаще, чем все остальные виды пароксизмальных наджелудочковых тахиаритмий, таких, как синусовая спонтанная тахикардия, предсердная фокальная тахикардия, предсердная политопная тахикардия, предсердная макро-ри-энтри тахикардия, узловая предсердно-желудочковая реципрокная пароксизмальная тахикардия, фокальная непароксизмальная тахи-

кардия (из атриовентрикулярного соединения), реципрокная непароксизмальная тахикардия (из атриовентрикулярного соединения), предсердно-желудочковая реципрокная тахикардия (с участием дополнительного пучка), трепетание предсердий. ФП является, в основном, геронтологической проблемой, поскольку распространенность этого заболевания в популяции увеличивается с возрастом. Распространенность ФП составляет 0,5 % в популяции, после 60 лет ФП отмечается у 5 %, а после 75 – у 10 % людей [1]. Частота встречаемости ФП возрастает в связи со старением популяции. Если в 1968-1970 гг. среди мужчин 65-84 лет она встречалась в среднем в 3,2 % случаев, то в 1987-1989 гг. – уже 9,1% случаев.

В современной кардиологии одним из актуальных вопросов, имеющих чрезвычайно большое теоретическое и практическое значение, является изучение причин возникновения пароксизмальных нарушений сердечного ритма, среди которых наиболее значимой считается проблема ФП [4]. Неоднократно отмечались случаи ФП в поколениях, однако не было ясно, является ли это осложнение наследуемым состоянием. По данным проспективного когортного исследования в рамках Фремингемского исследования (Framingham Heart Study), проходившего с 1983 по 2002 гг., даже с учетом статистических неточностей наличие хотя бы у одного из родителей ФП в анамнезе повышает риск возникновения ФП у потомства [14].

В последние годы обсуждается возможная связь процессов ремоделирования предсердий с генетической предрасположенностью. Сообщается о семейных формах ФП, ассоциированных с изменениями в хромосоме 10q 1997. У ряда больных установлена связь ФП с I/D полиморфизмом гена ангиотензинпревращающего фермента.

С течением времени представления о структуре этиологических факторов, приводящих к возникновению ФП, претерпели изменения. Так, среди нозологических форм данной тахиаритмии значительно уменьшилась доля ревматических пороков сердца и увеличилось процентное участие ишемической болезни сердца (ИБС) и артериальной гипертензии [5]. Важным аспектом представляемой проблемы является выявление причинно-следственной связи ФП с органической патологией сердца. Как правило, ФП рассматривается в качестве одного из ведущих симптомов основного заболевания либо как фактор, приводящий к усугублению его клинических проявлений [10].

В качестве важного фактора, способствующего процессам патологического ремоделирования миокарда при различных патологических состояниях в целом и при ФП в частности, сегодня рассматривается повышение активности ренин-ангиотензиновой системы (РАС). В ряде недавних экспериментальных и клинических работ представлены доказательства существенной роли ангиотензина II в стимулировании процессов ремоделирования миокарда предсердий при ФП. Так, показано, что при ФП наблюдаются многообразные изменения интракардиальной РАС, включая увеличение локальных концентраций ангиотензина II в миокарде, увеличение экспрессии ангиотензинпревращающего фермента и уменьшение концентрации рецепторов ангиотензина II типа AT I на миокардиоцитах, что, по мнению Goette, может отражать стимулирующие эффекты ангиотензина II на процессы ремоделирования. Выявленное некоторыми

авторами уменьшение частоты рецидивов ФП под влиянием ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента свидетельствует об участии ангиотензина II в ремоделировании миокарда предсердий при их фибрилляции.

Во многих исследованиях подчёркивается связь ФП с морфологическими и функциональными изменениями в миокарде [8, 9]. В 1998 году была предложена теория спонтанной инициации ФП из мышечных муфт лёгочных вен [7, 18]. До этого в литературе имелись лишь сведения об их ритмической активности, которые, по данным ряда исследователей, могут осуществлять запирающую функцию для предотвращения регургитации крови в вены при систоле предсердий. В настоящее время есть мнение о том, что задержка электрической активации в мышечных муфтах лёгочных вен, приводящая к возникновению аритмии, вероятно, связана с анизотропным проведением возбуждения в этой зоне миокарда [17]. Вероятно, существует связь между особенностями проведения импульса в лёгочных венах и анатомией мышечной муфты в их адвентиции. При большом увеличении микроскопа у больных, имевших ФП, найдены локальные изменения в мышечных муфтах лёгочных вен, которые представлены фиброзом, иногда с наличием сосудов замыкающего типа, фиброзно-липоматозными зонами, то есть участками мелкоочагового фиброза и липоматоза, напоминающими изменения, характерные для «аритмогенной» дисплазии миокарда желудочков, а также лимфоцитарные инфильтраты с формированием мелких рубцов по типу фиброза после интерстициального продуктивного миокардита.

Единичное различие между строением мышечных муфт в группе лиц с ФП и без неё заключается в более частом и более выраженном очаговом фиброзе миокарда у лиц с ФП [12]. В недавней работе А. Perez-Lugopez с соавт. [6] в «миокарде» лёгочных вен выявлены кардиомиоциты, подобные клеткам проводящей системы сердца, причём они обнаруживались только в случаях наличия фиброза миокарда, в зонах декомплексации пучков кардиомиоцитов, то есть в зонах выраженной перестройки миокарда и только у больных с ФП. Авторы предполагают важную роль этих кардиомиоцитов в патогенезе ФП.

В ряде работ показано, что при артериальной гипертензии развитие ФП возможно лишь у больных с гипертрофией левого желудочка, когда нарушается его наполнение в диастолу и повышается давление в левом предсердии [4]. Связь развития ФП с гипертрофией левого желудочка и сопутствующей ей диастолической дисфункцией подтверждается результатами ряда электро- и эхокардиографических исследований [15]. В этих работах показано, что при артериальной гипертензии ФП обычно обнаруживается лишь у больных с ЭКГ-признаками гипертрофии миокарда левого желудочка. Кроме того, известно, что диастолическая дисфункция ЛЖ, которая наиболее часто встречается у лиц пожилого возраста, причём в сочетании с АГ, ИБС, сахарным диабетом, является предиктором развития этого вида нарушений сердечного ритма [11].

Ожирение можно считать модифицируемым фактором риска ФП, сообщают американские учёные в Journal of American Medical Association. Увеличение индекса массы тела на одну единицу ассоциируется с повышением риска ФП на 4 %. При ожирении опасность ФП на 50% выше, чем

при нормальной массе тела. Во время пароксизма ФП нарушается также эндокринная функция предсердий, в частности, увеличивается высвобождение предсердного натрийуретического пептида (ПНУП). Показано, что у больных с ФП до кардиоверсии плазменные уровни ПНУП почти в 2 раза выше, чем у здоровых людей. В течение 24 часов после кардиоверсии уровень данного гормона нормализуется. Повышенное высвобождение этого пептида объясняют повышением давления в предсердиях во время пароксизма ФП [13]. Кроме того, ПНУП, депонирующийся в предсердиях, секретируется в ответ на локальное растяжение их стенок. При хронической фибрилляции предсердий (давностью более года) высвобождение ПНУП уменьшается, а у некоторых больных его уровень вовсе не определяется (так называемое «эндокринное молчание»). «Эндокринное молчание» при хронической ФП, как предполагают, обусловлено необратимыми структурными изменениями в предсердиях и в частности апоптозом кардиомиоцитов предсердий [16].

Таким образом, во время пароксизма ФП меняются не только электрофизиологические свойства предсердий, но и их механическая и эндокринная функции. Как совершенно справедливо замечено Waldo, прежде чем пытаться проводить корреляции между структурой и функцией при объяснении происхождения ФП, важно представлять, что различные морфологические изменения могут приводить к одному и тому же конечному результату. Развитие ФП ассоциируется с многочисленными заболеваниями, патологическими процессами и факторами, а в ряде случаев и с отсутствием таковых (идиопатическая — «lone» ФП), с чем связана гетерогенность макроскопических и микроскопических изменений при обсуждаемой аритмии.

Интерпретация выявляемых морфологических изменений в сердце у больных с ФП довольно затруднительна, поскольку они могут быть первичными (обусловленными различными патологическими процессами, с которыми ассоциируется ФП), или вторичными (вызванными непосредственно самой аритмией), или сочетанными (обусловленными комбинацией этих двух причин).

По данным Ф.З. Меерсона с соавт. (1989), в основе гипертрофии миокарда лежат интимные механизмы на уровне субклеточных структур, а именно активация генетического аппарата миокардиальных клеток, обусловленная увеличением интенсивности их функционирования, как проявление гиперфункции мышечной ткани сердца [3]. Выводы, сделанные М. Haissaguerre и соавт. (1998) в результате проведённых исследований, свидетельствуют о том, что непрерывная гиперфункция и компенсаторная гипертрофия миокарда, не осложнённая какими-либо другими повреждающими факторами, неизбежно влечёт за собой снижение мощности кальциевого насоса.

Блокаторы медленных кальциевых каналов ингибируют поступление Ca^{2+} в клетку в период деполяризации мембран кардиомиоцитов и клеток гладкой мускулатуры, что приводит к отрицательному инотропному, хронотропному и батмотропному эффектам, длительному расслаблению гладкомышечных клеток (преимущественно сосудов, особенно артериол) [2].

Острая противоритмическая активность β -адреноблокаторов связана с присущим им фундаментальным свойством блокировать β -адре-

нергические рецепторы, т.е. с защитой сердца от избыточных симпатических стимулов [1]. В клинической практике β -адреноблокаторы широко применяют для лечения как наджелудочковых, так и желудочковых аритмий. У больных людей главные электрофизиологические эффекты β -адреноблокаторов выявляются в синоатриальном и атрио-вентрикулярном узлах. Замедляется синусовый ритм, удлиняется интервал А-Н, функциональный рефрактерный период и эффективный рефрактерный период (ЭРП) в АВ узле, слегка укорачивается интервал QT, не меняется ЭРП предсердий, желудочков, системы Гиса-Пуркинье, интервал Н-V. У больных артериальной гипертензией, страдающих нарушениями сердечного ритма, β -адреноблокаторы одновременно вызывают два эффекта: снижение АД и устранение аритмий.

Несмотря на бурное прогрессирование фундаментальных исследований, проблема патогенеза ФП остаётся далёкой от окончательного разрешения. По мнению одного из ведущих специалистов в области патофизиологии аритмий Zipes (2000), поиски магистрального механизма развития нарушений ритма в целом и ФП в особенности, безусловно, обречены на неудачу в связи с высокой гетерогенностью их патогенеза и могут быть уподоблены безуспешным поискам золотого руна.

Библиографический список

1. Кушаковский М.С. Фибрилляция предсердий: причины, механизмы, клинические формы, лечение и профилактика / М.С. Кушаковский // СПб: ИКФ «Фолиант», 1999.
2. Мартынов А.И. Внутренние болезни / А.И. Мартынов, Н.А.Мухин // М.: Медицина, 2001. — Т.1. - С. 78—79.
3. Меерсон Ф.З. Влияние адаптации к стрессорным воздействиям на биоэлектрическую активность, сократительную функцию и резистентность папиллярной мышцы к избытку внутриклеточного кальция / Ф.З. Меерсон, И.Ю. Малышев // Бюл. эксперим. биологии и медицины. 1989.- № 11.- С. 536-540.
4. Преображенский Д.В. Медикаментозное лечение мерцания предсердий / Д.В. Преображенский, Б.А. Сидоренко // М., 2003. - С. 38-52.
5. Correlates of left atrial size in hypertensive patients with left ventricular hypertrophy: the Losartan Intervention For Endpoint Reduction in Hypertension (LIFE) Study / E. Gerds, L. Oikarinen, V. Palmieri et al. // Hypertension. - 2002. - Vol. 39, № 3. - P. 739-743.
6. Evidence of specialized Conduction Cells in Human Pulmonary Veins of Patients with Atrial fibrillation / A. Perez-Lugonez, J.T. Mc Mahon, N.B. Rattiff et al. // J. Cardiovasc. Electrophysiol. - 2005. - Vol. 14. — P. 803-809.
7. Flegel K.M. Risk of stroke in non — rheumatic atrial fibrillation / K.M. Flegel, M.J. Shipley, G. Rose // Lancet. — 1987. — Vol. 1. — P. 526 — 529.
8. Gershick A.H. Treating the non-electrical risks of atrial fibrillation / A.H. Gershick // Heart. J. - 1997. - Vol. 18. - Suppl. P. 19-26.
9. Goette A., Honeycull C., Langberg J. Electrical remodeling in atrial fibrillation time course and mechanisms / A. Goette, C. Honeycull, J. Langberg // J. Circulation. - 1996. - Vol. 94, № 11. - P. 2968-2974.
10. Hennesdorf M.G. Atrial hypertension and cardiac arrhythmias / M.G. Hennesdorf, B.E. Strauer // J. Hypertens. - 2001. - Vol. 19. - № 2. - P. 167-177.
11. Levy S. Factors predisposing to the development of atrial fibrillation / S. Levy // Pacing Clin. Electrophysiol. - 1997. - Vol. 20. - Pt 2. - P. 2670-2674.
12. Myocardium extending from the left atrium onto the pulmonary veins: A Comparison Between Subjects with and without Atrial Fibrillation / Tagawa M, Higuchi K, Chinushi M et al. // PACE 2001. — Vol. 24. — P. 1459-1463.
13. Natriuretic peptide levels in atrial fibrillation: a prospective hormonal and Doppler-echocardiographic study / A. Rossi, M. Enriquez-Sarano, J.C. Burnett Jr. et. al. // J. Am. Coll. Cardiol. - 2000. - Vol. 5. - P. 1256-1262.
14. Parental Atrial Fibrillation as a Risk Factor for Atrial Fibrillation in Offspring / S. Caroline, V. Fox et al. // JAMA. — 2004. — Vol. 291. — P. 2851— 2855.
15. Predictive value of systolic and diastolic function for incident congestive heart failure in the elderly: the cardiovascular health study / G.P. Aurigemma, J.S. Gottbiener, L. Shemanski et. al. // Am. Coll. Cardiol. - 2001.- Vol. 37, № 4. - P. 1042-1048.
16. Ruskoanho H. Atrial natriuretic peptide: synthesis, release and metabolism / H. Ruskoanho // Pharmac. Rev. - 1992. - Vol. 44. - P. 479-602.
17. Spach M.S. Anisotropy of cardiac tissue: a major determinant of conduction? / M.S. Spach // J Cardiovasc Electrophysiol. — 1999. — Vol. 10. — P. 887-890.
18. Wolf P.A. Atrial fibrillation as an independent risk factor for stroke: the Framingham Study / P.A. Wolf, R.D. Abbott, W.B. Kannel // Stroke. -1991. —Vol. 22. — P. 983-988.

НАУМОВ Дмитрий Валерьевич, врач-кардиолог отделенческой клинической больницы на станции Омск - Пассажи́рский.

ДОЛГИХ Владимир Терентьевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой патофизиологии с курсом клинической патофизиологии ОГМА.

АХМЕДОВ Вадим Адильевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры факультетской терапии ОГМА.

ДВОРНИКОВ Вадим Эриевич, кандидат медицинских наук, заведующий отделением кардиологии отделенческой клинической больницы на станции Омск — Пассажи́рский.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.09.06 г.

© Наумов Д.В., Долгих В.Т., Ахмедов В.А., Дворников В.Э.

Книжная полка

Бек Д. Когнитивная терапия: Полное руководство / Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2006. — 400 с.: ил. **Здоровый позвоночник** / Пер. — СПб.: Вектор, 2007. — 189 с. (Классика оздоровления. Теория и практика).

Водолацкий М.П., Борданова Т.М., Павлов А.А. Терапевтическая стоматология детского возраста: Учеб. пособие. — Ставрополь: СГМА, 2006. — 244 с.

Галлиев Р.Г. Многомерные модели и алгоритмы в ортопедической стоматологии. — М.: Наука, 2006. — 500 с.

Ежедневник молодой мамы / Сост. Л.А. Иванченко, В.М. Лукьяненко, В.С. Шавров; под общ. ред. М.Ю. Новичковой. — СПб: Изд-во Р. Асланова: «Юрид. центр Пресс», 2006. — 400 с.

ХРОНИЧЕСКИЙ ПРОСТАТИТ: СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОБЛЕМЕ

Являясь одним из наиболее распространенных и наиболее трудных для диагностики и лечения заболеваний, хронический простатит остается недостаточно изученной проблемой современной урологии. Диагноз хронического простатита должен быть основан на результатах комплексного клинико-лабораторного и инструментального обследования. Лечение пациентов, страдающих хроническим простатитом, должно быть этиотропным и патогенетически обоснованным, с учетом данных клинических исследований, проведенных в соответствии с требованиями доказательной медицины.

Хронический простатит является одним из наиболее распространенных, трудных для диагностики и лечения заболеваний в урологической практике. Он поражает мужчин всех возрастов и этнических групп [1, 2], являясь самым частым заболеванием у мужчин до 50 лет и третьим по частоте урологическим диагнозом у мужчин старше 50 лет (после аденомы и рака предстательной железы). Несмотря на значительное количество исследований, посвященных проблеме хронического простатита, сведения о распространенности этого заболевания достаточно противоречивы. Так, по данным различных авторов, от 15 до 50% мужчин в различные периоды жизни страдают от симптомов, характерных для хронического простатита [3-5]. Высокая социальная значимость заболевания обусловлена преимущественным поражением лиц молодого возраста (от 20 до 45 лет), негативным влиянием на половую, репродуктивную функции и психоэмоциональную сферу, значительным ухудшением качества жизни мужчин [6, 7].

В настоящее время большинством авторов признается существование бактериального и абактериального хронического простатита. Современная медицина не располагает углубленными и достоверными сведениями о причинах и механизмах развития хронического простатита, особенно абактериального [8]. По литературным данным, бактериальный простатит составляет от 5 до 18% случаев заболевания хроническим простатитом. Основным этиологическим фактором является грамотрицательная микрофлора (*E. coli* встречается в 65-80% случаев). Однако в исследованиях ряда авторов показана более высокая частота встречаемости бактериального простатита (до 60-68,9% случаев) с преобладанием грамположительной микрофлоры в качестве возбудителя заболевания [9-11].

Ряд факторов предрасполагает к развитию хронического простатита. К ним относятся тесные сосудистые и лимфатические связи предстательной железы с другими органами, особенности строения простатических железок, затрудняющие их полноценный дренаж, патологические изменения в тазовых органах и нервных структурах, приводящие к венозному застою, нарушению микроциркуляции и вегетативной иннервации простаты. К факторам, способствующим развитию заболева-

ния, относятся интрапростатический рефлюкс мочи в протоки предстательной железы, нарушение секреторной функции простаты, выражающееся изменением состава секрета (снижение уровня фруктозы, лимонной кислоты, кислой фосфатазы, катионов цинка, магния, кальция, при повышении уровня рН, церулоплазмينا). Начавшись как инфекционно-воспалительный процесс, простатит в дальнейшем приобретает упорное течение ввиду формирующихся иммунологических нарушений с развитием в конечном итоге аутоиммунной патологии. Реальность аутоагрессии подтверждается выявлением циркулирующих антител к ткани простаты [12, 13] и отложением циркулирующих иммунных комплексов в пораженной ткани [14-16].

В настоящее время наиболее распространенной и адекватной является классификация простатита, предложенная Национальным институтом здоровья США (НИН) в 1995 г. [17], согласно которой выделяют следующие формы заболевания:

1. Категория I. Острый бактериальный простатит.
2. Категория II. Хронический бактериальный простатит.
3. Категория III. Хронический абактериальный простатит.
 - 3.1. Категория III А. Синдром воспалительной хронической тазовой боли.
 - 3.2. Категория III В. Синдром не воспалительной хронической тазовой боли (простатодиния).
4. Категория IV. Бессимптомный воспалительный простатит.

Классификация, предложенная НИИ урологии МЗ РФ, подразделяет хронический простатит на инфекционный (в том числе бактериальный; вызванный атипичными внутриклеточными микроорганизмами, грибами, вирусами, простейшими) и неинфекционный с указанием фазы обострения, ремиссии либо латентного течения заболевания.

Особенностью диагностики простатитов на современном этапе является стремление к максимальной объективизации данных, получаемых при обследовании и их количественной оценке. Для этого используются шкалы оценки симптомов. В урологическом отделении Клинического медико-хирургического центра Министерства здравоохранения Омской области нами используется система суммарной оценки симптомов при

хроническом простатите (СОС-ХП) [18], которая, по нашему мнению, наиболее объективно дает качественную и количественную оценку жалоб больного. Пальцевое ректальное исследование благодаря простоте выполнения и доступности остается основным способом диагностики заболеваний предстательной железы. Диагностический алгоритм лабораторных исследований на современном этапе включает в себя общий анализ мочи, микроскопию секрета предстательной железы, мазки из уретры на инфекции, передаваемые половым путем. «Золотым стандартом» диагностики остается классический тест E. Meares и T. Stamey [19]: сбор первой и второй порций мочи, получение секрета простаты путем массажа и затем - третьей порции мочи. На основании микроскопических и бактериологических показателей определяют наличие воспалительного процесса и его локализацию. Пациентам старше 45 лет целесообразно определение сывороточного уровня простатспецифического антигена в качестве скрининга рака предстательной железы. Из инструментальных методов обследования наиболее информативным является трансректальное ультразвуковое исследование простаты, позволяющее визуализировать структурные изменения простаты: камни, кальцинаты, кисты, очаги склероза. Для объективизации характера и степени нарушений мочеиспускания выполняется уродинамическое исследование: урофлоуметрия, цистометрия и профилометрия уретры. Помимо вышеперечисленных исследований пациентам нашей клиники проводится комплексное иммунологическое исследование крови и эякулята для оценки системного и местного иммунного статуса с целью последующей патогенетической иммунокорректирующей терапии.

Лечение больных хроническим простатитом в настоящее время базируется на данных проведенного обследования, предусматривает воздействие на этиологические факторы и ведущие звенья патогенеза, является сочетанием комплексного медикаментозного воздействия и физиотерапевтических процедур. Антибактериальная терапия показана при хроническом бактериальном простатите (категория II), хроническом абактериальном простатите (категория IIIA), при наличии клинических и иммунологических сдвигов, характерных для инфекционного процесса, при отсутствии выявленного возбудителя заболевания. Спектр применяемых антибактериальных препаратов широк, в основе терапии лежат фторхинолоны, тетрациклины, макролиды, триметоприм. Учитывая иммунные нарушения, выявляемые при хроническом простатите, особую группу составляют препараты, корригирующие иммунореактивность организма. На современном этапе в комплексной терапии хронического простатита используются α_1 -адреноблокаторы, действие которых является патогенетически обоснованным, эффективным и в перспективе требует дальнейшего изучения и использования [20-23]. Реабилитация пациентов с хроническим простатитом подразумевает восстановление трудоспособности, предотвращение обострений заболевания, нормализацию функции предстательной железы.

Библиографический список

- Mehik A., Hellstrom P., Lukkarinen O. et al. Epidemiology of prostatitis in Finnish men: a population-based cross-sectional study // Br. J. Urol. - 2000. - Vol.86. - P. 443-448.
- Nickel J. C., Downey J., Hunter D. Prevalence of prostatitis-like symptoms in a population based study using the National Institutes of Health chronic prostatitis symptom index // J. Urol. (Baltimore). - 2001. - Vol. 165. - P. 842-845.
- Roberts R.O., Jacobson U.J., Girman C.J. et al. Prevalence of prostatitis-like symptoms in a community based cohort of older men // J. Urol. - 2002. - Vol. 168. - P.2467-2471.
- Alexander R.B. Ciprofloxacin or tamsulosin in men with chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome // Ann. Intern. Med. - 2004. - Vol.141. - P.581-589.
- Лопаткин Н.А. Руководство по урологии. М.: Медицина, 1998. - Т. 2. - С. 393-440.
- Ткачук В.Н., Горбачев А.Г. Хронический простатит. Л.: Медицина, 1998. - С. 89-91.
- Пушкарь Д.Ю., Сегал А.С. Хронический абактериальный простатит: современное понимание проблемы // Consilium medicum. - 2003. - Т.5, № 7. - С. 401-404.
- Мазо Е.Б., Попов С.В. Хронический бактериальный простатит // Врачебное сословие. - 2004. - № 1-2. - С. 18-28.
- Трапезникова М.Ф., Дутов В.В. Материалы 2-й Всероссийской конференции «Мужское здоровье». - Москва, 2005. - С. 225.
- Bergman B. On the relevance of gram-positive bacteria in prostatitis // Infection. - 1994. - Vol. 22. - P. 22.
- Alexander R.B., Brady F., Ponniah S. Autoimmune prostatitis: evidence of T cell reactivity with normal prostatic proteins // Urology. - 1997. - Vol. 50. - P. 893-899.
- Batstone G.R., Doble A., Gaston G.S. Autoimmune T cell responses to seminal plasma in chronic pelvic pain syndrome (CPPS) // Clin. Exp. Immunol. - 2002. - Vol. 128. - P. 302-307.
- Чернышов В.П. Материалы 3-го Всесоюзного съезда урологов. - Минск, 1984. - С. 211.
- Ковалев Ю.Н., Ильин И.И., Зтаншин О.Р., Ковалев А.Ю. К клиническим особенностям и патогенезу хронического простатита // Вестник дерматологии. - 1995. - № 2. - С. 50.
- Doble A., Walker M.M., Harris J.R.W. Intraprostatic antibody deposition in chronic abacterial prostatitis // Br. J. Urol. - 1990. - Vol. 65. - P. 598-605.
- National Institutes of Health. Summary statement. National Institutes of Health / National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. Workshop on Chronic Prostatitis. Executive Summary. Bethesda, USA. 1995.
- Лоран О.Б., Сегал А.С. Система суммарной оценки симптомов при хроническом простатите (СОС-ХП) // Урология. - 2001. - № 5. - С. 16-19.
- Meares E.M., Stamey T.A. Bacteriologic localization patterns in bacterial prostatitis and urethritis // Invest. Urol. - 1968. - Vol. 5. - P. 492-518.
- Barbalias G.A., Nikiforidis G., Liatsikos E.N. Alpha-blockers for the treatment of chronic prostatitis in combination with antibiotics // J. Urol. - 1998. - Vol. 159. - P. 883-887.
- Ткачук В.Н. Современные методы лечения больных хроническим простатитом // Пособие для врачей. - Санкт-Петербург. - 2000. - 8 с.
- Сивков А.В., Толстова С.С., Егоров А.А. Материалы Всероссийской конференции «Современные аспекты хронического простатита». - Курск, 2000. - С. 145-146.
- Nickel J.C. The use of alpha1-adrenoceptor antagonists in lower urinary tract symptoms: beyond benign prostatic hyperplasia // Urology. - 2003. - Vol. 62. - P. 34-41.

РЕПИН Евгений Викторович, заочный аспирант кафедры патофизиологии с курсом клинической патофизиологии ОГМА, врач-уролог урологического отделения Клинического медико-хирургического центра министерства здравоохранения Омской области.

ДОЛГИХ Владимир Терентьевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой патофизиологии с курсом клинической патофизиологии ОГМА.

ЕРШОВ Антон Валерьевич, очный аспирант кафедры патофизиологии с курсом клинической пато-

физиологии Омской государственной медицинской академии.

Дата поступления статьи в редакцию: 24.09.06 г.

© Репин Е.В., Долгих В.Т., Ершов А.В.

УДК 617.586-007.58:617.47

**В. Ю. СОЛОМИН
И. А. ВИКТОРОВА
В. К. ФЕДОТОВ
Е. Ю. СОЛДАТОВА**

Детская городская поликлиника №8
г. Омска

Омская государственная
медицинская академия

ПЛОСКОСТОПИЕ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

Вопрос корреляции плоскостопия и дисплазии соединительной ткани недостаточно точно освещен в проведенных по этой тематике научных исследованиях. Авторами на основании обследования группы детей и подростков с плоскостопием выявлены закономерности диспластических изменений в возрастном аспекте на сегментарном и организменном уровне, установлены локальные манифестные симптомы ДСТ при плоскостопии. По результатам исследования признано возможным считать плоскостопие проявлением ДСТ на сегментарном уровне вне зависимости от выраженности генерализованного диспластического процесса у пациента.

Плоскостопие, как продольное, так и поперечное, признается многими специалистами одним из манифестных признаков дисплазии соединительной ткани (ДСТ), используемых для клинической диагностики этого состояния [1, 4, 6, 7 и др.]. При этом количество исследований, посвященных изучению распространенности ДСТ среди больных с патологией стоп, относительно невелико [3, 12], и они практически не затрагивают вопрос отражения генерализованных диспластических изменений на сегментарном уровне. Кроме того, характерной чертой этих исследований является использование данных ведущих научных и клинических центров, где концентрируется наиболее выраженная патология, что может исказить получаемые результаты.

Цель исследования – определение клинических особенностей плоскостопия во взаимосвязи с ДСТ у детей и подростков.

Материалы и методы. Нами проанализированы данные обследования 115 детей и подростков в возрасте от 3 до 17 лет включительно, наблюдавшихся в течение 2003-2006 гг. на базе детской городской поликлиники №8 г. Омска по поводу плоскостопия. Отбор пациентов для анализа производили

«слепым методом». При опросе и изучении амбулаторных карт (ф. 112) учитывали характер предъявляемых жалоб, наличие плоскостопия у родственников, травмы и воспалительных заболеваний стоп и голеностопных суставов в анамнезе. Диагноз «плоскостопие» устанавливали одним из следующих методов: визуальное исследование (осмотр), инструментальная подометрия, стандартная двухплоскостная рентгенография.

При осмотре определяли тип плоскостопия (продольное, поперечное) и условную степень выраженности патологии (легкая, средняя, тяжелая). Дополнительно выявляли клинические симптомы «скрытого плоскостопия» (постепенное опускание продольного свода стопы в положении стоя при расслабленных плантарных мышцах под действием естественной гравитации до патологического уровня) и «ластообразной стопы» (распластывание стопы за мысленно проведенную касательную к внутренней поверхности I плюснефалангового сустава и пятки, рис. 1) [10].

Подометрию производили по модифицированной методике М.О. Фридланда, заключающейся в измерении высоты и длины стопы специальными устройствами с определением соотношения этих

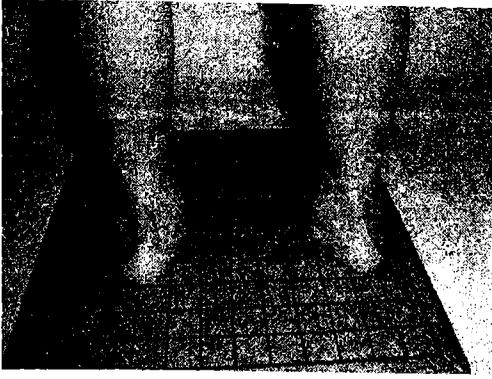


Рис. 1. Двусторонний симптом «ластообразной стопы» у ребенка 3-х лет



Рис. 2. Больной Ш., 15 лет. Диагноз «Несовершенный остеогенез»: ДСТ проявляется совокупностью манифестных признаков – диспропорция развития верхней и нижней части тела, сколиотическая деформация позвоночника, гипотрофия мышц, деформации нижних конечностей, плоскостопие



Рис. 3. Соотношение количества пациентов с маловыраженной и выраженной клиникой ДСТ, %

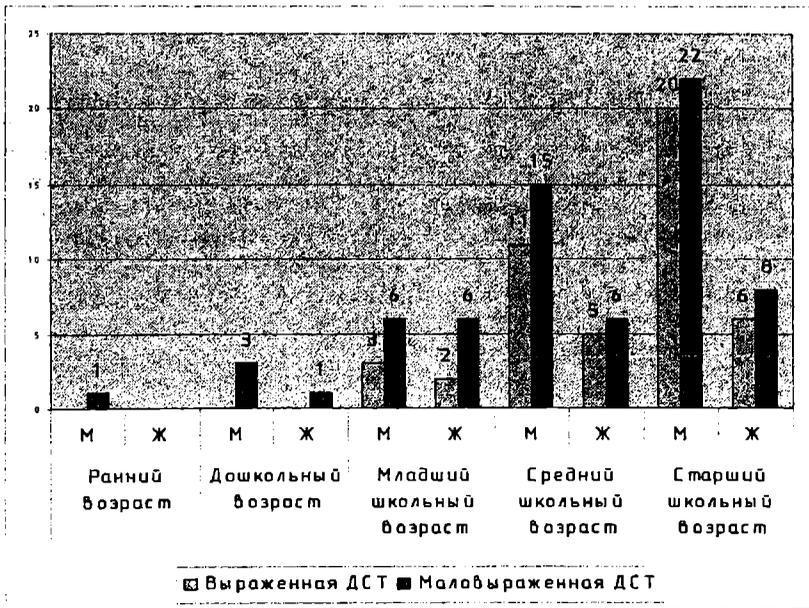


Рис. 4. Распределение обследованных больных по возрастному-половому признаку, абс. ед.

параметров по сводной таблице значений подометрического индекса [8, 9]. В случае комплексного обследования пациента разными методами предпочтение отдавали рентгенологическим данным перед подометрическими, подометрии – перед визуальным исследованием.

Для выявления ДСТ был выбран клинический уровень диагностики. У большинства пациентов

диагноз «ДСТ» устанавливали эмпирически по наличию совокупности нескольких наиболее значимых (манифестных) признаков (рис. 2). Внутренние признаки ДСТ у больных фиксировали только по анамнезу без дополнительного обследования. Некоторые больные выборочно были обследованы по методу И.А. Викторовой с определением диагностического коэффициента каждого из доказанных

Структура жалоб детей и подростков с плоскостопием

Характер жалоб	Клинические варианты			
	Плоскостопие на фоне выраженной ДСТ n = 47		Плоскостопие на фоне маловыраженной ДСТ n = 68	
	n	Доля в группе, %	n	Доля в группе, %
Отсутствие жалоб	13	27,7	19	27,9
Повышенная утомляемость	10	21,8	14	20,6
Боль в стопах	6	12,8	17	25
Боль в нижних конечностях другой локализации и позвоночнике	22	46,8	27	39,7
Стаптывание обуви	11	23,4	20	29,4

Таблица 2

Данные анамнеза у пациентов детского возраста с плоскостопием

Исследуемые факторы	Клинические варианты			
	Плоскостопие на фоне выраженной ДСТ n = 47		Плоскостопие на фоне маловыраженной ДСТ n = 68	
	n	Доля в группе, %	n	Доля в группе, %
Наличие плоскостопия у родственников	19	40,4	28	41,2
Травмы стоп и голеностопных суставов в анамнезе	5	10,6	6	8,8
Воспалительные заболевания стоп и голеностопных суставов	0	0	0	0

Таблица 3

Распределение больных по тяжести патологических изменений стоп

Степень тяжести плоскостопия	Клинические варианты			
	Плоскостопие на фоне выраженной ДСТ n = 47		Плоскостопие на фоне маловыраженной ДСТ n = 68	
	n	Доля в группе, %	n	Доля в группе, %
I	9	19,1	8	11,8
II	25	53,2	38	55,9
III	13	27,7	22	32,3
Артроз суставов стоп	12	25,5	14	20,6

признаков ДСТ, сведенных в специальную таблицу, и его суммарного значения [2]. Сумма баллов + 17 соответствовала маловыраженной ДСТ. При достижении порога + 21 балл и более выставляли диагноз: «выраженная ДСТ».

Результаты. Среди обследованных детей и подростков преобладал продольный тип плоскостопия (n = 115). Поперечное плоскостопие встречалось в единичных случаях (n = 7) и только в сочетании с продольным. Выраженная клиническая картина ДСТ была выявлена у 47 пациентов (41%). В большинстве случаев (45 больных) установлены несиндромные формы ДСТ, в 1 случае верифицирован синдром Марфана (суммарный диагностический коэффициент 50,54), в 1 случае – несовершенный остеогенез. 68 больных (59%) имели маловыраженные диспластические изменения (рис. 3).

При этом четко прослеживались тенденции к большей выраженности диспластического процесса в старших возрастных группах и более частые случаи ДСТ у мальчиков (рис. 4).

Сведения по структуре жалоб, предъявляемых пациентами детского возраста с плоскостопием, представлены в табл. 1.

Обращает на себя внимание то, что процент больных, не предъявивших никаких жалоб, в обеих группах приблизительно одинаков, жалобы локального характера (боль в стопах и стаптывание обуви) более часто предъявляли пациенты с маловыраженными диспластическими проявлениями, в то время как боли в вышележащих сегментах опор-

но-двигательного аппарата относительно чаще беспокоили детей с выраженной клиникой ДСТ.

Сравнительный анализ изученных анамнестических данных показал следующее (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, наследственная предрасположенность к развитию плоскостопия у детей и подростков с маловыраженной и выраженной ДСТ была примерно равной, а частота травмы в обеих группах была невысокой. Воспалительных заболеваний стоп, предрасполагающих к их деформации (туберкулез, остеомиелит и др.) у обследованных больных выявлено не было.

Распределение обследованных пациентов по степени выраженности плоскостопия и наличию вторичных дегенеративно-дистрофических нарушений стоп было следующим (табл. 3).

Как показывает анализ результатов, представленных в таблице 3, наличие прямой зависимости тяжести локальной патологии стоп от выраженности клинических проявлений ДСТ в детском возрасте не подтверждается.

Данные по выявленным клиническим симптомам плоскостопия сведены в таблицу 4.

Таким образом, по соотношению этих до некоторой степени полярных признаков у детей и подростков с плоскостопием с маловыраженными проявлениями ДСТ имел место несколько больший разброс данных, чем в группе выраженных диспластиков.

Приводим клинические примеры, иллюстрирующие результаты проведенного исследования.

Клинические симптомы плоскостопия у обследованных больных

Симптомы	Клинические варианты			
	Плоскостопие на фоне выраженной ДСТ n = 47		Плоскостопие на фоне маловыраженной ДСТ n = 68	
	n	Доля в группе, %	n	Доля в группе, %
Симптом «скрытого плоскостопия»	4	8,5	7	10,3
Симптом «ластообразной стопы»	4	8,5	9	13,2

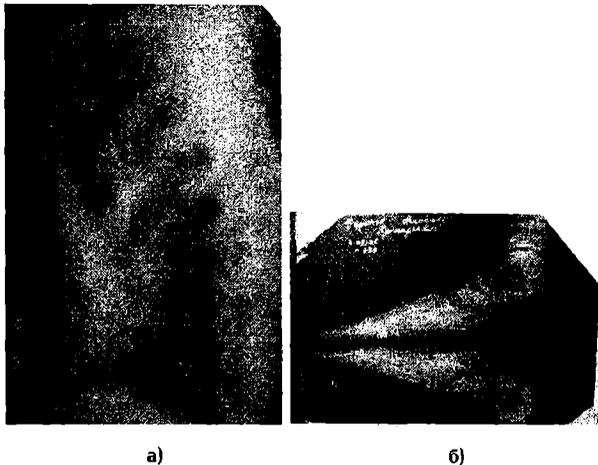


Рис. 5. Больной Ф., 16 лет. Воронкообразная деформация грудной клетки III (а) и плоскостопие II степени (б)

Пациент Ф., 16 лет, обследован по направлению из РВК. Жалоб на момент осмотра не предъявлял. Из анамнеза выяснено, что пациент прибыл из другого города, сведений о предыдущем наблюдении ортопедом в ф.112 нет. Оперирован по поводу кисты гайморовой пазухи. Наличие плоскостопия у родственников, травму стоп, голеностопных суставов отрицал. Объективно выявлено: снижение массоростового показателя (рост 181 см, вес 55,5 кг). Неправильный рост зубов при узкой челюсти, готическое небо. Деформированные ушные раковины. Тахикардия 120 в мин, акустически II тон на легочной артерии, систолический шум. В ортопедическом статусе: мышечный корсет выражен слабо, гипотоничен. Асимметрия углов лопаток, надплечий (более высокое стояние слева), синдром «прямой спины». Тяжелая воронкообразная деформация грудной клетки. Признаки арахнодактилии. Незначительная варусная деформация коленных суставов. Снижение высоты продольного свода обеих стоп. Протокол подометрии: Hd = 72 мм, Hs = 68 мм, Ld, s = 278 мм, подометрический индекс справа 25,9 (плоская стопа), подометрический индекс слева 24,5 (резкое плоскостопие). Рентгенологически выявлены: воронкообразная деформация грудной клетки с резким уменьшением объема грудной полости (индекс деформации 0,25) и двустороннее продольное плоскостопие (угол свода стопы справа 151°, слева – 154°, высота стопы соответственно 22 и 21 мм), признаки артроза таранно-ладьевидных суставов в начальной стадии (рис. 5).

По совокупности клинико-рентгенологических данных выставлен диагноз: дисплазия соединительной ткани с выраженными локомоторными и висцеральными проявлениями. Воронкообразная деформация грудной клетки III степени. Сколиотическая осанка, синдром «прямой спины». Суправентрикулярная тахикардия как проявление

торакодиафрагмального легочного сердца, субкомпенсированный вариант. Рестриктивные нарушения вентилиции. Легочная гипертензия. Двустороннее продольное плоскостопие II степени. Артроз таранно-ладьевидных суставов I степени. Долихостеномелия, умеренная арахнодактилия, гипотония мышц, неправильный рост зубов при узкой челюсти. Больному назначено посиндромное лечение.

Пациентка П., 15 лет, выявлена при профилактическом осмотре в поликлинике. Жалоб на момент осмотра не предъявляла. Из анамнеза: ранее ортопедом не наблюдалась. В семье плоскостопия нет. Травму, воспалительные заболевания стоп отрицала. Объективно: признаки дисплазии соединительной ткани: астеническое телосложение, мышечный корсет развит слабо. Функциональная сколиотическая деформация позвоночника. В локальном статусе: стопы удлиненной формы, уплощена продольная арка. Слева: умеренная гипоплазия стопы, 2-й палец стопы по длине равен 1-му. Протокол подометрии: Hd = 75 мм, Hs = 68 мм, Ld = 273 мм, Ls = 267 мм, подометрический индекс справа 27,5 (пониженный свод стопы), подометрический индекс слева 25,5 (плоская стопа). Диагноз: маловыраженная дисплазия соединительной ткани. Сколиотическая осанка. Двустороннее продольное плоскостопие: I ст. справа, II ст. слева. Гипоплазия левой стопы. Назначено соответствующее лечение.

Обсуждение. Результаты проведенного исследования показывают, что лишь менее половины детей и подростков, страдающих плоскостопием, имеют выраженную клинику ДСТ, при этом генерализованные диспластические изменения постепенно проявляются с ростом ребенка. Относительно низкий процент больных с выраженной ДСТ мог быть обусловлен отсутствием тщательного инструментального обследования для выявления висцеральных проявлений этого состояния.

Согласно полученным данным, можно условно выделить два клинических варианта плоскостопия – плоскостопие, сочетающееся с выраженной ДСТ (более характерное для старших возрастных групп), и плоскостопие, сочетающееся с маловыраженной ДСТ (более характерное для младших возрастных групп). Однако полученные анамнестические и клинические данные не дают существенных различий между этими вариантами на сегментарном уровне, кроме слабо выраженной корреляции характера жалоб пациентов с генерализацией диспластического процесса. Поскольку, согласно принятым представлениям [5, 11], в патогенезе плоскостопия ведущую роль играет слабость сводоподдерживающего мышечно-связочного аппарата стопы и голени, усугубляемая действием различных этиологических факторов, возможно рассматривать плоскостопие как сег-

ментарную дисплазию соединительной ткани стопы независимо от выраженности генерализованного диспластического процесса у пациента.

Этот вывод подтверждается тем, что воспалительных заболеваний стоп, ведущих к их деформации, у обследованных больных диагностировано не было, а травма как возможный этиологический фактор плоскостопия в обеих группах не имела существенного значения ввиду ее невысокой частоты. Кроме того, несколько более высокий процент травмы стоп в группе выраженных диспластиков позволяет рассматривать ее как следствие ДСТ на фоне слабости мышечно-связочного аппарата или костных структур (наиболее характерный пример — посттравматические деформации стоп у пациента с несовершенным остеогенезом).

При этом симптомы «скрытого плоскостопия» и «ластообразной стопы», по нашему мнению, могут говорить о степени выраженности диспластических изменений стоп, являясь локальными манифестными симптомами ДСТ. Так, наличие у пациента симптома «скрытого плоскостопия» можно расценивать как хороший прогностический признак, свидетельствующий о включении механизма компенсации патологического процесса за счет работы мышечного аппарата стоп и возможности проведения эффективной реабилитации, в то время как выявление симптома «ластообразной стопы» следует признать показателем тяжести заболевания и сомнительного прогноза в случае применения консервативного лечения.

Заключение

Плоскостопие любого типа (продольное, поперечное или сочетанное) является проявлением дисплазии соединительной ткани на сегментарном уровне независимо от выраженности у пациента генерализованных проявлений ДСТ. Исключение могут составлять случаи вторичного плоскостопия в исходе тяжелого воспалительного процесса стоп и голеностопного сустава или тяжелой травмы стопы.

Выявление локальных манифестных признаков дисплазии соединительной ткани стоп (симптома «скрытого плоскостопия» и симптома «ластообразной стопы») позволяет оптимизировать клиническую диагностику плоскостопия у детей и подростков, точно и образно описать признаки этой патологии и определить тактику лечения пациентов с данным заболеванием.

Библиографический список

1. Борисенко И.А. Опыт комплексного восстановительного лечения пациентов с дисплазией соединительной ткани в условиях отделения восстановительного лечения поликлиники // Актуальные вопросы внутренней патологии. Дисплазия соединительной ткани / Материалы I Всероссийской науч.-практ. конф. Омск, 29-30 июня 2005 г. — Омск, 2005. — С. 196-202.
2. Викторова И.А. Клинико-биомеханическая диагностика дисплазии соединительной ткани: Автореф. дисс. канд. мед. наук. — Новосибирск, 1993. — 21 с.
3. Ежов М.Ю. Диагностика генетической патологии в ортопедии // III Международный конгресс «Современные технологии в травматологии и ортопедии» / Сборник тезисов. Москва, РУДН, 25-27 октября 2006 г. — М., 2006. — С. 250.

4. Конев В.П., Сунцова Т.В., Сулимов А.Ф. Дисплазия соединительной ткани: биопсийная и клиническая диагностика, тактика в хирургической стоматологии // Актуальные вопросы внутренней патологии. Дисплазия соединительной ткани / Материалы I Всероссийской науч.-практ. конф. Омск, 29-30 июня 2005 г. — Омск, 2005. — С. 169-175.

5. Краснов А.Ф., Котельников Г.П., Иванова К.А. Ортопедия: Учебник для врачей последипломной подготовки и студентов старших курсов. — Самара: Самар. Дом печати, 1998. — 480 с.

6. Нечаева Г.И., Вершинина М.В., Викторова И.А., Викторова С.И., Друк И.В., Полещук В.В. Повторные пневмонии у детей с дисплазией соединительной ткани: ретроспективное клинико-морфологическое исследование // Актуальные вопросы внутренней патологии. Дисплазия соединительной ткани / Материалы I Всероссийской науч.-практ. конф. Омск, 29-30 июня 2005 г. — Омск, 2005. — С. 75-81.

7. Смольнова Т.Ю., Адамян Л.В. Критерии постановки диагноза дисплазии соединительной ткани у женщин // Актуальные вопросы внутренней патологии. Дисплазия соединительной ткани / Материалы I Всероссийской науч.-практ. конф. Омск, 29-30 июня 2005 г. — Омск, 2005. — С. 156-161.

8. Соломин Вяч.Ю., Соломин Вит.Ю., Федотов В.К. Новые технические решения для портативных устройств в диагностике плоскостопия у детей и подростков // Омский научный вестник. — 2005. - №3 (32), сентябрь. — С. 197-199.

9. Соломин Вяч.Ю., Соломин Вит.Ю., Федотов В.К. Алгоритмизация расчетов подометрического индекса при диагностике продольного плоскостопия // Омский научный вестник. — 2005. - №3 (32), сентябрь. — С. 200-202.

10. Соломин В.Ю., Федотов В.К. Новые симптомы в диагностике плоскостопия у детей и подростков // V Всероссийская университетская науч.-практ. конф. молодых ученых и студентов по медицине: Сб. материалов / Под общ. ред. проф. В.Г. Саложникова. — Тула, 2006. — С. 233-234.

11. Травматология и ортопедия: Руководство для врачей в 3-х томах / Под ред. Ю.Г. Шапошникова. — М.: Медицина, 1997. - Т. 3. — С. 329-330.

12. Храброва В.Г., Корникова Е.В. Синдром дисплазии соединительной ткани у детей с плосковальгусной деформацией стопы // Травматология и ортопедия XXI века: сб. тезисов докл. VIII съезда травматологов-ортопедов России: В 2 томах. Том II / Под ред. акад. РАН и РАМН С.П. Миронина и акад. РАМН Г.П. Котельникова. Самара, 6-8 июня 2006 г. — Самара: ООО «Офор»; ГОУВПО «СамГМУ», 2006. — С. 1004-1005.

СОЛОМИН Виталий Юрьевич, кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед детской городской поликлиники №8 г. Омска.

ВИКТОРОВА Инна Анатольевна, доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой общей врачебной практики Омской государственной медицинской академии.

ФЕДОТОВ Валерий Константинович, доктор медицинских наук, профессор кафедры детской хирургии Омской государственной медицинской академии.

СОЛДАТОВА Евгения Юрьевна, студентка VI курса лечебного факультета Омской государственной медицинской академии.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.10.06 г.

© Соломин В.Ю., Викторова И.А., Федотов В.К., Солдатова Е.Ю.

Книжная полка

Михайлов А. А., Дворецкий Л. И., Чистова В. С. ПРОСЛИМ «Внутренние болезни. Избранные экзаменационные тестовые задачи и комментарии к ним». 192 стр.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕАБИЛИТАЦИИ ИНВАЛИДОВ ВСЛЕДСТВИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО БРОНХИТА И ХОБЛ

Разработаны критерии и методика оценки эффективности реабилитации инвалидов, учитывающие уровень реабилитационного потенциала в динамике и комплексный характер реабилитационного процесса. На примере инвалидов вследствие профессионального бронхита и хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) проведена качественная и количественная оценка эффективности реабилитации, выявившая более высокие показатели при ХОБЛ.

Комплексная реабилитация больных и инвалидов – приоритетное направление политики государства [6]. Совершенствуется законодательная и нормативно-правовая база по вопросам реабилитации. Лица с ограниченными возможностями приобретают все больше прав в получении реабилитационных услуг, всем инвалидам при первичном и повторном освидетельствовании в учреждениях медико-социальной экспертизы разрабатываются индивидуальные программы реабилитации (ИПР).

При увеличении количественных показателей в области разработки ИПР актуальной представляется оценка эффективности реализованных реабилитационных мероприятий, тем более что данная задача является одной из основных функций учреждений медико-социальной экспертизы [1], а также отражает результаты работы специалистов по реабилитации различного профиля и ведомственной принадлежности. ИПР предусматривает вынесение заключения о ее выполнении, которое делается по основным направлениям реабилитации: медицинскому, профессиональному (у детей – психолого-педагогическому), социальному. При этом не оценивается реабилитационный потенциал, который необходим для разработки ИПР, отсутствует итоговая оценка реабилитации. Следует отметить, что методики оценки эффективности медицинской реабилитации применяются достаточно широко [2, 3]. Показатели, характеризующие эффективность комплексной реабилитации больных и инвалидов, не разработаны или не используются [2, 5], отсутствуют унифицированные критерии оценки эффективности реабилитации [4, 6].

При разработке критериев оценки эффективности реабилитации следует учитывать, что эффективность рассматривается как степень реализации цели или степень достижения ожидаемых результатов. Главной целью медико-социальной реабилитации является интеграция (или реинтеграция) инвалида в социум. Она дифференцирует

ся на подцели в медицинских, профессиональных и социальных аспектах, которые, в свою очередь, могут подразделяться на более частные, конкретные цели [9].

Оценка эффективности реабилитации невозможна без использования критериев и показателей, сущность которых заключается в том, что они показывают, насколько конечные результаты совпадают с поставленной целью. При этом, поскольку реабилитационный процесс носит комплексный характер, а система реабилитации отличается композиционной сложностью и многоуровневостью, чрезвычайно трудно определить критерии и показатели качества и эффективности реабилитации инвалидов [9].

Общепринятым критерием реабилитации в практике медико-социальной экспертизы считается динамика группы инвалидности при очередном освидетельствовании. При этом скрывается немалый пласт реабилитационной работы и нивелируется конкретный вклад каждого исполнителя ИПР. В итоге реально достигаемый эффект реабилитации, пусть и не приведший в настоящее время к изменению группы инвалидности, не получает отражения в показателях реабилитации. Вместе с тем скрываются недостатки в организации реабилитационной работы и, соответственно, пути их исправления. Поэтому дифференцированный подход позволит более тщательно разработать многофакторные критерии оценки реабилитационной работы и ее эффективности [8].

В связи с вышеизложенным нами предпринята попытка разработать критерии и методику оценки комплексной реабилитации больных и инвалидов и на примере инвалидов вследствие профессионального бронхита (ПБ) и хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) провести оценку эффективности реабилитационных мероприятий.

Как уже было указано выше, основополагающим методологическим принципом оценки эффективности реабилитации является динамика критериев и показателей статуса инвалида и сопос-

тавление полученных результатов с ожидаемым результатом в соответствии с поставленной целью [7, 9]. Использование предлагаемого алгоритма оценки, а также соответствующих критериев и показателей эффективности различных аспектов реабилитации инвалидов с унифицированной их градацией в качественном и количественном выражении позволяют дать оценку эффективности медицинского, профессионального и социального аспектов реабилитации.

На этой основе нами предложены критерии и методика оценки эффективности реабилитации. Предлагаемые критерии включают в себя: оценку полноты выполнения программы реабилитации в целом, а также реализацию отдельных ее частей, изменение выраженности ограничений жизнедеятельности, группы инвалидности и социальной недостаточности при очередном освидетельствовании, степень соответствия достигнутых результатов реабилитационному потенциалу инвалида. Каждому параметру оценочного направления соответствует значение, выраженное в баллах. Полное выполнение рекомендованного мероприятия или достижение максимального результата оценивается в 1 балл; частичное — 0,5 балла; отсутствие положительных результатов — 0 баллов. Методика оценки предполагает унифицированную градацию каждого критерия в количественном выражении. Для более точного учета любого нюанса в изменении клинического, трудового или социального статуса использовалась пятиступенчатая шкала оценки конечного результата.

Результаты оценки по отдельным признакам (в баллах) суммируются и делятся на количество оцениваемых признаков:

$$\Xi = (N_1 + N_2 + \dots + N_n) / n,$$

где Ξ — эффективность реабилитации;

$N_1 + N_2 + \dots + N_n$ — сумма признаков;

n — количество оцениваемых признаков.

Полученный конечный результат оценивается следующим образом:

1. Высокая эффективность реабилитации — итоговое значение в пределах 0,9-1,0 балл.
2. Умеренная эффективность реабилитации — итоговое значение в пределах 0,7-0,89 балла.
3. Недостаточная эффективность реабилитации — итоговое значение в пределах 0,5-0,69 балла.
4. Низкая эффективность реабилитации — итоговое значение в пределах 0,3 — 0,49 балла.
5. Неэффективная реабилитация — итоговое значение ниже 0,3 балла.

Оценка эффективности реабилитации по динамике группы инвалидности у исследуемого контингента больных показала более высокие результаты реабилитации инвалидов вследствие ХОБЛ (табл. 1).

По разработанной методике проведена оценка эффективности реализации 55 индивидуальных программ реабилитации, разработанных в бюро медико-социальной экспертизы в период 2002-2003 гг. Их них 30 ИПР сформированы для больных и инвалидов, страдающих ПБ, и 25 ИПР — для больных ХОБЛ.

При оценке эффективности реабилитации по полноте выполнения мероприятий, указанных в ИПР, получены следующие результаты:

— программа выполнена полностью в 67,0% наблюдений (20 чел.) при профессиональном бронхите и в 60,0% случаев (15 чел.) — при ХОБЛ;

Таблица 1
Показатель полной реабилитации по динамике группы инвалидности при очередном освидетельствовании (в %)

Контингент инвалидов	Годы			
	2000	2001	2002	2003
Омская область	2,0	2,5	2,6	2,4
ПБ	4,4	5,6	2,9	2,9
ХОБЛ	8,9	18,3	15,6	17,1

— программа выполнена частично у 30,0% больных ПБ (9 чел.) и у 40,0% больных ХОБЛ (10 чел.);

— программа не выполнена в 3,0% случаев при ПБ (1 чел.), случаев невыполнения индивидуальной программы реабилитации при ХОБЛ.

Анализ степени выраженности ограничений жизнедеятельности показал, что:

— восстановление ограничений жизнедеятельности в одной или нескольких категориях достигнуто в 6,7% случаев при ПБ (2 чел.) и у 8,0% больных (2 чел.) при ХОБЛ;

— уменьшение проявлений ограничений жизнедеятельности в одной или нескольких категориях отмечалось в 23,3% наблюдений при ПБ и в 8,0% случаев (2 чел.) при ХОБЛ;

— отсутствие положительных результатов имело место у 70,0% больных ПБ (21 чел.) и у 84,0% больных ХОБЛ (21 чел.).

Восстановление социальной недостаточности в одной или нескольких категориях наблюдалось в 3,3% наблюдений при профессиональном бронхите (1 чел.) и у 8,0% больных хронической обструктивной болезнью легких (2 чел.). Уменьшение проявлений социальной недостаточности в одной или нескольких категориях отмечалось у 23,3% больных ПБ (7 чел.) и в 44,0% случаев при ХОБЛ (11 чел.). Отсутствие положительных результатов имело место в 74,0% случаев при ПБ (22 чел.) и у 48,0% пациентов, страдающих ХОБЛ (12 чел.).

При анализе динамики группы инвалидности при очередном освидетельствовании у больных профессиональным бронхитом и ХОБЛ установлено, что:

— группа инвалидности не определена у 3,3% больных ПБ (1 чел.) и в 8,0% случаев при ХОБЛ (2 чел.);

— группа инвалидности не изменена при ПБ в 83,3% случаев (25 чел.), при ХОБЛ — у 88,0% больных (22 чел.);

— группа инвалидности повышена в 13,4% наблюдений при профессиональном бронхите (4 чел.) и у 4,0% обследованных при ХОБЛ (1 чел.).

Результаты реализации отдельных частей индивидуальной программы реабилитации представлены в табл. 2. Восстановление нарушенных функций наблюдалось у 3,3% больных профессиональным бронхитом (1 чел.) и в 8,0% случаев (2 чел.) при ХОБЛ. Компенсация нарушенных функций достигнута у 30,0% обследованных при ПБ (9 чел.) и у 44,0% больных ХОБЛ (11 чел.). Отсутствие положительных результатов имело место в 66,7% случаев при ПБ (20 чел.) и у 48,0% обследованных при ХОБЛ (12 чел.).

При реализации программы профессиональной реабилитации достижение желаемого результата отмечалось в 30,0% случаев при профессиональном бронхите (9 чел.) и у 36,0% больных ХОБЛ (9 чел.). Частичное достижение желаемого результата отмечалось в 40,0% случаев при хронической об-

Таблица 2

Оценка эффективности реабилитации при профессиональном бронхите и ХОБЛ по результатам реализации отдельных частей индивидуальной программы реабилитации (абс. ч., %, p)

Программа реабилитации	ПБ (n = 30)		ХОБЛ (n = 25)		p
	абс.	%	абс.	%	
Медицинская:					
- восстановление нарушенных функций	1	3,3	2	8,0	>0.1
- достижение компенсации	9	30,0	11	44,0	>0.1
- отсутствие положительных результатов	20	66,7	12	48,0	>0.1
Профессиональная:					
- достижение желаемого результата	9	30,0	9	36,0	>0.1
- частичное достижение желаемого результата	-	-	10	40,0	<0.001
- отсутствие положительных результатов	21	70,0	6	24,0	<0.001
Социальная:					
- достижение желаемого результата	11	36,7	17	68,0	<0.05
- частичное достижение желаемого результата	1	3,3	5	20,0	>0.1
- отсутствие положительных результатов	18	60,0	3	12,0	<0.001

структивной болезни легких (10 чел.). Отсутствие положительных результатов имело место в 70,0% наблюдений при бронхите профессиональной этиологии (10 чел.) и у 24,0% больных ХОБЛ (6 чел.).

При реализации программы социальной реабилитации желаемый результат достигнут у 36,7% больных ПБ (11 чел.) и в 68,0% случаев при ХОБЛ (17 чел.). Желаемый результат достигнут частично в 3,3% наблюдений при ПБ (1 чел.) и в 20,0% случаев при ХОБЛ (5 чел.). Отсутствие положительных результатов отмечалось у 60,0% больных профессиональным бронхитом (18 чел.) и в 12,0% наблюдений при ХОБЛ (3 чел.).

Степень соответствия достигнутых результатов реабилитационному потенциалу инвалида представлена на рис.1. Реабилитационный потенциал реализован полностью у 10,0% больных профессиональным бронхитом (3 чел.) и в 8,0% случаев при ХОБЛ (2 чел.). Реабилитационный потенциал реализован частично в 50,0% случаев при ПБ (15 чел.) и в 64,0% наблюдений при ХОБЛ (16 чел.). Реабилитационный потенциал не реализован у 40,0% больных бронхитом профессиональной этиологии (12 чел.) и в 28,0% наблюдений при ХОБЛ (7 чел.).

Итоговая оценка эффективности результатов реабилитации представлена на рис. 2. При ХОБЛ

высокая эффективность реабилитации достигнута в 8,0% случаев (2 чел., которые не были признаны инвалидами при очередном освидетельствовании), при ПБ высокой эффективности реабилитации не наблюдалось. Умеренная эффективность реабилитации у больных профессиональным бронхитом достигнута в 7,0% случаев (2 чел.), у больных ХОБЛ не отмечалась. Недостаточная эффективность реабилитации имела место у 20,0% больных ПБ (6 чел.) и в 28,0% случаев при ХОБЛ (7 чел.). Низкая эффективность реабилитации имела место в 3,0% наблюдений при ПБ (1 чел.) и у 36,0% больных ХОБЛ (9 чел.). Неэффективная реабилитация отмечалась у 70,0% инвалидов вследствие профессионального бронхита (21 чел.) и в 28,0% наблюдений при ХОБЛ (7 чел.).

Представленные данные показывают, что в целом реабилитация более эффективна при хронической обструктивной болезни легких, чем при профессиональном бронхите. Следует отметить, что полученные результаты соответствуют оценке реабилитации по динамике группы инвалидности. Однако оценка реабилитации по предлагаемой методике выявила так называемые «слабые места» в организации реабилитационного процесса. В частности, при профессиональном бронхите отмечена

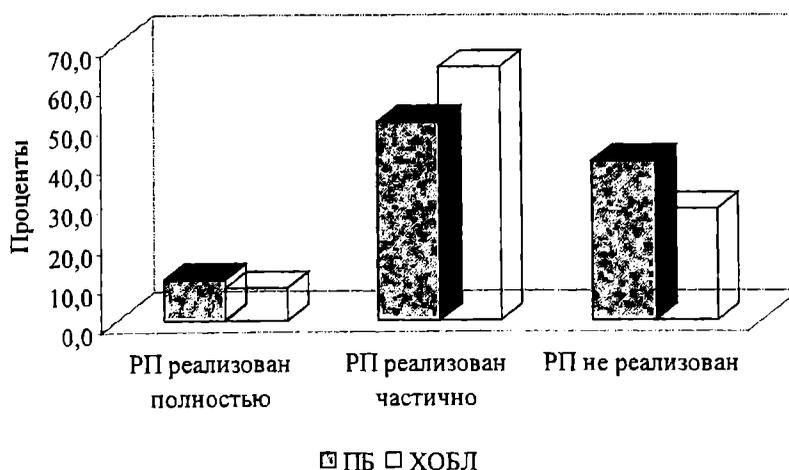


Рис. 1. Оценка эффективности реабилитации при профессиональном бронхите и ХОБЛ по степени реализации реабилитационного потенциала (%)

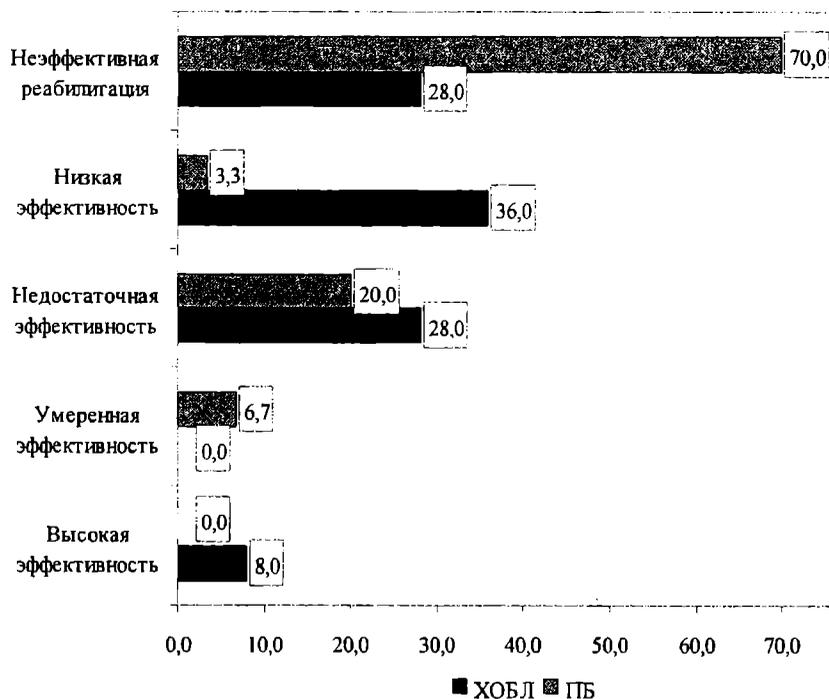


Рис.2. Итоговая оценка эффективности реабилитации при профессиональном бронхите и ХОБЛ (%)

крайне низкая эффективность медицинской реабилитации, что требует дополнительной проработки существующей системы организации реабилитационных мероприятий у данного контингента. Кроме того, необходимо повысить заинтересованность самих больных в положительном эффекте реабилитации. Отсутствие положительных результатов отмечено при реализации программы профессиональной реабилитации у подавляющего большинства больных ПБ (70%). Это говорит о том, что больные профессиональным бронхитом испытывают трудности при рациональном трудоустройстве, а также о недостаточном использовании возможности переобучения и приобретения новой профессии. При реализации мероприятий социального характера более чем у половины больных ПБ также не отмечено положительных результатов (60%).

Низкая эффективность реализации отдельных частей программы реабилитации повлияла на динамику степени выраженности ограничений жизнедеятельности, социальной недостаточности и группы инвалидности при очередном освидетельствовании больных профессиональным бронхитом по сравнению с больными ХОБЛ. Кроме того, у больных ПБ в подавляющем большинстве случаев не реализован полностью реабилитационный потенциал. При этом у 67% больных профессиональным бронхитом полностью выполнены все рекомендованные реабилитационные мероприятия. Напрашивается вывод о формальном подходе к разработке программ реабилитации данному контингенту больных.

Таким образом, разработанные критерии и методика оценки эффективности реабилитации на примере больных профессиональным бронхитом и ХОБЛ обладают высокой информативностью и практической содержательностью, что позволяет своевременно вносить коррективы в процесс реабилитации. Предложенные методика и критерии оценки эффективности реабилитации могут быть

использованы специалистами реабилитационных учреждений различной направленности и ведомственной принадлежности, учреждений медико-социальной экспертизы, центров профпатологии, Фонда социального страхования и других.

Библиографический список

1. О порядке организации и деятельности федеральных государственных учреждений медико-социальной экспертизы: постановление Правительства Российской Федерации от 16 декабря 2004 г. N 805 – [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Электрон. дан.
2. Горблянский Ю. Ю. К вопросу о медицинской реабилитации больных с профессиональными заболеваниями / Ю. Ю. Горблянский, Е. А. Кравченко, И. Н. Пиктушанская // Медико-экологические проблемы работающих: бюл. науч. совета. – М., 2003. – № 1. – С. 61 – 63.
3. Илларионов В. Основы реабилитологии / В. Илларионов. – Врач. – 1997. – № 3. – С. 6 – 8.
4. Ильницкий А. Н. Эффективность трехэтапной реабилитации пациентов с хроническими обструктивными болезнями легких / А. Н. Ильницкий. – Тер. архив. – 2003. – №3. – С. 50 – 53.
5. Коробов М. В. Здоровье населения и показатели реабилитации больных и инвалидов / М. В. Коробов, М. Б. Кадискин // Медико-социальная экспертиза и реабилитация инвалидов. – СПб., 1996. – Вып. 4. – С. 22-27.
6. Мартынова Р. П. Проблема реабилитации инвалидов и перспективы ее решения / Р. П. Мартынова, С. П. Пешков, И. П. Войнова // Обзор. информация. – М.: ЦБНТИ Минсоцзащиты населения РФ. – 1992. – 15 с.
7. Справочник по медико-социальной экспертизе и реабилитации / под ред. М. В. Коробова и В. Г. Помникова. – СПб.: Гиппократ, 2003. – 800 с.
8. Шеломанова Т. Н. К разработке методики качественной оценки организации и эффективности реабилитации инвалидов / Т. Н. Шеломанова // Клинические и социальные аспекты профилактики инвалидности и реабилитации: сб. науч. тр. – СПб., 1992. – С. 19–23.
9. Шестаков В. П. Оценка эффективности медицинских аспектов комплексной реабилитации инвалидов / В. П. Шес-

таков [и др.] // Актуальные проблемы медико-социальной экспертизы и реабилитации инвалидов. Деятельность специалиста по социальной работе в учреждениях медико-социальной экспертизы и реабилитации инвалидов: материалы Российской науч.-практ. конф. (семинара). – М., 2003. – С. 179 – 181.

ДЕМЧЕНКО Владимир Григорьевич, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой медицины труда и профзаболеваний ОГМА.

ГЛОТОВ Андрей Васильевич, доктор медицинских наук, профессор кафедры медицины труда и профзаболеваний.

ФЕДОРОВА Татьяна Николаевна, кандидат медицинских наук, заведующая клинико-экспертным и организационно-методическим отделом клинического Диагностического центра.

Дата поступления статьи в редакцию: 25.09.06 г.
© Демченко В.Г., Готов А.В., Федорова Т.Н.

УДК 613.955+355.231.1(571.13)

И. В. АШВИЦ

Омская государственная
медицинская академия

О НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЯХ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ВОСПИТАННИКОВ УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО ВОЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ОМСКОГО КАДЕТСКОГО КОРПУСА)

В результате проведенных исследований выявлены положительные изменения в основных показателях состояния здоровья воспитанников Омского кадетского корпуса в период пребывания в этом среднем специальном образовательном учреждении.

Одной из особенностей медико-демографической ситуации на территории Российской Федерации в течение последних 10-15 лет следует считать рост заболеваемости населения по большинству классов болезней, причем наиболее существенными темпы увеличения заболеваемости отмечались среди детского населения [4]. Это тревожная тенденция, если иметь в виду то, что здоровье детей является прогнозом здоровья общества на ближайшую перспективу [2]. Всероссийская диспансеризация детей, проведенная в 2002 году, выявила снижение доли здоровых детей (за прошедший 10-летний период) с 45,5% до 33,9% с одновременным увеличением удельного веса детей, страдающих хроническими заболеваниями [5].

Ухудшение здоровья подрастающего поколения негативно отражается на состоянии Вооруженных Сил, так как боеспособность войск в немалой степени обусловлена качеством здоровья призывной молодежи [1, 6]. Более 40% призывников по уровню физического развития не соответствует требованиям, предъявляемым армейской службой [7].

Нами в 2004-2006 годах проведены исследования по гигиенической оценке здоровья воспитанников Омского кадетского корпуса – среднего общеобразовательного учреждения с дополнительными образовательными программами, предусматривающими военную подготовку обучающихся и подготовку к поступлению в военные

образовательные учреждения Вооруженных Сил Российской Федерации. Срок обучения в корпусе – 3 года (9, 10 и 11 классы).

Для оценки социально-гигиенических условий жизни кадет в период, предшествующий их поступлению в корпус, проводилось анкетирование. За основу была взята анкета, разработанная в Московской государственной медицинской академии им. И.М. Сеченова, с некоторыми добавлениями и изменениями, внесенными нами и учитывающими специфику обучения в кадетском корпусе. По итогам анкетирования с использованием метода «копия-пара» подобраны группы кадет по 46 человек в каждой, обучающихся в 9, 10 и 11 классах. В этих группах проводились исследования по оценке здоровья, функционального состояния организма и физического развития.

Для оценки функционального состояния организма определялись пробы Штанге и Генчи, число сердечных сокращений, величина систолического и диастолического артериального давления, данные динамометрии и жизненной емкости легких, приведенные к должным значениям. Неспецифическая резистентность организма кадет (пониженная, нормальная) оценивалась по числу неспецифических заболеваний в течение года, предшествующего исследованию функционального состояния организма и физического развития. На нормальный уровень резистентности указывало не более 4-х заболеваний в течение года; пони-

женный уровень неспецифической резистентности отмечался у кадет, болевших более 4 раз в год.

Оценка физического развития предусматривала такие комплексные оценки, как гармоничное физическое развитие и дисгармоничное физическое развитие. При этом использовались оценочные таблицы, разработанные методом регрессионного анализа. Физическое развитие оценивалось по результатам измерений длины и массы тела, визуальной оценки степени развития мускулатуры, костей и жировых отложений.

По результатам исследований была осуществлена индивидуальная комплексная оценка здоровья кадет с использованием методики, разработанной НИИ гигиены и профилактики заболеваний детей и подростков Российской академии медицинских наук [3]. Кроме упомянутых уже критериев комплексная оценка здоровья кадет предполагала использование такого важного интегрального показателя, как наличие или отсутствие в момент обследования у наблюдаемого того или иного хронического заболевания.

Кроме традиционных методов параметрического статистического анализа применялась методика интегральной характеристики совокупности показателей [8], в основу которой положена точная балльная оценка каждого наблюдаемого признака из взятой совокупности в соответствующем вариационном ряду с нахождением в последующем средней гармонической из них. Для обработки полученных данных использовались возможности, предоставляемые Microsoft Excel.

Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о том, что вопреки общим тенденциям, наблюдаемым среди современных популяций детей и подростков, у воспитанников кадетского корпуса в процессе обучения отмечается улучшение состояния здоровья. Так, с 9 по 11 классы наблюдается снижение доли кадет с ухудшенным функциональным состоянием организма - с 30,4% в 9 классе до 17,4% в 10 классе и до полного отсутствия таковых в 11 классе, а также увеличение числа воспитанников с нормальным функциональным состоянием организма - с 70% в 9 классе до 100% в 11 классе. Различия между сравниваемыми группами в высшей степени статистически достоверны ($p < 0,001$).

Как оказалось, доля кадет с нормальной резистентностью в процессе обучения в корпусе увеличилась с 74% в 9 классе до 95,6% в 11 классе (различия в высокой степени статистически достоверны, $p_{9,11} < 0,01$), а количество кадет с пониженной резистентностью уменьшилось с 17% в 9 классе до 2,2% в 11 классе (различия также статистически достоверны, $p_{9,11} < 0,05$).

Нами установлено некоторое увеличение доли кадет с гармоничным развитием, с 78,4% в 9 классе до 80,4% в 10 классе и до 84,4% в 11 классе, и, соответственно, уменьшение числа кадет с дисгармоничным развитием - с 21,6% в 9 классе до 15,2% в 11 классе, однако эти различия оказались статистически не достоверными ($p > 0,1$).

В результате медицинских осмотров среди обследованных не было выявлено кадет, страдающих тем или иным хроническим заболеванием. Поэтому были выделены только две группы кадет по результатам комплексной оценки здоровья:

I - здоровые с нормальным физическим развитием и нормальным уровнем основных функций; II - здоровые, но имеющие функциональные или

морфологические отклонения после острых заболеваний, часто болеющие, имеющие дисгармоничное физическое развитие.

Были получены следующие результаты комплексной оценки здоровья воспитанников кадетского корпуса: доля кадет с I группой здоровья составила 41,3% в 9 классе, 67,4% - в 10 классе и 82,6% - в 11 классе (различия между 9-10 классами и 9-11 классами статистически достоверны, $p_{9,10} < 0,05$, $p_{9,11} < 0,01$). Различия между 10-11 классами по оцениваемому показателю оказались статистически не достоверными, $p_{10,11} > 0,1$).

Доля кадет со II группой здоровья уменьшилась с 58,7% в 9 классе до 32,6% в 10 классе и до 17,4% в 11 классе (различия между 9-10 классами и 9-11 классами статистически достоверны, $p_{9,10} < 0,05$, $p_{9,11} < 0,001$). Различия по этим показателям между 10-11 классами статистически не достоверны ($p_{10,11} > 0,1$).

Полученные результаты объясняются, на наш взгляд, следующими причинами и прежде всего тем, что для прохождения обучения в кадетском корпусе допускаются абитуриенты, имеющие только две оценки состояния здоровья - «Здоров» и «Практически здоров». Требования руководящих документов по организации обучения в заведениях подобного типа направлены, в основном, на сохранение и укрепление здоровья обучаемых. Но главное состоит в том, что в Омском кадетском корпусе созданы практически все условия для выполнения этих требований, а работа всего персонала направлена на соблюдение и выполнение распорядка дня, организацию рационального питания и физического воспитания, создание комфортных условий обучения и быта воспитанников. Это подтверждается и результатами проведенных нами санитарно-гигиенических исследований.

Библиографический список

1. Коновалова Т.А. Концептуальные основы создания системы обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и охраны здоровья школьников / Т.А. Коновалова, А.А. Талалаев, А.Т. Тибекин // Здравоохранение Рос. Федерации. - 2001. - № 2. - С.16-19. - ISSN 0044-197X. - Библиогр.: с. 8-19 (13 назв.)
2. Маймулов В.Г. Гигиеническая оценка влияния химического загрязнения окружающей среды мегаполиса на состояние здоровья детей / В.Г. Маймулов, Н.А. Пащюк, Г.А. Баскович // Гигиена и санитария. 2004. - № 2. - С. 31-33.
3. Методические рекомендации по комплексной оценке состояния здоровья детей и подростков при массовых врачебных осмотрах. - М., 1982. - 16 с.
4. Онищенко Г.Г. О реализации Федерального закона от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» и мерах по совершенствованию его применения / Г.Г. Онищенко // Гигиена и санитария. 2004. - № 1. - С.3-5.
5. О санитарно-эпидемиологической обстановке в Российской Федерации в 2002 г.: Государственный доклад. - М., 2003. - 221 с.
6. Особенности физического развития и здоровья учащихся школ Москвы / М.В. Антропова, Г.В. Бородкина, Л.М. Кузнецова и др. // Здравоохранение Рос. Федерации. - 1995. - № 1. - С. 23-25.
7. Состояние здоровья и физическая активность современных подростков / Л.М. Сухарева, И.К. Рапорт, И.В. Звездина и др. // Гигиена и санитария. - 2002. - № 3. - С.52-55.
8. Ширинский В.А. Методика сбора, обработки и комплексной оценки показателей II этапа социаль-

но-гигиенического мониторинга на муниципальном уровне: Методические рекомендации МР 52.2002-02. / В.А. Ширинский, И.И. Новикова, Е.А. Гуляев, А.В. Брусенцова, А.Е. Стороженко, Ю.Н. Колбенева, С.В. Никитин, В.П. Родькин. — Омск: Центр Госсанэпиднадзора в Омской области, ОГМА. — 2002. — 26 с.

АШВИЦ Иван Вячеславович, полковник медицинской службы, начальник кафедры военной и экстремальной медицины ОГМА.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.10.06 г.
© Ашвиц И.В.

УДК 618.36-007.21-092+616.9+612.017.1

Г. В. КРИВЧИК

Омская государственная
медицинская академия

ИММУНОПАТОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ И МОЛЕКУЛЯРНО-КЛЕТочНЫЕ МОДИФИКАЦИИ В ПАТОГЕНЕЗЕ ФЕТОПЛАЦЕНТАРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПРИ ИНФЕКЦИИ

Статья представляет собой обзор литературы о роли иммунологических нарушений в патогенезе плацентарной недостаточности, развивающейся на фоне инфекционно-воспалительных заболеваний в период беременности. Приведены современные сведения о молекулярных и клеточных модификациях, формирующих патогенетические механизмы развития плацентарной недостаточности. Показано, что патогенетическую основу формирования плацентарной недостаточности составляет комплекс нарушений, включающий изменения васкуляризации, сосудистого тонуса, гемостаза и микроциркуляции в плацентарном бассейне, белкового, липидного и углеводного обмена, иммунного статуса, а также проницаемости и ферментативной активности плаценты.

О роли иммунологических нарушений в патогенезе фетоплацентарной недостаточности (ФПН) свидетельствуют многочисленные результаты исследований последних лет. Установлено, что в группе беременных с нарушениями иммунного статуса и высоким риском внутриутробного инфицирования фетоплацентарная недостаточность развивается у 24-33,8 % [1,2].

Выявлено, что одной из ведущих причин, приводящих к формированию плацентарной недостаточности и определяющих состояние здоровья новорожденных, является инфекция у беременных [3]. В настоящее время особенностью бактериальных и вирусных заболеваний стало преимущественное участие в их развитии различных аэробных, аэробно-анаэробных и вирусных ассоциаций, что нашло свое отражение в этиологической структуре инфекционной патологии матери, плода и новорожденного [4].

Инфекционно-воспалительные заболевания беременных на фоне иммунопатологии неблагоприятно воздействуют на все звенья фетоплацентарного комплекса. Инфицирование плодного яйца часто сопровождается прерыванием беременности или последующей задержкой развития плода [5]. Женщины с хроническими очагами генитальной инфекции имеют исходную гипофункцию яични-

ков, что приводит в последующем к формированию неполноценного фетоплацентарного комплекса. Инфекционные агенты в этой ситуации с большей легкостью проникают в плодные оболочки и плаценту, вызывая нарушение её функций [6].

Нарушения функции иммунной системы способствуют тяжелому течению инфекции с частыми и длительными рецидивами при беременности. Показано, что при повторном и длительном инфицировании хроническая плацентарная недостаточность развивается в 2-3 раза чаще [6]. Воздействовать на течение патологического процесса в фетоплацентарной системе (ФПС) на фоне уже имеющихся исходных нарушений можно только путем опосредованного действия на иммунную систему беременной, тем более что многие авторы рассматривают ФПС как иммунологический барьер [7].

Изменения иммунореактивности организма, обуславливающие развитие ФПН при инфицировании, проявляются клинически следующим образом:

- активацией инфекции в I и II триместрах беременности;
- преобладанием атипичных форм инфекционных заболеваний;
- наличием первичного инфицирования во время беременности.

Изменения иммунореактивности организма, в свою очередь, могут быть обусловлены развитием аутоиммунных состояний и эндокринными нарушениями. В этих случаях беременным проводится лечение глюкокортикоидными препаратами, в то время как известно, что половые и глюкокортикоидные гормоны за счет их иммуносупрессивного действия способствуют репродукции и распространению вирусов в организме, а также активации условно-патогенной флоры.

Следует отметить и обнаружение в плазме крови беременных циркуляции антител к фосфолипидам, которые являются маркером антифосфолипидного синдрома (АФС). Антифосфолипидные антитела относятся к семейству аутоантител, образующихся в процессе взаимодействия фосфолипидов и фосфолипидсвязывающих белков. Установлено, что патологический уровень антител к фосфолипидам определялся у 24% беременных с микоплазменной и ассоциированной инфекцией, у 18% из них диагностирован антифосфолипидный синдром. Выявлены особенности клинического течения беременности и изменений системы гемостаза у женщин с патологическим уровнем антифосфолипидных антител. Оказалось, что образование антифосфолипидных антител является частью патогенеза инфекционного процесса при беременности. Это своеобразный симптомокомплекс, включающий различные формы акушерской патологии (в первую очередь привычное невынашивание беременности, плацентарную недостаточность, задержку внутриутробного развития плода, развитие гестоза), венозные или артериальные тромбозы, тромбоцитопению, а также ряд других разнообразных сердечно-сосудистых, гематологических, неврологических и кожных нарушений [8].

Аутоантитела к фосфолипидам могут возникать под влиянием инфекций (туберкулез, малярия, сифилис, корь, инфекционный мононуклеоз, вирусный гепатит А). Как правило, это транзиторные антитела, не приводящие к тромбоэмболическим нарушениям. Латентные инфекции в последние годы приобрели огромное значение в развитии акушерской и перинатальной патологии. Микоплазмы в силу своих биологических особенностей занимают в этом ряду особое место. Микоплазмы способствуют образованию антифосфолипидных антител, а при ассоциации их с другими микроорганизмами аутоантитела продуцируются чаще. В организме человека микоплазмы способны вызывать респираторные, урогенитальные и аутоиммунные заболевания, иммунодефицит, а также активировать многие вирусы, в том числе онкогенные, ВИЧ. Внутриутробное инфицирование микоплазмами может привести к различным нарушениям развития плода.

Таким образом, микоплазмы способствуют образованию антифосфолипидных антител. Транзиторные антитела, вырабатываемые на фоне инфекции, приводят к активации системы гемостаза с накоплением продуктов деградации фибрина, что сопровождается развитием осложнений беременности и требует адекватной терапии. При антифосфолипидном синдроме, протекающем на фоне микоплазменной и смешанной инфекции, развиваются наиболее тяжелые, нередко необратимые осложнения беременности.

Рассматривая аутоиммунные нарушения, нельзя не отметить важную роль в патогенезе ФПН

неблагоприятных химических факторов внешней среды, воздействие которых способствует формированию иммунных комплексов, фиксирующихся на мембранных структурах плацентарного барьера, которые ограничивают компенсаторно-приспособительные возможности плаценты и приводят к нарушению течения беременности и развития плода [9].

Исследования иммунного статуса беременных с ФПН продемонстрировали наличие сдвигов субпопуляций иммунокомпетентных клеток (достоверные различия в относительном содержании лимфоцитов, несущих маркеры CD3+, CD4+, CD19+) [10, 6]. Общая иммунореактивность организма беременных с плацентарной недостаточностью и инфекцией характеризуется снижением иммунорегуляторного индекса (CD4+/CD8+) за счет значительного снижения Т-хелперов и увеличения содержания В-лимфоцитов, снижением общего количества лимфоцитов и их функциональной активности, что сопровождается угнетением их бласттрансформации.

Так, при исследовании клеточного и гуморального звеньев иммунитета, проведенном А.В. Пуховым и Н.Ю. Катковым с соавт. (2001) [11], было установлено, что у 2/3 беременных в исследуемых группах количество Т-лимфоцитов было снижено на 55% за счет субпопуляции Т-хелперов (CD4+), В-клеток (CD19+) - увеличено, содержание IgM превышало нормальные значения в среднем в 2,45 раза, а концентрация IgG уменьшена в 2 раза. Особое внимание авторы обращали на высокий уровень циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) и недостаточную фагоцитарную активность нейтрофилов.

Выявленные изменения коррелируют с длительностью, частотой и тяжестью инфекционного процесса и наиболее выражены у беременных с развившейся плацентарной недостаточностью. Сдвиги интерферонового статуса инфицированных беременных проявляются нарушениями интерферонпродуцирующей функции клеток; в ряде работ показано снижение продукции α - и γ -интерферонов [6, 12]. При этом подавление интерферогенеза достоверно чаще встречается у пациенток с развившейся плацентарной недостаточностью (в 53,2%) [6].

В настоящее время проводится большое количество исследований и формируются представления о том, что патогенетические механизмы развития плацентарной недостаточности обусловлены молекулярными и клеточными модификациями [13]. Так, в работе Х.Б. Копашвили (2002) [14] показано, что качественный состав жирных кислот (ЖК) мембран эритроцитов у обследованных беременных, который отражает жирнокислотный состав всех клеток организма, значительно изменяется за счет снижения количества арахидоновой кислоты и других ЖК. Это ведет к падению коэффициента эффективности метаболизации (КЭМ) эссенциальных ЖК на фоне активации перекисного окисления липидов (ПОЛ) плазмы крови и мембран эритроцитов, а также снижению активности антиоксидантной системы (АОС), ускоренному энергетическому истощению клеток с возможной редукцией и дисбалансом синтеза эйкозаноидов.

Установлено, что при неразвивающейся беременности и самопроизвольном аборте снижена активность рецепторов к прогестерону в клетках стромы эндометрия, резко увеличена степень апоп-

тоза клеток трофобласта ворсин хориона и других клеточных элементов. Эти молекулярные изменения отражают модификацию липидов клеточных мембран с развитием выраженного дефицита линолевой и арахидоновой кислот, снижением КЭМ ненасыщенных ЖК и с большей вероятностью нарушения синтеза эйкозаноидов.

Активность плацентарной щелочной фосфатазы (ПЩФ) в сыворотке крови коррелирует с ее активностью в плаценте при различных степенях нарушения состояния плода. Результаты исследований позволили авторам утверждать, что повышение уровня ПЩФ является результатом адаптационной гиперферментемии и наблюдается при начальных признаках нарушений в фетоплацентарной системе. Считается, что при нарушении состояния плода направленность энергетического обмена в ткани плаценты вначале характеризуется усилением биосинтетических процессов, а в последующем, наоборот, снижением их интенсивности [15]. Соответственно этому метаболические изменения в плаценте на начальных этапах развития плацентарной недостаточности сопровождаются повышением активности ПЩФ в сыворотке крови, что характеризует начальные признаки нарушений в системе мать — плацента — плод. Последующее снижение активности фермента является неблагоприятным прогностическим признаком для плода и новорожденного.

Значительную роль в снижении компенсаторно-приспособительных реакций плаценты под влиянием неблагоприятных факторов внешней среды или патологических состояний материнского организма и, следовательно, в патогенезе хронической фетоплацентарной недостаточности отводят нарушениям свободнорадикальных процессов. Метаболизм в фетоплацентарном комплексе тесно связан с функциональной активностью клеточных мембран. Состояние последних определяется интенсивностью процессов перекисного окисления липидов и системы их регуляции [16]. Нарушение равновесия в системе перекисного окисления липидов - антиоксидантной защиты, в свою очередь, оказывает неблагоприятное воздействие на гемостаз беременной, что усугубляет патологические изменения в фетоплацентарном комплексе, а также на гормональную и белковообразующую функции фетоплацентарной системы. Ответной реакцией на нарушение газообмена и кислородную недостаточность являются изменения коагуляционных и реологических свойств крови [17].

Нарушения кровообращения в системе мать — плацента — плод сопровождаются изменением метаболизма с увеличением синтеза нуклеиновых кислот, белка и его компонентов. Накопление лизофосфатидов связано с увеличением активности фосфолипаз, щелочной фосфатазы и проницаемости клеточных мембран, приводит к развитию процессов перекисного окисления липидов. Возникающие в процессе ПОЛ токсичные радикалы оказывают повреждающее действие не только на липиды, но и на белки клеточных мембран, вызывая ферментативную и гормональную недостаточность плаценты. Нарушения липидного и белкового обмена существенно изменяют иммунореактивность организма, синтез гормонов и простагландинов. Иммунный конфликт первично проявляется в нарушении проницаемости клеточных мембран и метаболизма плаценты, после чего возникают циркуляторные и другие расстройства [18].

В ряде исследований последних лет описаны факторы роста, являющиеся биологически активными соединениями, симулирующими или ингибирующими деление и дифференцировку различных клеток, в том числе регулируемыми этот процесс на различных этапах развития плаценты, начиная с периода имплантации. Установлено, что сосудисто-эндотелиальные факторы роста, включая факторы роста плаценты (ФРП), регулируют рост и функцию сосудов плаценты. С одной стороны, они являются стимуляторами ангиогенеза и повышают проницаемость сосудов внутри плацентарного ложа, с другой стороны, посредством аутокринного механизма регулируют инвазию, дифференцировку и метаболическую активность трофобласта в момент плацентации.

При начальных и/или компенсированных формах плацентарной недостаточности показатели клеточной регуляции и ферментативной активности могут являться прогностическими маркерами начинающегося патологического процесса, что подтверждается в дальнейшем морфологической диагностикой и перинатальными исходами. Неблагоприятный фон, обусловленный инфекцией, оказывает отрицательное влияние на адекватную продукцию и функционирование факторов роста, метаболизм плаценты и ее способность в развитии необходимых адаптационных реакций, что подтверждается наиболее выраженными изменениями у этих беременных со стороны продукции ФРП и ферментативной активности сыворотки крови.

Таким образом, в настоящее время установлено наличие взаимосвязи между параметрами клеточной регуляции, результатами, полученными при функциональных, биохимических, биофизических, метаболических, гемостазиологических исследованиях и клинко-анамнестическими данными. Эти взаимосвязи определяют взаимобусловленность в условиях единства организма различных процессов как на клеточном, так на тканевом и органном уровнях, являющихся отдельными звеньями патогенеза плацентарной недостаточности.

Доказано, что патогенетическую основу формирования ФПН составляет комплекс нарушений, включающий изменения васкуляризации, сосудистого тонуса, гемостаза и микроциркуляции в плацентарном бассейне, белкового, липидного и углеводного обмена, иммунного статуса плода, а также проницаемости и ферментной активности плаценты. В связи с многогранностью патогенеза в настоящее время лечебные мероприятия при фетоплацентарной недостаточности включают широкий комплекс лекарственных препаратов и физиотерапевтических воздействий.

Библиографический список

1. Сидорова И.С., Макаров И.О. Современная диагностика, профилактика и лечение фетоплацентарной недостаточности при патологической беременности // Мат. науч. форума «Новые технологии в акушерстве и гинекологии». - М., 1999. - С.29-32.
2. Фомичева Е.Н., Зарубина Е.Н. Перинатальные исходы в зависимости от сроков проведения этиотропного лечения урогенитального хламидиоза у беременных женщин // Кремлевская медицина. Клинич. вестн. — 1998. - № 1.
3. Каткова Н.Ю. Дифференцированные подходы к лечению беременных из групп риска по внутриутробному инфицированию плода: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. - Н.Новгород, 2000.

4. Анкирская А.С. Проблемы хронической (персистирующей) хламидийной инфекции // Акуш. и гинекол. - 1999. - № 3. - С. 8-10.
5. Серов В.Н., Манухин И.Б., Кузьмин В.Н. Цитомегаловирусная инфекция в патологии беременности и плода // Акуш. и гин. - 1997. - № 6. - С. 16-17.
6. Тютюнник В.Л. Хроническая плацентарная недостаточность при бактериальной и вирусной инфекции (патогенез, диагностика, профилактика, лечение): Автореф. дисс. ... д-ра мед. наук. - М., 2002. - 48 с.
7. Сидорова И.С., Макаров И.О. Фетоплацентарная недостаточность: клинико-диагностические аспекты. - М.:Знание-М, 2000. - 126 с.
8. Стрижакова М.А. Клинико-морфологическое обоснование доплерометрического исследования кровотока в маточных артериях при физиологическом и осложненном течении беременности: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. - М., 1992. - 23 с.
9. Зубрицкая Л.Б. Иммунные комплексы в плаценте и воротке крови как биологические индикаторы экологических и других неблагоприятных воздействий на беременную женщину: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. - М., 1996.
10. Сидорова И.С., Черниенко И.Н. Внутриутробные инфекции: хламидиоз, микоплазмоз, герпес, цитомегалия // Росс. вестн. перинатол. и педиатр. - 1998. - № 3. - С.7-13.
11. Прахов А.В., Каткова Н.Ю., Марьямова Н.А., Коптилова Е.Н. Влияние реамберина на иммунный статус беременных с фетоплацентарной недостаточностью на фоне хронических очагов генитальной инфекции // www. Polysan.ru
12. Ершов Ф.И., Тазулахова Э.Б. Индукторы интерферонов // Система интерферона в норме и при патологии. - М.: Медицина. - 1996. - С. 222.
13. Радзинский В.Е., Смалько П.Я. Биохимия плацентарной недостаточности. - М.: Изд-во РУДН, 2001. - 273 с.
14. Копашвили Х.Б. Прогнозирование и диагностика плацентарной недостаточности в ранние сроки беременности: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. - М., 2002. - 26 с.
15. Бурлев В.А., Зайдиева З.С., Павлович С.В., Коноводова Е.Н. Биохимический мониторинг в комплексной диагностике хронической плацентарной недостаточности // Мат. II Российского форума «Мать и дитя». - М., 2000. - С.25-27.
16. Абрамченко В.В. Антиоксиданты и антигипоксанты в акушерстве. - СПб., 2001. - С. 202-219.
17. Осипов А.А., Сумская Г.Ф. Использование БАД феокарпин у беременных женщин группы риска с целью профилактики гестоза и фетоплацентарной недостаточности // «Акушерство и гинекология: достижения и пути развития в XXI веке»: Сб. науч. работ. - СПб., 2002.
18. Мамамтавришвили И.Д., Баканидзе К.Г. Определение клинической эффективности препарата хофитол в комплексном лечении женщин с ОПГ-гестозом и фетоплацентарной недостаточностью // www. Medlinks.ru

КРИВЧИК Галина Владимировна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры акушерства и гинекологии Центра повышения квалификации и последипломной подготовки специалистов ОГМА.

Дата поступления статьи в редакцию: 29.10.06 г.
© Кривчик Г.В.

Книжная полка

Справочник фельдшера / Под ред. Михайлова А. А. Переплет. 576 стр.

В справочнике излагаются вопросы своевременной диагностики и лечения внутренних, хирургических, инфекционных, детских и других заболеваний. Большое внимание уделено оказанию первой и неотложной медицинской помощи, проведению основных лечебных и диагностических процедур, обеспечению правильного ухода за больными, организации и планированию работы фельдшерско-акушерского пункта.

Справочник медсестры / Под ред. Задворной О. Л., Турьянова М. Х. Переплет. 432 стр.

В справочнике излагаются теоретические и практические основы сестринского дела в свете современных подходов к образованию и практической деятельности медицинской сестры. Большое внимание уделено клиническим проявлениям, осложнениям и лечению внутренних, хирургических, инфекционных, детских и других заболеваний, способам оказания первой и неотложной помощи, проведению различных лечебных и реабилитационных процедур по назначению врача, организации правильного ухода за больными в период лечения и выздоровления.

Машковский М.Д. и Южаков С.Д. Словарь-справочник лекарственных средств. Переплет. 608 стр.

Словарь-справочник содержит краткие сведения о всех лекарственных средствах, разрешенных для применения в РФ в 2001 г., систематизированные в алфавитном порядке по МНН и торговым наименованиям, а также расшифровывает, каким МНН или отечественным названиям соответствуют упоминаемые торговые названия. Дополнительно включены данные о ряде самых современных лекарственных средств, находящихся на разных стадиях экспертизы и регистрации, но пока не зарегистрированных в РФ.

Михайлов А. А., Дворецкий Л. И., Чистова В. С. ПРОСЛИМ «Внутренние болезни. Избранные экзаменационные тестовые задачи и комментарии к ним».

Книга познакомит врачей и студентов медицинских вузов с основными типами задач, применяемых на тестовых экзаменах в вузах и аттестационных комиссиях, поможет им самостоятельно оценить свои знания и сэкономить время, затрачиваемое на подготовку к тестированию.

УДК 581.501/504 + 551.578.46(571.13)

**Р. А. НОРЫШЕВА
Н. В. КЛАК
А. И. ГРИГОРЬЕВ**

А.Н.О. Омский экономический институт
ГУ «Омский ЦГМС – Р»

Омский центр по мониторингу
загрязнения окружающей среды

Омский государственный
педагогический университет

БИОИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ЭКОСИСТЕМ Г. ОМСКА (СООБЩЕНИЕ ВТОРОЕ)

На основании результатов химического состава снеговой воды на содержание загрязняющих веществ описана методика биоиндикации качества снеговой воды. Показано, что концентрация загрязняющих веществ в пробах снеговой воды существенно сказывается на отдельных качественных характеристиках сортов пшеницы в вариантах опыта.

Основной природный барьер от воздушных атмосферных загрязнителей – это зелёные растения, которые помимо процесса фотосинтеза выполняют еще санитарно-гигиеническую функцию, одновременно поглощая из воздуха вредные аэрозоли и газы [4,5]. Избыточное количество этих компонентов в воздухе подавляет процесс фотосинтеза у растений, влияет на рост и развитие, снижает эффективность их защитной роли и ухудшает фитоденозы в целом.

Говоря о взаимоотношениях растений со средой, необходимо учитывать весь спектр экологических факторов, любой элемент среды, способные оказывать влияние на живые организмы хотя бы на протяжении одной из фаз их индивидуального развития.

В настоящее время появилась острая необходимость нового направления исследований, связанных с современной проблемой производства и реализации сельскохозяйственной продукции,

безвредной для здоровья человека и животных: экологии кормления [2]. Химический состав продуктов является зеркальным отражением химического загрязнения окружающей среды вообще и кормов в частности. Наряду с селекцией не менее важными являются направления на устойчивость к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам [Зыкин].

О влиянии техногенеза на фотосинтез у растений, ухудшение их роста, развития, снижение эффективности защитной роли в природе и ухудшение фитоценоза в целом написано много научных работ, статей, проведено исследований [3,4,5,7].

Также имеются сведения, что загрязняющие вещества попадают в растения через ассимиляционную поверхность из атмосферы и через корневую систему — из питательной среды или другим способом, и растения неодинаково накапливают загрязняющие вещества, даже могут изменять свой внешний вид. Например, при разработке методики авторами [6] обнаружено, что загрязняющие вещества поступают в растения не только из питательной среды, но и из воздуха, атмосферных осадков, при этом доля металла, поступившего из атмосферы в растение, может составлять 50 % и более от их общего содержания, и это поступление не всегда равномерно. Это позволяет сделать вывод о выявлении растений-индикаторов, точнее — биоиндикаторов, способных оценить антропогенную нагрузку по реакции на нее живых организмов и их сообществ, по которым и оценивают состояние среды. Каждая группа растительных организмов в качестве биологического индикатора имеет свои преимущества и недостатки, которые определяют границы ее использования при решении задач биоиндикации.

Использование таких методов удобно потому, что приборы измеряют загрязнение несколько раз в сутки, а растения — постоянно. Разовый, высокий выброс определённых газов в атмосферу приборы могут не зафиксировать, но его «зафиксируют» лишайники, мхи или листья древесных, травянистых растений, и они реагируют не на отдельные загрязнители, а на весь их комплекс и потому способны дать общую оценку загрязнения атмосферы или воды. Использование в контролируемых условиях биологических объектов (тест-объектов) позволяет выявить и оценить действие факторов окружающей среды на организм, его отдельные функции или на биоценоз в целом.

В реальной ситуации на животные и растительные организмы оказывает влияние комплекс физических, химических и биологических факторов, совместное действие которых в зависимости от природы, интенсивности и порядка воздействия агентов обуславливает принципиально разные типы ответной реакции клетки/организма — аддитивность, синергизм, антагонизм. Результат комплексного воздействия на биологическую систему нельзя предвидеть, исходя только из информации об эффектах раздельного действия агентов. Поэтому существующий принцип нормирования поллютантов, основанный на их ПДК³, приводит либо к недооценке, либо к переоценке возможных последствий повышения техногенной нагрузки на популяции животных и растений и может быть корректным только в случае аддитивного взаимодействия факторов [2].

В противоположность химико-аналитическому контролю биологический мониторинг позволяет

оценивать и прогнозировать отклонения в состоянии биологических систем от нормы реакции, даёт интегральную оценку последствий для представителей живой природы действия комплекса загрязняющих окружающую среду веществ и качества среды обитания человека, но не позволяет связать регистрируемый эффект с определённым действующим фактором.

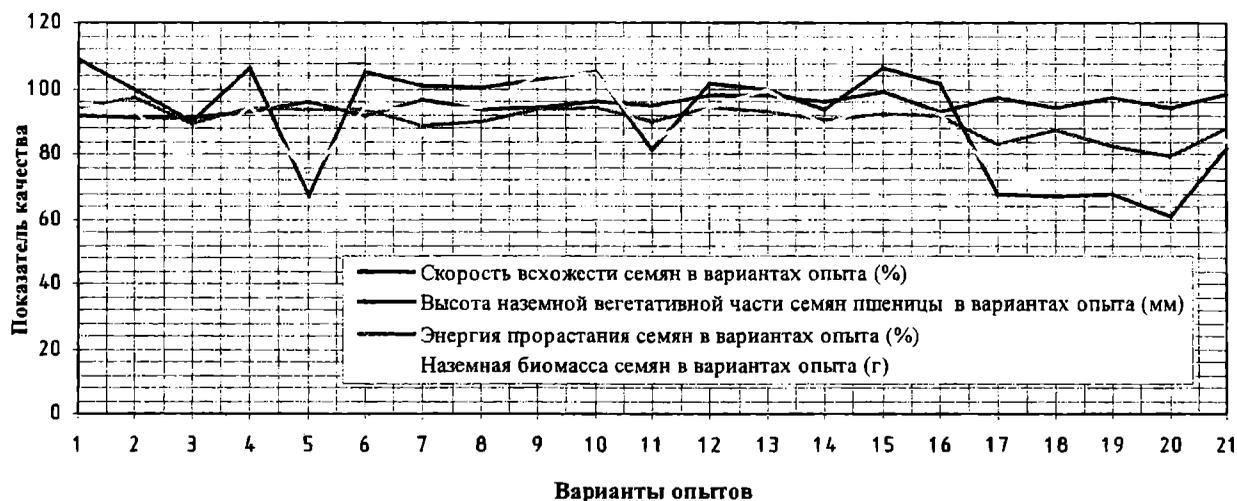
Совмещение методов физико-химического анализа и биологического тестирования даёт возможность установить определённый эффект (токсический, генотоксический, тератогенный), который может быть обусловлен разными факторами, а его величина зависит в первую очередь от химических свойств и биологической значимости действующих агентов, а не от концентраций отдельно взятых компонентов [2]. Сам же биологический объект, используемый в качестве индикатора внешнего воздействия, должен удовлетворять определённым требованиям, а именно обладать высокой чувствительностью, генетической однородностью, наличием применяемых объектов, доступностью, лёгкостью идентификации в природе, высокой продолжительностью жизни, воспроизводимостью результатов, оперативностью получения информации.

Поллютанты, присутствующие в окружающей среде, могут быть разной природы, и поэтому если ответная реакция клетки на внешнее воздействие универсальна и отличается для разных организмов диапазоном доз, где проявляются видимые изменения биологических процессов, вызванные внешним воздействием, то действующие факторы обладают специфичностью действия, т.е. могут вызывать разные первичные повреждения в клетке [2]. Различные виды растительности показывают, чем загрязнена окружающая среда. Никакая современная аппаратура не может сравниться с «живыми приборами», регистрирующими те или иные изменения, отражающие воздействие всего комплекса факторов, включая сложные соединения различных ингредиентов.

Для доказательства и поиска связи между дозой повреждающего агента и величиной регистрируемого биологического эффекта необходимо использовать методы многомерной статистики.

Биоиндикация может выявить уже состоявшееся или происходящее загрязнение окружающей среды по функциональным характеристикам снежных покровов и экологическим характеристикам качества растительных организмов. Изменения состава растительного организма формируются в результате длительного отравления почвы различными способами попадания загрязняющих веществ, и явными они становятся в случае далеко идущих изменений. Качественный (лабораторный) показатель растительности служит итоговой характеристикой токсикологических свойств снеговой воды за некоторый промежуток времени и не даёт ее оценки на момент полевого исследования.

В Омской области, зоне интенсивного ведения сельского хозяйства, созданы серьёзные предпосылки для загрязнения окружающей среды продуктами производства и жизнедеятельности людей. Нет полного контроля над изменениями геохимического фона вследствие воздействия техногенных факторов. Поэтому следующим этапом нашего эксперимента было исследование эколого-физиологических особенностей влияния техногенеза на качество живых организмов.



Гистограмма 1. Влияние загрязняющих веществ на качественные характеристики семян пшеницы, сорт Памяти Азиева



Гистограмма 2. Влияние загрязняющих веществ на качественные характеристики семян пшеницы, сорт Терция

Вегетационные опыты по изучению влияния уровня техногенеза на всхожесть, энергию прорастания, высоту и биомассу наземной части стеблей в системе почва (питательная среда) — растения проводили в мае-июне 2006 года в два этапа. Для опытов использовали два сорта семян сильной яровой пшеницы, разных по биологическим характеристикам и чаще всего используемых в условиях нашего региона, — это сорт Памяти Азиева (I) и сорт Терция (II).

Вегетационные опыты в сравнении с полевыми дают возможность при строгом соблюдении всех прочих условий более детально, глубже и (если есть необходимость) многократно и в короткие сроки изучить и проанализировать поставленные цели и задачи эксперимента.

В задачу наших экспериментов входило изучение влияния воздействия загрязняющих веществ, содержащихся в снежном покрове, на качественные характеристики основной сельскохозяйственной культуры — семян различных сортов яровой пшеницы.

Семена пшеницы с установленным процентом всхожести (96%) были получены с кафедры земледелия и растениеводства Омского государственного аграрного университета. При отборе и подготовке проб семян пшеницы к эксперименту руководствовались методиками Государственно-

го стандарта Союза ССР «Семена сельскохозяйственных культур» Часть 2. ГОСТ 12038 — 84 взамен ГОСТ 12038 — 66, раздел Методы определения всхожести [1]. Отбор проб из семян сортов (I) и (II) для проведения вегетационных опытов проводили методом квартования.

Для проведения эксперимента использовали посуду и оборудование согласно ГОСТу.

Чашки Петри, используемые для приготовления ложа и для проращивания семян, промыли горячей водой с СМС⁴, ополоснули дистиллированной водой и стерилизовали в течение часа в сушильном шкафу при температуре 130°C.

Проращивание семян в чашках Петри проводили, руководствуясь методикой по ГОСТу п.3.8.1. — проращивание семян на фильтровальной бумаге (НБ). Для эколого-физиологических характеристик и выявления влияния уровня техногенного загрязнения на качественные характеристики семян пшеницы ранее полученную талую снеговую воду (ТСВ⁵) использовали как питательную среду в вариантах опыта.

Для этого укладывали в чашки Петри нарезанную фильтровальную бумагу в два слоя и перед раскладкой на неё семян для проращивания смочили её ТСВ с содержащимися в ней взвешенными веществами до полного насыщения. На каждой чашке Петри указали регистрацион-

Сравнительная характеристика показателей роста и развития растений различных сортов пшеницы

№ фактора	Показатели	Результат сравнения показателей обоих сортов пшеницы
1	Скорость всхожести семян	0,754
2	Высота наземной части одного растения	3,195
3	Энергия прорастания семян	4,296
4	Вес сухой наземной биомассы	0,4

Таблица 3

Зависимость показателей роста и развития семян растений пшеницы от химического состава снеговой воды в условиях лабораторного опыта

Сорт пшеницы	Показатели	Коэффициенты корреляции							
		Ионы						pH	Электропроводность (мкСм/см)
		NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺		
Памяти Азиева (I)	Скорость всхожести семян	-0,304	0,077	-0,426	-0,118	-0,023	0,044	-0,255	-0,162
	Высота наземной части одного проросшего зерна	0,045	-0,368	0,136	-0,302	-0,215	0,193	0,109	0,008
	Энергия прорастания семян	-0,080	0,065	0,082	-0,033	0,077	0,119	0,089	0,162
	Вес сухой наземной биомассы	-0,138	-0,293	-0,043	-0,363	-0,146	0,121	0,063	-0,052
Терция (II)	Скорость всхожести семян	-0,060	-0,271	-0,114	-0,417	-0,309	0,121	0,008	-0,184
	Высота наземной части одного проросшего зерна	-0,189	-0,273	0,341	-0,204	-0,268	-0,317	-0,040	-0,207
	Энергия прорастания семян	0,150	-0,057	0,320	0,064	-0,088	0,077	0,404	0,231
	Вес сухой наземной биомассы	0,598	0,147	-0,098	0,235	-0,137	0,130	-0,026	0,111

ный номер варианта опыта (ВО¹), соответствующий номеру ТСВ, букву повторности и дату учета показателей.

Вручную раскладывали на ложе семена пшеницы на расстоянии не более 0,5 см друг от друга в каждом ОБ. В ходе эксперимента чашки Петри одного регистрационного номера ВО ставили друг на друга, а верхнюю чашку накрывали пустой чашкой Петри.

Для сравнения результатов эксперимента в качестве питательной среды в ВО №21 использовали дистиллированную воду.

Выборка семян в каждом сорте пшеницы для каждого ВО составляла 50-100 штук зёрен. Повторность опытов – трёхкратная. Таким образом, с каждым сортом пшеницы получился 21 вариант опыта с трёхкратной повторностью.

Оценку, характеристику и учет семян при определении скорости всхожести и энергии прорастания проводили в установленные сроки от одного до семи суток. День закладки семян на проращивание и день подсчёта энергии прорастания или всхожести считали за одни сутки.

Всхожесть семян оценивалась по критериям оценки качества проросших семян, указанным в п.4.14. - 4.17. настоящего ГОСТа. За результат анализа принимали среднее арифметическое значение результатов всех повторностей каждого ВО. Результаты опытов округляли до десятых долей процента, а результаты, выраженные числовыми значениями, до сотых. Результаты всех измерений, взвешиваний и расчётов заносили в таблицы. Сводные результаты влияния техногенеза на качественные характеристики семян пшеницы представлены в таблице 1.

На основании полученных результатов ВО с использованием двух сортов пшеницы были построены гистограммы, отражающие зависимость

качественных характеристик семян пшеницы от количественного состава ТСВ в ВО (гистограммы 1 и 2).

У сорта пшеницы (I) сравнение результатов в ВО показало, что в точках №1,4,6,7,8,9,10,12,15, и 16 высота наземной части равна или выше характерной для города, а вот образование биомассы превышает городской результат только в двух ВО, это №9 и 10, что свидетельствует о невысокой стойкости данного сорта пшеницы к имеющимся в снеговой воде ингредиентам. Ранее нами уже отмечалось, что точку ПСП² №13, в которой соотношение ингредиентов близко по составу к показателям, характерным для города Омска (сообщение первое, табл. 2), мы выделили как фоновую концентрацию.

Сравнивая результаты ВО сорта пшеницы (II), отметили, что высота и биомасса наземной части близки к результатам фона (за исключением вариантов № 2,3,6,9 по высоте и № 7 – по биомассе). Самые низкие результаты по высоте наземной части стебля отмечены в ВО № 5, 7,11,15,19, а по образованию биомассы – ВО № 15 и 19. Это говорит о том, что не во всех ВО высота наземной части оказала влияние на образование наземной биомассы пшеницы. А в ВО №7 результат получился крайне противоположный: при небольшой высоте наземной части стебля пшеницы данный ВО имеет самый высокий результат образования наземной биомассы. Этот факт можно объяснить наличием в снеговой воде данного ВО самого большого содержания ионов аммония, известного как токсикант и в то же время стимулирующего накопление биомассы растений.

Снижение результатов качественных характеристик в ВО обоих сортов пшеницы, находящихся в одинаковых условиях, можно объяснить избыточным содержанием сульфат-ионов, значительно подкисляющих и повышающих значение pH и

в отдельных случаях – электропроводность снеговой воды, что способствует потере многих элементов в зерне пшеницы (таких, как Ca, Mg, Se) и появлению токсических Hg, Al и других соединений, в том числе их радиоактивных изотопов.

При сравнении результатов ВО обоих сортов пшеницы (табл.1) было установлено, что у сорта (II) в сравнении с сортом (I) результаты качественных характеристик отличаются друг от друга. Примером может служить ОВ № 5 обоих сортов. У пшеницы сорта (I) высота наземной части равна 67,31%, а образование наземной биомассы составляет 73,07%: в противоположность у сорта (II) 91,51% и 92,37% соответственно. В связи с этим хотелось бы отметить, что в большинстве ВО сорт (II) в результате техногенной нагрузки показывает более высокие результаты качественных характеристик и высокую устойчивость к воздействию данных концентраций загрязняющих веществ, чем сорт (I). Это объясняется генотипическими особенностями сорта, а именно его селекционной ценностью.

Так, различия между этими сортами оказались недостоверными ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$) по показателям «скорость всхожести» и «вес сухой наземной биомассы» и достоверными ($t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$) по «высоте наземной части растения» и «энергии прорастания семян» при 1%-ном уровне значимости критерия Стьюдента (таблица 2).

Результаты корреляционного анализа позволили выявить наличие достоверно отрицательного влияния на скорость всхожести семян пшеницы у сорта Памяти Азиева окислов азота, и у сорта пшеницы Терция – сульфат-иона при 5%-ном уровне значимости критерия Стьюдента ($t_{\text{факт}} > t_{\text{теор}}$), а также достоверно сильного положительного влияния ($p < 0,01$) иона аммония на показатель веса сухой наземной части растения (табл.3).

Вывод

Таким образом, в городских условиях с развитой промышленностью на фоне значительных колебаний по уровню аэротехногенного загрязнения, по данным анализа снеговой воды, наиболее загрязненными оказались участки города, расположенные у автомагистралей и в санитарно-защитных зонах предприятий энергетики и химической промышленности. Достаточно эффективным для практических целей может быть использование в качестве биоиндикатора на качество снеговой

воды широко районированных сортов яровой пшеницы.

Примечания

1. ВО¹ – вариант опыта.
2. ПСП² – проба снежного покрова.
3. ПДК³ – предельно допустимая концентрация.
4. СМС⁴ – синтетические моющие средства.
5. ТСВ⁵ – талая снеговая вода.
6. (I) – сорт пшеницы Памяти Азиева.
7. (II) – сорт пшеницы Терция.

Библиографический список

1. Государственный стандарт Союза ССР «Семена сельскохозяйственных культур» Часть 2. ГОСТ 12038–84 взамен ГОСТ 12038–66, раздел Методы определения всхожести.
2. Евсеева Т. Т., Фролова Н., Куприянова Е. Биоиндикация: от методов до методологии защиты окружающей среды. e-mail: evseeva@ib.komisc.ru.
3. Ильин В. Б. Природный статус ТМ в почвенном покрове на юге Западной Сибири // Сибирский вестник с/х науки. 2004. №1 С.13-19.
4. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова: книга-монография. М.: Наука, 1985. С.359.
5. Малина В.П., Шленская Н. М. Тяжелые металлы в атмосферном воздухе и их влияние на зелёные насаждения в городских условиях. // Хранение и переработка сырья. 1999. №11. С. 55-56.
6. Потин С.Н. и др. Содержание ТМ в почве и растениях в пригородной зоне Омска // Почвы, удобрения, урожай: Сб. науч. трудов / Омский ГАУ. Омск. 1996. С. 38-39.
7. Тощев В.В., Загарская Н.Г., Коноплёв В.Д. (Гос. центр агрохимической службы «Свердловский») Изучение уровня загрязнения растительной продукции ТМ. // Агрохимический вестник. 2001. №5. С. 12-13.

НОРЫШЕВА Рита Александровна, аспирантка кафедры прикладной экологии и природопользования ОмГПУ.

КЛАК Наталья Владимировна, начальник лаборатории мониторинга загрязнения окружающего воздуха ГУ «Омский ЦГМС-Р».

ГРИГОРЬЕВ Аркадий Иванович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии и природопользования.

Дата поступления статьи в редакцию: 23.10.06 г.
© Норышева Р.А., Клак Н.В., Григорьев А.И.

Книжная полка

Алексеевский Н.И. Гидрофизика: учебник / Н.И. Алексеевский. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 176 с.

В учебнике изложены современные представления о механизмах гидрофизических процессов в реках, озерах и водохранилищах. Рассмотрены основные закономерности процессов перемешивания, смешения, транспорта речных наносов, движения влаги в зоне аэрации и толще снега, тепловых процессов с учетом физических свойств воды.

Для студентов высших учебных заведений. Может быть полезен для специалистов, изучающих физические механизмы разнообразных гидрологических процессов.

Курошев Г.Д. Геодезия и топография: учебник / Г.Д. Курошев, Л.Е. Смирнов. – М.: ИЦ «Академия», 2006. – 192 с.

В учебнике описаны основные этапы истории развития геодезических измерений и топографических съемок. Приведены общие сведения о погрешностях измерений, правила и методы измерения углов и расстояний, решения задач по определению плановых координат и высот пунктов местности; описание наиболее распространенных приборов, применяемых для проведения полевых наземных и аэротопографических съемок; содержание топографических карт.

Для студентов высших учебных заведений.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЧВЕННЫХ КОНСТАНТ

Исследована зависимость основных почвенных констант от гранулометрического состава и содержания гумуса. Установлено, что для почв, близких по генезису и минералогическому составу, гидрологические и диэлектрические константы могут быть выражены с помощью линейных регрессионных уравнений. При этом диэлектрический метод дает лучшую корреляцию с содержанием глины и гумуса, чем гидрофизические методы.

Определение влажности почв на больших территориях составляет важную задачу климатологии. Для дистанционного определения влажности с космических аппаратов микроволновыми методами необходимо иметь данные о диэлектрических характеристиках почв. Известно, что при положительных температурах почвенная влага может находиться в двух состояниях — связанном и свободном. Связанная вода, находящаяся под действием адсорбционных сил, имеет меньшую диэлектрическую проницаемость, чем свободная вода. В зависимости от величины удельной поверхности почвы связанная вода может составлять от единиц процентов до 20% и выше. Именно определение количества связанной воды является одной из целей проведения измерения диэлектрических свойств почв для задач дистанционного зондирования.

Адсорбционные свойства почвы характеризуют максимальной гигроскопичностью (МГ) — максимальным количеством влаги, которое может быть поглощено почвой из воздуха при заданной его влажности. Пленка адсорбированной воды на поверхности почвенных частиц может составлять несколько мономолекулярных слоев [1]. Эта часть влаги называется прочносвязанной. Энергия связи с адсорбирующей поверхностью каждого следующего слоя уменьшается. Внешние слои связанной воды притягиваются с меньшей силой, и эта влага называется рыхлосвязанной.

Наибольшее количество прочносвязанной воды, которое может содержаться в грунте, называется максимальной адсорбционной влагоемкостью (МAB). Эта величина обычно меньше МГ. Рыхлосвязанная вода по своим свойствам занимает промежуточное положение между свободной и прочносвязанной водой. Наибольшее количество связанной воды, включающей как рыхло-, так и прочносвязанную, которое может иметься в почве, называется максимальной молекулярной влагоемкостью (ММВ). Из этих трех характеристик наиболее просто определяется на практике максимальная гигроскопичность. Однако эта величина позволяет лишь приблизительно определять количество связанной воды. В некоторых почвах из-за появления пленочной влаги в углублениях на

поверхности почвенных частиц МГ может значительно превышать МAB [2].

Максимальное количество связанной воды, определяемое диэлектрическим методом, находится как влажность, соответствующая переходу от отрезка прямой линии, аппроксимирующего зави-

симость показателя преломления ($n = \sqrt{\epsilon}$) почвы от влажности, когда вся вода является связанной, к отрезку прямой, аппроксимирующему эту зависимость при значениях влажности, когда в почве появляется связанная вода. Назовем эту величину МКСВ — максимальное количество связанной воды. На рис. 1 эта влажность обозначена через W_1 . Из экспериментально измеряемых зависимостей практически не удается определить количество прочносвязанной воды, в основном, по причине недостаточно высокой точности диэлектрических измерений в микроволновом диапазоне. Судя по всему, МКСВ наиболее близко по значению к ММВ. К сожалению, измерение ММВ производится в редких случаях, и в нашем распоряжении отсутствовали почвенные образцы, для которых были бы измерены значения ММВ.

Общеизвестно, что свойство почв удерживать влагу в связанном состоянии зависит от содержа-

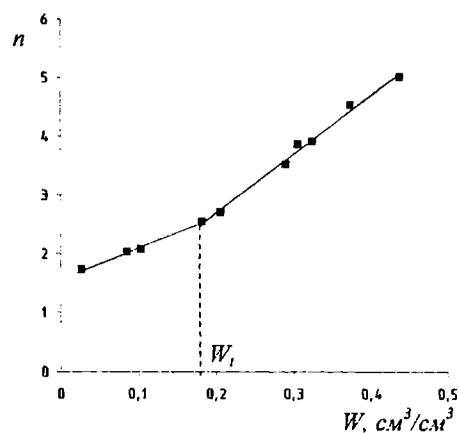


Рис. 1. Зависимость действительной части показателя преломления почвы от объемной влажности. W_1 — максимальное содержание связанной воды

Таблица 1

Измеренные [5] и расчетные по формуле (1) значения гидрологических констант

Удале- № разреза	Глубина, см	Глубс, %	Физ. глина (<0,01 мм), %	МГ				ВЗ				ВРК				НВ			
				А	В	Расчетные	Измеренные	А	В	Расчетные	Измеренные	А	В	Расчетные	Измеренные	А	В	Расчетные	Измеренные
Залежь некосная, 4/99	0-10	9,81	54	0,519	0,147	13,1	13,2	0,775	0,222	19,7	19,8	2,02	0,29	35,8	36,1	2,53	0,36	44,7	45,1
	40-50	5,63	63			12,2	11,7			18,4	17,6			29,7	26,5			37,1	33,1
	80-90	1,64	64			10,3	10,3			15,5	15,5			21,9	23,0			27,4	28,8
Залежь косная, 3/99	0-10	9,77	58	0,505	0,133	12,6	12,7	0,762	0,199	19,0	19,1	2,06	0,26	35,1	36,0	2,53	0,33	43,8	45,0
	40-50	5,31	66			11,4	11,8			17,2	17,7			28,0	26,6			35,1	33,3
	80-90	1,51	68			9,8	10,0			14,7	15			20,6	21,6			26,1	27,6
Пашня, 7 лет, черный пар, 2/99	0-10	8,37	54	0,480	0,148	12,0	12,4	0,721	0,223	18,1	18,6	1,58	0,29	28,8	30,3	1,96	0,36	36,0	37,9
	40-50	5,69	63			12,1	11,9			18,1	17,9			27,2	26,3			34,0	32,9
	80-90	1,53	66			10,5	10,6			15,8	15,9			21,4	22,2			27,0	28
Пашня, 46 лет, черный пар, 5/99	0-10	7,32	62	0,425	0,140	11,8	12,1	0,636	0,211	17,7	18,2	1,63	0,28	29,2	29,8	2,04	0,35	36,5	37,2
	40-50	5,79	64			11,4	11,2			17,2	16,8			27,3	26,6			34,1	33,2
	80-90	1,65	68			10,2	10,3			15,4	15,5			21,6	21,0			27,0	26,2
Пашня, 61 год, черный пар, 7/99	0-10	7,1	61	0,346	0,150	11,6	11,8	0,524	0,225	17,5	17,7	1,59	0,30	29,6	30,4	1,99	0,38	37,0	38,0
	40-50	5,16	64			11,4	11,4			17,1	17,1			27,4	26,8			34,3	33,5
	80-90	1,73	68			10,8	10,8			16,2	16,2			23,2	22,9			28,9	28,6
Пашня, 76 лет	0-10	7,09	61	0,435	0,139	11,6	11,7	0,659	0,208	17,4	17,6	1,72	0,28	29,1	30,1	2,16	0,35	36,4	37,6
	40-50	4,81	65			11,1	11,1			16,7	16,7			26,3	25,7			32,9	32,1
	80-90	1,54	69			10,3	10,2			15,4	15,3			21,8	21,7			27,2	27,1
Пашня, 106 лет	0-10	7,03	67	0,364	0,140	11,9	11,7	0,484	0,212	17,6	17,6	1,13	0,28	26,6	29,0	1,84	0,35	36,3	36,3
	40-50	5,34	68			11,4	11,3			17,0	17			25,0	26,6			33,5	33,2
	80-90	1,43	70			10,3	10,3			15,5	15,5			21,1	21,1			27,0	26,4

Измеренные и рассчитанные по формуле (1) значения МГ и МКСВ четырнадцати исследованных почв

Почва, горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Физ. глина, %	МГ измер., г/г	МКСВ измер., г/г	НВ измер., г/г	МГ/НВ		МКСВ/НВ	
							Измер.	Расчетн.	Измер.	Расчетн.
Черноземо-луговой омский (территория агробиостанции ОмГПУ)										
A ₁	0-10	6,6	36,1	7,3	11,8	38,7	0,19	0,19	0,30	0,29
C	60-70	0,6	43,9	5,4	7	32,2	0,17	0,20	0,22	0,23
Чернозем курский (заповедник «Каменная степь»)										
пашня A ₁	0-10	5,1	56,1	11,7	21,6	43,1	0,27	0,28	0,50	0,37
целина A ₁	0-10	7,7	54,1	11,4	20,4	53,6	0,21	0,28	0,38	0,40
Почвы Эвенкии (долина реки Кочечум)										
Гранузем палевый, B	15-20	0,3	4,35	3,4	2,7	30,1	0,11	0,02	0,09	0,03
Криозем гомогенный, B	25-30	2,3	20,5	11,8	7,4	52,3	0,23	0,10	0,14	0,14
Криозем тиксотропный, B	45-59	1,2	28,4	10,5	5,6	30,5	0,34	0,13	0,18	0,16
Почвы стационара Ин-та леса СО РАН «Погорельский Бор» (Красноярский край)										
A ₁	0-10	6,03	38,1	5,4	7	36,9	0,15	0,20	0,19	0,29
AB	10-20	5,53	39,8	5,8	7	36,7	0,16	0,20	0,19	0,29
B ₁	40-50	0,52	34,1	4,5	5	28,6	0,16	0,16	0,17	0,18
Почвы Туруханского района Красноярского края (пункт Комса)										
П1 A ₁	5-10	12,8	13,5	7,4	19	61,4	0,12	0,11	0,26	0,22
П1 A ₂	10-15	10,3	12,1	6,7	8	53,7	0,12	0,09	0,21	0,20
П1 B ₂	20-40	10,4	11,9	1,3	5	24,2	0,05	0,06	0,31	0,25
П2 A ₁	5-10	8,3	18,1	4,7	9	34,9	0,13	0,12	0,15	0,21

ния гумуса, физической глины и ила (чем выше содержание тонкодисперсной фракции и органических соединений, тем больше количество связанной влаги) [3].

Целью настоящей работы было исследование зависимости основных почвенных констант от гранулометрического состава и содержания гумуса. Было установлено, что МКСВ зависит от содержания гумуса и физической глины (почвенных частиц размером менее 0,01 мм), причем эта связь с хорошей точностью выражается простым регрессионным уравнением [4]:

$$W_c = Ah + Bg, \quad (1)$$

где h и g – содержание гумуса и содержание физической глины в весовых процентах от общей сухой массы соответственно; A и B – коэффициенты, подбираемые методом наименьших квадратов. Эти коэффициенты для разных типов почв отличаются несущественно.

Анализ литературных данных, в которых приведены сведения о гранулометрическом составе, содержании гумуса и значения почвенно-гидрологических констант, показывает, что зависимости, подобные (1), имеются и для других констант. Так, значения МГ, ВЗ (влажность устойчивого завядания), ВРК (влажность разрыва капиллярных связей) и НВ (наименьшая полевая влагемкость) почв Курской области, приведенные в работе [5], можно представить как результаты вычислений по формулам вида (1) с подобранными для каждой из констант значениями коэффициентов A и B . На первом этапе коэффициенты регрессионного

уравнения подбирались для каждого разреза методом наименьших квадратов так, чтобы расчетные значения констант наилучшим образом соответствовали измеренным. Во внимание принимались данные о всех почвенных слоях до глубины 90 см. Результаты обработки данных приведены в табл. 1, причем для сокращения объема приведены данные лишь о трех слоях из каждого разреза. Видно, что влияние содержания физической глины на ту или иную константу, определяемое коэффициентом B , остается практически одинаковым для всех разрезов, в то время как влияние гумуса уменьшается с увеличением времени обработки угодья (уменьшается коэффициент A). Это явление можно было бы трактовать как уменьшение адсорбционных свойств гумуса при длительной обработке почв, если бы оно наблюдалось только для поверхностных слоев почв, непосредственно подвергающихся обработке.

Соотношение между рассчитанными и измеренными значениями показано на рис. 2, где для каждого значения констант каждого почвенного образца приведены два этих значения. Имеются лишь небольшие отклонения точек от прямой линии, что свидетельствует о хорошем совпадении измеренных и расчетных значений. Относительная разность для МГ и ВЗ в среднем не превышает 2%, а максимальные отклонения составляют 7%. Несколько большее различие между расчетными и измеренными значениями получается для ВРК и НВ – в среднем не более 4%, а максимальные – 10-12%.

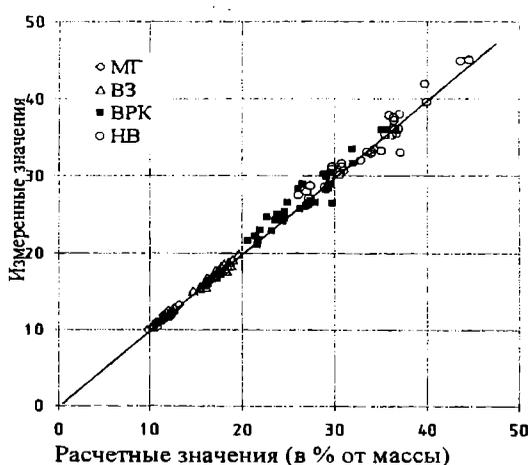


Рис. 2. Сопоставление значений гидрологических констант – измеренных [5] и рассчитанных по формуле (1) с использованием индивидуальных для каждого разреза коэффициентов уравнения линейной регрессии А и В (см. табл. 1)

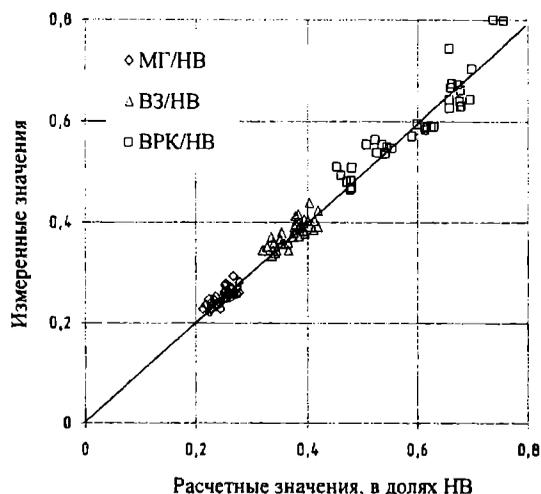


Рис. 3. Сопоставление нормированных на НВ значений гидрологических констант – измеренных [5] и рассчитанных по формуле (1) с использованием одинаковых для всех разрезов коэффициентов уравнения линейной регрессии: для МГ/НВ: $A=0,0104$, $B=0,0031$; для В3/НВ: $A=0,0136$, $B=0,0461$; для ВРК/НВ: $A=0,0416$, $B=0,0061$

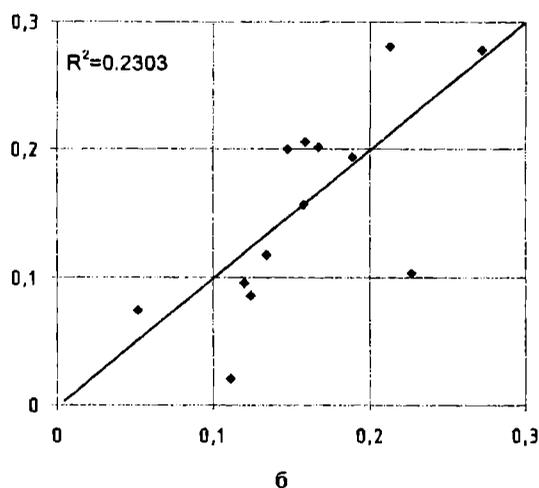
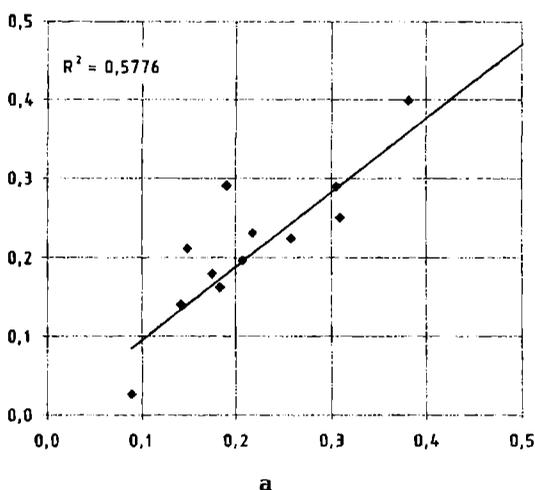


Рис. 4. Зависимость рассчитанных по формуле (1) значений МКСВ/НВ (а) и МГ/НВ (б) от измеренных для всех 14 исследованных почв. R^2 – достоверность аппроксимации. Коэффициенты уравнения регрессии: для МКСВ/НВ: $A=0,0165$, $B=0,0050$; для МГ/НВ: $A=0,0046$, $B=0,0045$

В почвоведении принято выражать гидрологические константы МГ, ВЗ и другие в долях от НВ. Если значения гидрологических констант, приведенные в [5], выразить в долях от НВ, то хорошее совпадение расчетных и измеренных значений получается при использовании даже одинаковых значений коэффициентов А и В для всех разрезов. На рис.3 показаны результаты сопоставления расчетных и измеренных значений. Несмотря на то, что значения МГ, выраженные в долях НВ, изменяются для разных почв от 0,22 до 0,29, то есть варьируется в пределах 30%, относительная разность измеренных и рассчитанных по формуле (1) значений в среднем составляет 4% и не превышает 9,5%. Значения ВЗ в разных образцах варьируются в пределах 32%, а различия между измеренными и рассчитанными – того же порядка, что и для МГ. Таким образом, учет содержания глины и гумуса в каждом конкретном образце позволяет уточнить оценку гидрологических констант, выражаемых через НВ.

С целью выявления взаимосвязи между диэлектрическими и гидрологическими характеристиками почвогрунтов нами были исследованы 14 образцов,

для которых установлены гранулометрический состав, содержание гумуса, значения максимальной гигроскопичности (адсорбционным весовым методом), наименьшая полевая влагемкость и максимальное содержание связанной влаги (радиофизическим методом). Значения этих величин приведены в табл.2.

Исследуемые почвы можно разделить на две группы – легкие, средние и тяжелые суглинки средней полосы и более легкие почвы (связанно-песчаные и супесчаные) северных районов (Эвенкия и Туруханский район). Эвенкийские почвы из зоны вечной мерзлоты существенно отличаются от других почв высокими значениями МГ. Поэтому расчет МГ/НВ по формуле (1) с применением одинаковых для всех 14 почв коэффициентов уравнения регрессии (см. рис. 4) дает для мерзлотных почв существенно меньшие значения. Для остальных почв, включая и почвы Туруханского района, наблюдается удовлетворительное совпадение расчетных и измеренных значений МГ/НВ. При этом значения МКСВ/НВ аппроксимируются линейной зависимостью гораздо лучше. Величина достоверности аппроксимации составляет для этих значе-

ний 0,578, тогда как для значений МГ/НВ эта величина равна только 0,23.

Эвенкийские почвы отличаются от других исследованных почв тем, что диэлектрические характеристики связанной воды практически не изменяются при увеличении количества связанной воды [8]. Такое невозможно при формировании на поверхности почвенных частиц мономолекулярных слоев. Возможно, связанная вода в таких почвах формируется гроздьями на гидрофильных центрах, которых здесь больше, чем в почвах средней полосы.

Как показано в [9], максимальное количество связанной воды близко к влажности завядания. Поскольку отношение ВЗ/МГ — величина, изменяющаяся для разных почв не очень значительно (в [2] показано, что ВЗ/МГ = 1,5±2), отношение МКСВ/МГ — также не очень сильно изменяющаяся величина. При сопоставлении этих значений для исследованных почв средней полосы установлено, что отношение зависит от содержания в почве глины и гумуса. Эта зависимость с величиной достоверности аппроксимации, равной 0,69, выражается регрессионным уравнением

$$M_{KCB} / M_{Г} = 0,040h + 0,022g + 0,302, \quad (2)$$

где используемые обозначения те же, что и в (1). Минимальное значение МКСВ/МГ, равное 1,1, получено для почвы стационара «Погорельский Бор» с наименьшим содержанием гумуса (0,52%), а максимальное значение, равное 1,8, получено для курского чернозема с содержанием гумуса 7,7 %.

Таким образом, установлено, что на значения гидрологических констант существенное влияние оказывает содержание гумуса, причем для почв, близких по генезису и минералогическому составу, гидрологические константы достаточно точно могут быть выражены с помощью линейных регрессионных уравнений.

Библиографический список

1. Квливидзе В.И. //Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах. — М.: МГУ, 1988. — С.32.

2. Кауричев И.С. Почвоведение. /Кауричев И.С., Панов Н.П. — М.: Агропромиздат, 1989. — 719 с.

3. Роде А.А. Почвоведение. /Роде А.А., Смирнов В.Н. — М.: Высшая школа. 1972. — 479 с.

4. Беляева Т.А., Бобров А.П., Бобров П.П., Галеев О.В., Мандрыгина В.Н. Определение параметров моделей диэлектрической проницаемости почв с различной плотностью и различным содержанием гумуса по данным экспериментальных измерений в частотном диапазоне 0,1-20 ГГц //Исследование Земли из космоса. 2003. № 5. — С. 28-34.

5. Королев В.А. Изучение физических свойств черноземов обыкновенных при длительном сельскохозяйственном использовании. //Почвоведение. 2002. № 6. — С. 697-704.

6. Агрохимическая характеристика почв СССР. Казахстан. — М.: Наука. 1968. — 310 с

7. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. — М.: Высшая школа. 1973. — 399 с.

8. Беляева Т.А., Бобров П.П., Ивченко О.А., Мандрыгина В.Н. Зависимость диэлектрической проницаемости связанной воды в почвах от ее количества /Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. Выпуск 3. Том II. — М.: ИКИ РАН, ООО «Азбука-2000», 2006. — С. 281-286.

9. Комаров С.А., Миронов В.А. Микроволновое зондирование почв. — Новосибирск: Наука. — 2000.

БОБРОВ Павел Петрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики.

ИВЧЕНКО Олеся Анатольевна, ассистент кафедры общей физики.

КРАСНОУХОВА Валентина Николаевна, кандидат физико-математических наук, доцент.

ПИРОГОВА Тамара Ивановна, кандидат биологических наук, доцент.

Дата поступления статьи в редакцию: 15.11.06 г.

© Бобров П.П., Ивченко О.А., Красноухова В.Н., Пирогова Т.И.

Книжная полка

Коренные еловые леса: биоразнообразие, структура, функции / К. С. Бобкова, Э. П. Галенко, С. В. Затирова; отв. ред. К. С. Бобкова, Э. П. Галенко; Ин-т биологии. — СПб.: Наука, 2006. — 20 л.

В монографии изложены результаты многолетних стационарных и маршрутных исследований коренных еловых лесов. Охарактеризованы их основные типы в притундровой зоне, северной и средней подзонах тайги Европейского Северо-Востока. Охарактеризованы механический состав, химические свойства почв, радиационный режим, температура, влажность воздуха внутри фитоценоза и др.

Для специалистов — экологов, биологов, работников лесного хозяйства, физиологов растений, студентов университетов и лесных вузов.

ЛОКАЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО СТОКА РЕК — ОДИН ИЗ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫХ МЕХАНИЗМОВ ТЕКТониКИ ЗЕМЛИ

Впервые рассматривается распределение на поверхности Земли локализаций (очагов) непрерывного слива из устьев больших рек на окраинах континентов, потоков разрушенных и измельченных горных пород, оседающих на шельфе и создающих очаги местного повышенного давления на кору и астеносферу планеты.

По данным речной гидрометрии, все реки планеты непрерывно сносят в Мировой океан продукты разрушения горных пород в виде илистых, глинистых, песчаных и органических частиц, а также растворенных солей. Твердый сток многих больших и средних рек (взвешенные в воде и донные наносы) измеряется из года в год в нескольких тысячах створов во всем мире специальными приборами — батометрами в течение уже более ста лет. Опубликованы монографии о твердом стоке рек [1, 2], построены карты мутности воды (в г/м³), в материалах Водных кадастров всех развитых стран имеются подробные сводки данных о количестве материала, сносимого с суши в океан.

Точность учета твердого стока самых больших рек оказывается весьма низкой из-за технических трудностей гидрометрии. Поэтому приходится делать приближенные оценки, используя значения, восстановленные по коррелятивным связям. В гидрологической литературе существуют большие различия в оценках годового стока наносов с водосборных площадей крупнейших рек Земли. Например, твердый сток Амазонки, по Праде [3, с. 317], равен 2,4 - 3 млрд т в год, по А.С. Монину [4], норма твердого стока Амазонки в устье составляет 0,9 млрд т. В табл. 1 для иллюстрации различия в оценках приведены значения годовых норм твердого стока по данным разных библиографических источников.

Таблица 1
Различия в оценках твердого стока

Река	Норма годового стока наносов, млн т/год
Амазонка	900 - 2400 - 3000
Енисей	13 - 16,6 - 25 - 30
Лена	7 - 14 - 15
Обь	13 - 15 - 50
Амур	25 - 57 - 62
Инд	450 - 635
Северная Двина	4,5 - 10
Нил	62 - 100
Амударья	94 - 130 - 217

Суммарный твердый сток всех рек гидрологи оценивают от 14 до 27 млрд т. По А.П.Лисицыну [5], твердый сток всех рек составляет 22,6 - 27 млрд т, а сток солей, растворенных в воде, равен 3,2 млрд т. Г.Н.Смирнов [6, с. 318] оценивает твердый сток рек в 18,5 млрд т в год. По данным Р. Гарелле и Р.Макензи, "ежегодно 250 млрд т материала переносится в акватории Мирового океана. Из них 85-90% осадочных обломков несут реки. Из всего этого громадного объема около 80% материала осаждаются в пределах континентальных окраин и только 20% его выносятся в пределы глубоководных бассейнов и равнин" [7, с.15]. Оценки специалистов различаются в 8-10 раз! Твердый сток только двух рек - Хуанхэ и Ганга с Брахмапутрой Bruce Peter Luwendyk [8] оценивает в 4,5 млрд т. в год. В дальнейших расчетах будем считать годовой твердый и ионный сток всех рек планеты равным 25 млрд т., что соответствует объему 57 млрд м³ при средней плотности рыхлых осадочных пород 2,30 т/м³. Скорее всего, эта оценка преуменьшена.

Незначительная доля суммарного стока твердых частиц и растворенных солей в океан не попадает — она остается в бессточных областях пустынь, накапливаясь в котловинах бессточных озер — таких, как Арал, Балхаш, Каспий. Площадь областей внутреннего стока и бессточных областей равна 31 млн кв.км. По Шубаеву [9], только 2% суммарного стока рек приходится на области внутреннего стока. Средняя высота всех континентов равна 850-870 м. Объем всех континентов над уровнем океана равен 0,870·149·10⁶ км³ = 130 млн км³. Если разделить этот объем на объем годового стока территории материка по рекам (57·10⁹ м³), получим всего 2,3 млн лет. При других значениях плотности горных пород, средней высоты континентов, суммарного твердого стока всех рек и т.д. время сноса объема континентов получится равным 12-15 млн лет.

Таким образом, за 2 — 12 млн лет с материков сносится на дно океана объем разрушенных горных пород, равный той части объема всех континентов, которая располагается выше уровня Мирового океана. Следовательно, только за постплиоценовое время (последние 25 млн лет) рыхлые осадочные породы (глинистые сланцы, разрушенные песчаники, известняки, глины, пески, илы) обновилась

Таблица 2
 Сток воды и твердый сток наиболее многоводных и некоторых других рек планеты

Река	Площадь водосбора, тыс. кв. км	Норма стока, куб. м/с	Объем стока воды в средний год, млрд м ³	Мутность воды, г/м ³	Годовой сток наносов, млн т/год
Амазонка	7180	220000	7000	300	2000
Конго	3690	46000	1450	(300)	(435)
Янцзы	1808	34000	1070	500	525
Енисей	2580	19600	618	50	13
Миссисипи	3268	19000	599	300	(180)
Парана с Уругваем	2970	17500	550	(300)	(165)
Лена	2490	16400	520	30	14
Ориноко	1086	29000	910	(300)	(273)
Святого Лаврентия	1290	14000	440	(50)	(22)
Ганг	1120	13000	410	(500)	(205)
Иравади	430	14000	442	(500)	(221)
Обь	2990	12600	397	34	13
Брахмапутра	935	12100	382	(500)	(191)
Меконг	810	13200	416	450	187
Амур	1855	11500	363	165	62
Маккензи	1804	11000	347	30	(10)
Нигер	2092	9300	293	(300)	(88)
Волга	1360	7960	251	100	20
Колумбия	670	8470	267	(300)	(80)
Сицзян	437	8000	252	(500)	(126)
Салуин	325	6700	211	(500)	(105)
Юкон	855	6500	205	(30)	(6)
Дунай	817	6430	203	(100)	(20)
Парагвай	1150	4000	126	(300)	(38)
Печора	322	4020	127		6,5
Инд	980	3850	121	2000	500
Сев. Двина	363	3540	112		4,3
Сан-Франсиску	600	3300	104	(300)	(31)
Замбези	1330	3400	107		24,6
Колыма	643	3900	123		1,1
Нева	190	2630	83		0,82
Нил	2870	2600	82		62
Шатт-эль-Араб	1048	2080	65	(300)	(20)
Амударья	309	2000		3000	130
Сырдарья				1150	25
Днепр	504	1700	54		2,2
Хуанхэ	771	1800	57	26500	1505
Нельсон	1072	2700	85	(30)	(2,5)
Терек, Сулак и Кура				2000	77
Итого	55014		44 700		7300

от 2 до 12 раз, поменявшись в астеносфере местами с расплавленной магмой, излившейся в виде лав внутри коры планеты и на ее поверхность. Однако древние кристаллические платформы практически не разрушаются со времен архея. Площадь платформ составляет 57% от площади суши, а это означает, что расчетная частота обновления мате-

риала осадочных пород увеличивается по меньшей мере вдвое (от 4 до 24 раз), если принять равными мощности толщ кристаллических и осадочных пород.

Снос разрушенных ветром, водой, льдом горных пород в океаны происходит с окраин континентов, но материал измельченных горных пород

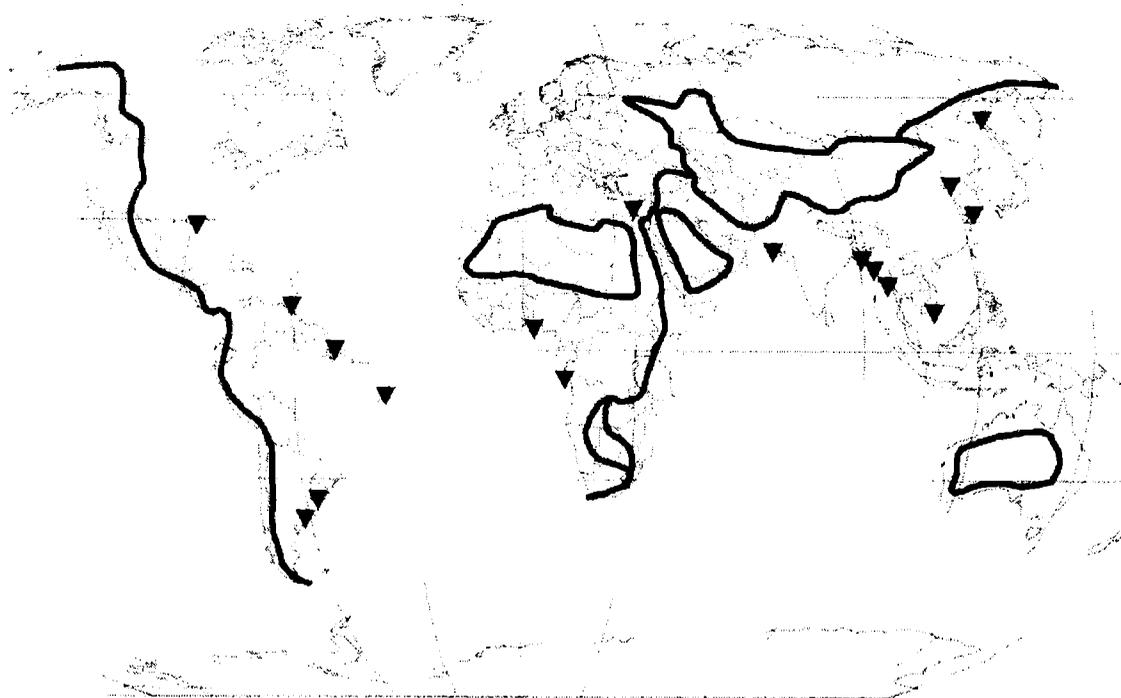


Рис. 1. Линия Мирового водораздела, области внутреннего стока и бессточные области (внутри замкнутых контуров), а также локализации твердого стока рек, дающих наибольший вклад в общую массу терригенного материала

распределяется по длине береговых линий материков вовсе не равномерно. Дело в том, что Мировой водораздел проходит очень несимметрично относительно геометрических осей материков (рис. 1).

В умеренном климатическом поясе (реки Канады и Сибири) мутность воды невелика ($30\text{--}50\text{ г/м}^3$). Это обусловлено большой облесенностью и заболоченностью водосборов, а также малыми уклонами поверхности равнин и большой долей в структуре площадей водосборов выходов на поверхность кристаллических пород (щитов). При построении глобальной схемы локализаций терригенных поступлений в океан из-за малых объемов твердого стока больших сибирских и канадских рек, несущих незначительное количество наносов, вкладом этих рек в суммарный сток горных пород по рекам можно пренебречь. В тропическом и экваториальном поясах, особенно в горных странах, где интенсивность эрозионных процессов наивысшая, мутность рек наибольшая — $2\text{--}5\text{ тыс. г/м}^3$, до 20 тыс. г/м^3 (Хуанхэ), а в среднем для дальнейших расчетов при отсутствии данных принято явно заниженное значение 300 г/м^3 .

Как показывают данные таблицы 2, крупнейшие реки мира дренируют 55 млн км^2 , что составляет от общей площади континентов (за вычетом площадей закрытых ледяными щитами Антарктиды, Гренландии, а также бессточных областей и областей внутреннего стока) более 50% поверхности континентов. Если вычесть из суммарной площади (55 млн км^2) ещё и водосборные площади рек северного склона Евразии и Северной Америки (реки Нева, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма, Маккензи, Юкон, Нельсон и другие), дающих в сумме пренебрежимо малую долю твердого стока рек планеты, получим, что всего около двух десятков больших рек планеты (их устья обозначены на рис. 1 треугольниками) транспортируют за год твердый материал массой около 7 млрд т. плюс 1 млрд т. солей с площади, равной 34 млн кв.

км, то есть с одной трети действующей площади континентов. Таким образом, ежегодно высота литосферных плит — Американских, Африканской и Евроазиатской — уменьшается на $0,5\text{ мм}$.

По закону сохранения материи ровно столько же горных пород должно добавляться за год на континентах при стабильном уровне Мирового океана в результате горообразовательных процессов. Спутниковые измерения последних десятилетий дают цифры того же порядка. Например, средняя линейная скорость горизонтального смещения плит составляет $0,5\text{--}1\text{ см/год}$ [10, с. 13], самые низкие скорости относительного движения плит наблюдаются в арктических областях Евроазиатской и Североамериканской плит ($0,3\text{--}0,5\text{ см/год}$) — в тех областях планеты, куда поступают практически прозрачные воды с южных склонов бассейна Северного Ледовитого океана и айсбергов Гренландии. Самые высокие скорости ($15\text{--}18\text{ см/год}$) относятся к перемещению на запад Южноамериканской плиты из-за пригрузки восточного ее края терригенными осадками, поступающими по Амазонке, Паране, Сан-Франсиску и Ориноко.

Скорости вертикальных движений земной коры иллюстрирует таблица 3 [11]. Обращает на себя внимание большая скорость погружения коры в эстуарии р. Ла-Плата, куда поступают наносы с водами Параны и Уругвая.

Непрерывный слив жидкой тверди, бывшей еще недавно частью континентов, частью литосферных плит, происходит в устьях рек локально, создавая местную пригрузку на астеносферу на небольших (порядка сотен тысяч кв. километров) площадях шельфа (континентального склона). Это не может не вызвать увеличения местного давления при непрерывном опускании твердого материала, что приводит к землетрясениям и вулканическим выбросам вещества из астеносферы. Увеличение давления в двадцати точках на поверхности планеты (фактически, конечно, не в точках, а на площадях

Скорости современных движений земной коры (11, с.24)
(Поднятия – знак "+", опускания – знак "-")

Таблица 3

Места наблюдений	Вертикальные перемещения, мм/год	Места наблюдений	Вертикальные перемещения, мм/год
Канада		Великобритания	
Квебек	0,9	Абердин	0,5
Галифакс	-4,3	Ливерпуль	-0,7
США		Египет	
Бостон	-4,5	Порт Саид	-4,8
Нью-Йорк	-4,2	Австралия	
Чарльстон	-5,7	Сидней	0,4
Майами	-4,8	Аргентина	
Сиэтл	-1,3	Буэнос-Айрес	-1,1
Сан-Франциско	-1,8	Ла-Плата	-10,0
Ла Холья	-1,1	Бирма	
Гонолулу	-2,1	Рангун	-0,1
Филиппинские острова		Индия	
Манила	-1,4	Бомбей	-0,2
Япония		Мадрас	-1,2
Исуоро	-1,0		
Абуратубо	-1,4		

в несколько тысяч кв. км) – всегда на окраинах материков - и вызывает процессы землетрясений и дрейфа континентов. На рис. 2 приведена карта эпицентров землетрясений, происшедших за интервал с 1961 по 1967 гг. [14, с.296]. Оценку тесноты зависимости между распределением мест слива жидкой тверди в океан и распределением цепей очагов землетрясений предоставляем сделать компетентным читателям.

Континентальные платформы – это не жесткие пластины. Соотношение толщины плиты и ее диаметра (40 км : 3000 км = 0,01) характерно для геометрии тонкого листа льда, "сала", образующегося на реке холодной осенней ночью. Толщина такого листа льда 1 см, а диаметр - 1 м. Это непрочная структура даже с учетом кривизны поверхности планеты. Во многих областях суши и океана толща рыхлых осадочных пород достигает мощности (толщины) первых десятков километров. Молодая океаническая кора имеет небольшую толщину, но у берегов континентов толщина ее достигает 10-15 км. При описании процессов образования осадков геологи уделяют большое внимание процессу абразии – разрушению морских берегов. Но реки сносят под уровень океана на два порядка больше горных пород, чем поставляет переработка берегов.

Толщи осадков, как показывает бурение (например, Кольская сверхглубокая скважина глубиной 12 км), обладают пористостью, насыщены водой; здесь на глубинах 8-10 км в воде при высокой температуре и огромном давлении существуют микроорганизмы, жизнь которых без воды невозможна. Вода пронизывает многокилометровые толщи рыхлых осадочных пород, которые накапливаются в течение десятков миллионов лет на дне морских заливов, озер, на шельфах континентальных плит. В случае потери равновесия или увели-

чения локальной нагрузки в береговых областях суши происходят оползни, обрушения массивов горных пород, опускание огромных масс вещества вниз. В некоторых случаях такие провалы суши с водными массами происходят, очевидно, не только на окраинах, но и внутри континентов (средиземные и внутренние моря – Азовское, Черное и Средиземное, Северный Ледовитый океан – и озера – такие, как Каспий, Арал и Балхаш).

В работе [12] приводятся десятки конкретных примеров опускания больших массивов суши во всем мире, в основном на побережьях морей и озер. Приведем лишь одну цитату из работы [12, с.5]: "...Северное Причерноморье опускается со скоростью 2-5 мм в год".

"Земная твердь приобретает свойства текучести", - пишет Е.Г.Мирлин [13] в статье "Вихри и смерчи в твердых оболочках Земли". Термины "вихрь" и "смерч", на наш взгляд, следовало бы заменить словами "медленное вязкое перемешивание". В основе концепции новейшего раздела геологии – глубинной геодинамики – лежит принцип нелинейности геолого-геофизической среды. Фор-

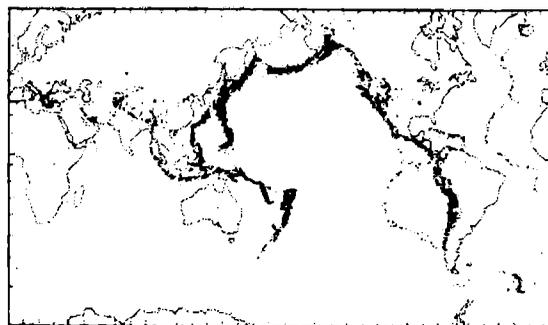


Рис. 2. Распределение землетрясений в период 1961-1967 годов [14, с. 296]

Возникновение землетрясений в связи с созданием водохранилищ

Плотина (водохранилище)	Река	Страна	Годы заполнения до НПУ	Масса воды, млрд т	Максимальная глубина, м	Дата землетрясения	Магнитуда
Койна (Шиваджисагар)	Койна	Индия	1961	2,8	100	10.12.1967	7,0
Кремаста	Ахелоос	Греция	1965	4,8	120	24.01.1966	6,3
Кастракион	Крикелитос	Греция	1969	1,0	100	1969	6,3
Кариба	Замбези	Замбия-Зимбабве	1958—1963	175,0	122	23.09.1963	6,25
Синьфыньянь	Синьфыньянь	Китай	1961	13,9	105	1961	6,1
Оровилл	Фетер	США	1968	4,4	204	1.08.1975	5,7
Уаррагамба	Уаррагамба	Австралия	1960	2,0	104	9.03.1973	5,4
Акосомбо (Вольта)	Вольта	Гана	1964—1967	165,0	109	11.1964	5,3
Порто Колумбия	Риу-Гранди	Бразилия	1973	1,5	50	24.11.1974	5,1
Вольта Гранде	Риу-Гранди	Бразилия	1973	2,3	31	24.11.1974	5,1
Бенмор	Уаитакки	Новая Зеландия	1963—1966	2,0	96	7.07.1968	5,0
Экумбене	Экумбене	Австралия	1958	4,8	106	18.05.1959	5,0
Гувер (Мид)	Колорадо	США	1935—1936	36,7	191	10.03.1940	5,0
Монтейнар	Драк	Франция	1962	0,3	125	25.04.1963	4,9
Байна-Башта	Дрина	Югославия	1965—1966	0,3	80	3.07.1967	4,8
Кажуру	Пара	Бразилия	1953—1959	0,2	21	23.1.1972	4,7
Канельес	Ногуэра	Испания	1960	0,7	132	9.01.1962	4,7
Сефидруда	Сефидруда	Иран	1962	1,8	80	2.08.1968	4,7
Пукаки	Пукаки	Новая Зеландия	1976	10,0	108	1978	4,6
Нурекская	Вахш	СССР	1972—1984	11,0	285	27.11.1972	4,5
Кафуз-Годж	Кафуз	Замбия	1973—1978	5,0	62	13.05.1978	4,2
Маникуаган-3	Маникуаган	Канада	1978—1975	10,4	96	23.10.1975	4,1

мирование ложа океанов, считают геотектоники, происходило и происходит в процессе перетекания вещества коры по расплаву горных пород — астеносфере — в форме вихрей, как неудачно называют специалисты медленное перемешивание пластичного материала — магмы и рыхлых горных пород — масштаба сотен и тысяч километров за десятки и сотни миллионов лет. "Скважина, пробуренная по Проекту глубоководного бурения в 30 км от оси океанического хребта в Северной Атлантике, прошла 600-метровую толщу из чередующихся слоев подушечных лав и рыхлых отложений, причем количество последних убывало с глубиной, пока они не исчезли совсем, уступив место сплошной лаве". [14, с. 313].

Океанологи и геологи считают причинами дрейфа континентов, который инструментально установлен благодаря геодезическим спутникам в конце XX века, тепловую конвекцию в недрах планеты (А. Вегенер, А. Холмс) или землетрясения (Дж. Оливер), однако первопричину тектоники и землетрясений никто из исследователей не смог выяснить. Предложены были гипотезы расширяющейся планеты, сжимающейся Земли; землетрясения и вулканическую деятельность объясняли обрушениями окраин континентов в океан, блужданием полюсов, изменением нагрузок ледяных щитов в периоды роста и распада покровных оледенений. Современные океанологи [14] признают

ся: "Правда, процессы, управляющие дрейфом, не были обнаружены...".

Рассмотрим теперь влияние антропогенной активности на тектонические проявления. В 1930-х гг. в США начали строить крупнейшие в мире плотины и создавать большие водохранилища, при заполнении которых нагрузка на толщу горных пород стала явно вызывать землетрясения. Давление воды на горные породы дна водохранилища (в кг/см²) практически в точности соответствует высоте столба воды (высоте плотины) в метрах, уменьшенной в 10 раз. Так, например, в озере Мид на реке Колорадо при высоте плотины Гувера 190 м давление на горные породы возросло на 19 атм, а на Нурекском водохранилище в СССР при высоте плотины 285 м нагрузка на породы дна увеличилась при заполнении чаши на 28 атм.

А.Б. Авакян [15, с. 106] пишет: "Предположение о зависимости землетрясений от водохранилищ впервые было высказано в 1945 г. Кардером на основании исследований, проведенных в районе водохранилища Мид, образованного на р. Колорадо плотиной Гувер. Оно имело объем около 35 км³ при глубине до 140 м и было тогда крупнейшим в мире. До его наполнения район считался практически сейсмическим. С 1937 г., когда водохранилище было наполнено до НПУ, сейсмическая активность района начала увеличиваться, и в 1939 г. произош-

ло землетрясение с магнитудой, равной 5. После этого сейсмическая активность в районе уменьшилась, но ощутимые землетрясения продолжают до настоящего времени. Так, в течение 10 лет после наполнения водохранилища на площади в 8 тыс. км² было зарегистрировано 6 тыс. локальных толчков".

Другим "примером изменения локальной сейсмичности может служить район Нурекского водохранилища. До его заполнения землетрясения в районе случались 3—4 раза в декаду, а сейсмичность района оценивалась в 8—9 баллов. При заполнении водохранилища в 1972 г. сейсмическая активность резко повысилась: в радиусе 5 км число слабых землетрясений увеличилось в несколько раз, а когда уровень воды повысился на 100 м, их число увеличилось до 30—40 в декаду; увеличилось их число и в зоне до 15 км от водохранилища" [15, с. 108]. В таблице 4 дана сводка, заимствованная из работы [15, с.110].

Резюмируя обзор провоцирования человеком локальных перемещений геологических пород в земной коре, сделаем вывод. Несмотря на то что мощность человечества на два порядка меньше, чем энергия климатической машины Земли (соответственно 10^{13} ГДж и 10^{15} ГДж), человечество (даже не человечество в целом, а строительная фирма) может вызвать сейсмические проявления, создавая дополнительную нагрузку на поверхность континентальной коры.

Рассмотрим снос реками твердого материала с Южноамериканской литосферной плиты, площадь которой примем равной 36 млн км², мощность — 40 км и среднюю высоту над уровнем океана — 580 м. Снос тверди здесь происходит, в основном, с запада на восток — в Атлантику. Основные поставщики — Амазонка (2 млрд т), Ориноко (0,3 млрд т), Парана с Уругваем (0,16 млрд т) и Сан-Франсиску (0,031 млрд т). Твердый сток Ориноко и Параны, вероятнее всего, занижен — мы приняли мутность для бассейнов этих рек такой же, как в бассейне Амазонки (300 г/м³). Если оценить пригрузку восточного края континентальной плиты только за счет этих четырех рек, получим за время существования Атлантики (120 млн лет) следующие цифры. При плотности пород 2,8 т/м³ масса всей (плавающей на магматическом расплаве астеносферы) плиты получится равной

$$40 \cdot 36 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \cdot 2,3 \text{ т} = 4 \cdot 10^{18} \text{ т.}$$

Суммарный снос тверди в Атлантику (только вышеназванные 4 реки) за 120 млн лет составляет $120 \cdot 10^6 \cdot 2,5 \cdot 10^9 \text{ т} = 3 \cdot 10^{17} \text{ т}$, то есть 300 000 триллионов тонн!

Пригрузка восточного края составляет $(3 \cdot 10^{17} / 4 \cdot 10^{18}) \cdot 100\% = 7\%$ массы Южноамериканской литосферной плиты. Вероятно, этого достаточно, чтобы Американская плита, сохраняя всегда наклон поверхности в сторону востока из-за пригрузки Атлантического побережья, поворачивалась вокруг эйлеровой оси, сдвигаясь на запад и юго-запад, а землетрясения в Чили и Перу происходили практически непрерывно. В этом прикидочном расчете, вероятнее всего, преувеличена масса плиты и преуменьшена масса твердого стока в Западную Атлантику.

Океанологи могут привести в качестве возражения тот факт, что твердый сток рек в океане разносится течениями на огромные расстояния, хотя известно, что в центральных областях океанов тер-

ригенных осадков нет, а на шельфах, где, в основном, аккумулируется наиболее крупный материал, часто случаются подводные лавины и сели, в которых терригенные осадки скатываются вниз, образуя мутьевые потоки. В начале XX века мутьевые потоки не раз вызывали разрывы телефонных кабелей, по которым до внедрения в практику радиосвязи передавались из Нового Света в Европу и обратно каблограммы. Толщина донных отложений в океане [14, с. 253] достигает местами 14 000 м.

Однако мельчайшие фракции твердого стока могут переноситься течениями в верхнем, прилиторально-стометровом слое воды, на большие расстояния. При гидравлической крупности частиц среднего диаметра взвесей 0,01 — 0,05 мм, равной $124 \cdot 10^{-5}$ м/с [16, с.150], и скорости течений у берегов Бразилии 0,8 м/с (9, с. 234) получим для 100-метрового слоя воды длину пути частиц до места осаждения на дно равной 64 км за интервал времени около 1 суток. Значит, половина взвешенных частиц с речными водами переносится не дальше 100 км, более тонкие фракции — на расстояния в 200-300 км, а наиболее мелкие фракции взвесей ($d = 0,001$ мм), имеющие гидравлическую крупность $8 \cdot 10^{-7}$ м/с, могут транспортироваться за счет турбулентности в океанических водах на громадные расстояния. Для осаждения этих частиц на дно при скорости 0,8 м/с и глубине движущегося верхнего слоя 100 м потребуется 125 млн с, то есть 4 года. За это время мельчайшие взвеси будут перенесены на расстояние 100 000 километров! Этого, как показывает опыт, не происходит — прозрачность морской воды на небольшом удалении от берега в большинстве акваторий весьма велика. Возможно, это объясняется процессом молекулярного осаждения (адсорбцией) мельчайших фракций (наилка) на более крупных частицах при турбулентном перемешивании еще на малых глубинах.

Сортировка терригенных осадков океаническими течениями с учетом термогалинной циркуляции — проблема весьма интересная и слабо изученная, но результаты этой сортировки при анализе подводного рельефа на батиграфических картах хорошо коррелируют с распределением локализаций твердого стока. Общеизвестно, что абиссальный конус выноса р. Ганг в Индии, например, имеет размеры 1000 км на 3000 км — в плане и 12 км высоты. Он сложен из обломочного материала, выносимого на окраину материка с Гималаев. И.А.Резанов [17, с.54], анализируя географическое распределение мощностей осадков в Атлантике, пишет: "...большая часть отложений, поступающих с континентов, осаждается вблизи берегов. Мощности осадков здесь колоссальные (1 — 5 км), а в некоторых внутренних бассейнах, например в Мексиканском заливе, окруженном сушей со всех сторон, достигают поистине геосинклинальных мощностей (6-12 км). В дельте Амазонки осадков более 10 км". С нашей точки зрения [Н.И., И.К.], происхождение Мексиканского залива объясняется прогибом коры под влиянием давления наносов Миссисипи, а не астероидом Луиса Уолтера Альвареса.

Рассмотрим поступление по рекам твердого стока в замкнутую котловину Каспия, гигантского озера, привлекавшего своими проблемами внимание ученых с древних времен. Каспийская котловина образовалась около 40-50 млн лет назад. У южных, иранских берегов Каспия глубины достигают

Знакопеременные изменения уровня воды в Каспийском море

Годы	1550-1670	1720	1805	1860	1897	1887-1976	1968-78	1978-79
ΔН, м	2,0	-1,6	3,9	-3,5	0,8	-3,5	стабильный	повышается

1050 м, на севере и западе, куда поступает с речными водами твердый сток, глубины составляют первые метры и десятки метров. Первоначальный объем чаши озера нам не известен, однако мы можем принять его равным площади водной поверхности (371 000 км²), умноженной на максимальную глубину озера (1000 м). Полученный объем (370 000 км³) вчетверо больше, чем сегодняшний объем воды в озере, составляющий 78 100 км³ [18].

По рекам Волга, Терек, Кура, Сулак и др. в Каспий поступает (см. табл.2) около 100 млн т наносов в год. В XX веке сток наносов по рекам сократился в связи с созданием многочисленных промежуточных отстойников – водохранилищ. Однако для наших расчетов это не имеет значения потому, что мы рассматриваем последние миллионы лет. Объем годового стока тверди при плотности 2,3 т/м³ равен 230 млн м³/год. Только за последние 2 млн лет поступило в котловину Каспия поступило не менее $230 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ м}^3 = 460 000 \text{ км}^3$ горных пород, что значительно превышает объем чаши озера. Куда же делись эти наносы? Удельное давление такой массы горных пород на кору литосферы на дне озера составляет

$$460 \cdot 10^{12} / 2,3 / 371 \cdot 10^9 \text{ т/м}^2 = 60 \text{ кг/см}^2,$$

если наносы распределялись равномерно на всю площадь дна. Но вышеприведенный расчет переноса взвесей вынуждает нас распределить большую часть крупных фракций в северной и западной частях акватории, а это повышает расчетное значение давления вдвое-втрое. Заметим также, что даже самые мельчайшие частицы взвесей превращаются в замкнутой котловине Каспия в седименты.

"Проведенные в последние годы геолого-географические исследования на территории юго-западной Туркмении и частично в пределах Азербайджана и Грузии показали [12, с. 88], что в районе Каспия происходит постоянное опускание земной поверхности". Труднообъяснимые понижения и повышения уровня воды в Каспийском море в прошлом без видимых причин (антропогенные факторы начали действовать лишь с середины 1950-х гг.) можно объяснить, если представить себе, что накопившаяся масса горных пород в северной и западной частях озера опускается вниз вместе с водной массой со скоростью 6 см в год. Акад. Л.С.Берг писал: "Ни о каком непрерывном падении уровня Каспия не может быть и речи". В статье [19] приводятся значения чередующихся повышений и понижений уровня воды в Каспийском море (Таблица 5).

Дополним эту сводку: с 1978 по 1991 гг. уровень воды повысился за 12 лет на 2 м (скорость 20 см в год).

Все исследователи связывали изменения уровня воды в морях, в том числе в Каспии, с климатическими изменениями, а после создания каскадов бьефов на Волге и Каме – еще с единовременными изъятиями воды на заполнение мертвых объемов водохранилищ. Однако, на наш взгляд, большие скорости подъема порядка 20 см в год могут быть объяснены только вертикальными движениями дна и нижележащих толщ наносов, гидравлически связанных через вертикальные каналы в коре с

магматическим веществом астеносферы. Возможно, это происходит в процессе автоколебательных изменений давления в астеносфере – не обязательно вязкой магмы, а, возможно, газов или водяных паров.

Вековое же опускание массы наносов вместе с массой воды происходит с характерной скоростью порядка 1000 м/2 000 000 лет = 0,5 мм/год, то есть с той же скоростью, что и скорость сноса горных пород с континентов. Скорее всего, опускание вязких масс происходит не непрерывно, а эпизодически или ритмично. Безусловно, на изменение положения уровня влияют изменения в приходных и расходных частях водного баланса бессточного Каспийского озера, а также антропогенные факторы.

В стратиграфии отложений Прикаспийской впадины геологи отмечают наличие мощного подолового комплекса (от 1 до 15 км) докунгурских отложений и менее мощного кунгурского яруса (до 2 км на многих соляных куполах) [20, с. 290 - 309]. Аккумуляция солей в процессе испарения воды в жарком климате происходила в условиях замкнутой области внутреннего стока в течение многих миллионов лет, и если твердые наносы опускались вместе с прогибом коры, то растворимые соли оставались в водной массе, осаждались на берегах при регрессиях древнего моря и консервируясь под толщами эоловых осадков. "Одной из наиболее характерных особенностей Прикаспийской впадины, в значительной степени определяющих ее геологическую структуру, следует считать систему мощных разломов глубокого заложения, обрамляющих впадину и дробящих ее фундамент во внутреннем районе [20, с. 305]". На тектонической карте мира [11] Каспий, Арал, Средиземное и Черное моря, а также Мексиканский залив, Карибское море (периферийные области акваторий), Японское, Восточно-Китайское и Южно-Китайское моря, Анданское море и моря, расположенные к северу от Зондских островов, относятся к областям современного прогибания земной коры - очевидно [И.В. и Н.И.], под действием непрерывного поступления терригенного материала, сносимого крупнейшими реками планеты.

Ширина шельфа у берегов Бразилии колеблется от 10 километров в области дивергенции Пассатного течения (напротив городов Ресифи и Салвадор) до 500 километров напротив дельты Амазонки и устья Ла-Платы. Твердый сток Амазонки сносится на северо-запад, в направлении Карибского моря, вдоль северо-восточных берегов Южной Америки, а благодаря наносам Параны и Парагвая, переносимым на юг Бразильским течением, ширина шельфа у восточных берегов Патагонии достигает 500-600 км.

Устьям больших рек – местам локализаций вертикального стока жидкой тверди в прогиб земной коры под влиянием постоянно повышенного давления - почти везде соответствует или залив (Бохайвань, Мексиканский), или внутреннее море (Каспийское, Азовское, Аральское), или кальдеры (Санторин в Эгейском море – напротив устья Нила, Кракатау – между Явой и Суматрой, в Яван-

ском море). Именно здесь аккумулируется терригенный материал и кора прогибается непрерывно и незаметно или иногда скачкообразно, как и другие катастрофические процессы изменения рельефа земной поверхности — интрузии и извержения, подъем новых островов из океана, гигантские оползни, осыпи, сели и лавины.

"Дельта Ориноко быстро выдвигается в океан, но огромные количества отложений, которые здесь аккумулируются, ускоряют проседание (опускание) почвогрунтов, которое случается также и в окрестностях дельты (...are accelerating the subsidence (sinking) that also is occurring in the delta region.) [21].

* * *

В прежние геологические эпохи суша и реки распределялись по поверхности планеты иначе, иными были мировые водоразделы и места локализации стока жидкой земной тверди. В устьях гигантских прарек аккумуляция материала измельченных горных пород приводила к провалам поверхности суши — к появлению эстуариев, лиманов, к раскалыванию материков. Возможно, так мягкий речной ил ПраАмазонки и ПраКонго расколол Пангею в пермское время, так гигантские водные потоки Юго-Восточной Азии, приносящие наносы в свои устья, раздробили окраину материка на Филиппинские и Зондские острова. Тенденция непрерывного дробления крупных литосферных плит будет сохраняться и в дальнейшем — пока существуют речные потоки, смывающие сушу в океан.

Механизм дрейфа, как установлено наукой, неоднократно приводился в действие в прошлые эпохи в основном **эпизодически** — перераспределением нагрузок (воды, льда) в форме континентальных оледенений, происходивших в результате изменений ротационных и орбитальных параметров планеты, однако перераспределение тверди между платформами суши и бассейнами океана действует **непрерывно** и весьма **локально**. Современная геологическая эпоха относится к интергляциальной фазе оледенений, и наиболее реальной движущей силой непрерывного дрейфа континентов и рифтогенеза может быть твердый сток рек. Только за 8 тысяч лет после окончания Вюрмского оледенения, например, с суши в океан перетекло $8 \cdot 10^3 \cdot 20 \cdot 10^9 = 160$ триллионов тонн горных пород. Перераспределение по поверхности коры планеты такой массы вещества не может не влиять на перемещения литосферных плит, вызывая землетрясения и вулканическую деятельность.

Выводы

1. Основную долю энергии, потребляемой в процессе дробления материков и дрейфа их осколков, дает инсоляция, приводящая в действие климатическую машину со времени появления атмосферы и с начала круговорота воды на планете: дожди и талые снеговые воды смывают измельченный выветриванием материал горных пород в реки, а реки уносят его в локальные области на окраины материков.

2. Наряду с энергией радиоактивного распада и тепловой конвекцией в недрах Земли, наряду с глобальными оледенениями перераспределение

масс механизмом твердого стока рек является одной из основных движущих сил геотектоники нашей планеты — так же, как на Марсе причиной тектоники является, очевидно, ветровое перемещение гигантских масс пыли.

Библиографический список

1. Лопатин Г.В. Наносы рек СССР.- М.-Географиз.1952.
2. Шапов Г.И. Речные наносы. Л.-Гидрометеиздат.-1959.- 380 с.
3. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Кошкина Н.Г. Общая гидрология. Гидрометеиздат.- Л.-1973.- 464 с.
4. Монин А.С., Гордеев В.В. Амазония.- М.:Наука, 1988.- 216 с.
5. Лисицын А.П. Распределение и состав взвешенного материала в морях и океанах/ Современные осадки морей и океанов.- М.- АН СССР.- 1961.
6. Смирнов Г.Н. Океанология. — М.—Высшая школа. — 1987. — 408 с.
7. Богданов Н.А., Торчигина Л.А. Некоторые аспекты глубоководного бурения в океанах. Науки о Земле.-№2/1983.- Изд-во «Знание» —М.-1983.- 48 с.
8. Luyendyk B. P. River // Encyclopedia Britannica 2006 Ultimate Reference Suite DVD.
9. Шубаев Л.П. Общее землеведение. М.- Высшая школа.- 1977.-456 с.
10. Ушаков С.А., Ясаманов Н.А. Дрейф материков и климаты Земли.- М.-Мысль, 1984.-206 с.
11. Белоусов В.В. Основные вопросы геотектоники. — Гостеолтехиздат.- М. 1962.-608 с.
12. Разумов Г.А., Хасин М.Ф. Тонущие города. М.-Стройиздат.- 1991.- 256 с.
13. Мирлин Е.Г. Вихри и смерчи в твердых оболочках Земли: возможны ли они?/ Природа, №2, 2006.- С. 33-42.
14. Дрейк Ч., Имбри Дж., Кнаус Дж. и др. Океан сам по себе и для нас. М.-Прогресс. — 1982-470 с.
15. Водохранилища и их воздействия на окружающую среду.-М.-Наука.-1986.-368 с.
16. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. - Госэнергоиздат. — М.-Л.-1957.-352с.
17. Резанов И.А. Происхождение океанов.- Наука - М. - 1979. - 200 с.
18. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия. Наука.- М. - 1986.-264 с.
19. Антонников А.А. Море живет и будет жить/Наука и жизнь. №9, 1980.
20. Беспалов В.Ф. Геологическое строение Казахской ССР.- Изд. Наука Казахской ССР.- Алма-Ата.-1971.- 364 с.
21. Mercedes Fermin Gomez, Dieter Brunnschweiler. Orinoco River/ Encyclopedia Britannica 2006 Ultimate Reference Suite DVD.

ИГЕНБАЕВА Наталья Олеговна, ассистент кафедры физической географии географического факультета ОмГПУ.

КАРНАЦЕВИЧ Игорь Владиславович, доктор географических наук, профессор кафедры гидрогеологии, гидравлики и инженерной гидрологии Омского государственного аграрного университета и кафедры физической географии Омского государственного педагогического университета.

Дата поступления статьи в редакцию: 18.11.06 г.
© Игенбаева Н.О., Карнацевич И.В.

ИНОПЛАНЕТЯНЕ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В статье сделана попытка исследовать социальные и психологические корни феномена становления ставшей общечеловеческим достоянием догмы о происходящих изменениях глобального климата.

В 2006 году вышла в свет двухтомная монография московских географов, океанологов, геологов, гидрологов, биологов, климатологов "Современные глобальные изменения природной среды" [1]. В этой книге на полутора тысячах страниц описаны самые новейшие научные факты и результаты научных исследований последних 2-3 десятилетий в области наук о Земле. В пятнадцати главах ведущие ученые Московского университета, Института водных проблем, Института географии РАН и других научных учреждений подводят итоги отечественных и зарубежных достижений в познании природы нашей планеты. Изменяется рельеф планеты – медленно поднимаются горные сооружения, опускаются другие территории – все это со скоростями 1-10-20 мм в год, движутся континенты (по данным многолетних и весьма точных спутниковых GPS-измерений). В толще земной коры происходят не только землетрясения, но внутри нее, а также по земной поверхности постоянно распространяются колебания разной природы, то есть волны (например, в толще горных пород по территории России с востока на запад такие волны распространяются со скоростью 2000 км в год).

Деформации поверхности Земли связаны не только с эндогенными (внутриземными), но и с экзогенными (наружными, внешними) процессами, такими, например, как перераспределение масс воды и тяжелых воздушных масс между океаном и континентами в зимние и летние сезоны. Эти перераспределения (к примеру, накапливающийся за зиму за счет океанических вод снежный покров в Северном полушарии, имеющий массу порядка 10 триллионов тонн!) приводят к замедлению или ускорению вращения планеты вокруг своей оси, а это сказывается на движении несжимаемых грунтовых и подземных вод в многокилометровых толщах коры, к изменению уровня воды в океане у западных и восточных берегов континентов, к возникновению приливных волн в литосфере и так далее.

Двести лет назад обо всем этом ученые не догадывались, сто лет назад стали высказывать гипотезы об изменениях, происходящих в нашем доме – на планете Земля, а теперь измеряют с точностью до нескольких миллиметров скорости горообразования и с точностью до десяти тысячных секунды – скорость вращения Земли. Поскольку колеблется не только уровень воды в океанах – в каждом океане по-своему, но и опускаются в одних местах и поднимаются в других морские берега, определить, например, средний уровень воды в Мировом океане с точностью в 1 мм или

1 см практически невозможно. Так же по ряду причин невозможно измерить среднюю температуру воды в океане и среднюю глобальную температуру воздуха. Такие величины не измеряют, а рассчитывают по данным нескольких тысяч станций, усредняя сотни тысяч отсчетов по термометрам, а поскольку измерения нерепрезентативны, производятся не очень точно (температура измеряется с точностью всего лишь до 0.1 градуса!), поскольку ряды измерений коротки (всего лишь 150-200 лет!) и неоднородны по ряду причин, точность расчетов мала и результаты не могут быть использованы для обнаружения трендов (тенденций изменения) при существующей весьма малой изменчивости значений гидрометеорологических величин. Ведь коэффициент вариации средних годовых значений температуры воздуха, например, в Омске равен всего лишь 0.0039. За 113 лет наблюдений в Омске средняя годовая температура колеблется от +3,5^oC (276,5 К) до -1,4^oC (271,6 К) при средней многолетней 273,7 К (+0,7^oC). Экстраполяционный расчет показывает, что за ближайшую тысячу лет наибольшая среднегодовая температура не превысит 5,0^oC, т.е. 277,0 К, а наименьшая будет равна -3,1^oC, то есть 269,9 К. Наиболее холодной в Омской области за 113 лет была зима 1968/69 года (сумма средних месячных отрицательных температур составила 106 градусов!), а самой теплой была зима 1982/83 года (сумма отрицательных температур была всего лишь 39 градусов!). Однако это вовсе не значит, что климат меняется.

Об изменениях глобального климата в масштабе сотен и десятков миллионов лет палеонтологи, гляциологи, палинологи и геологи знали еще в XVIII столетии, но широкая общественность об этом заговорила только после Второй мировой войны, в середине XX века. Научный сотрудник Института водных проблем РАН С.Г. Добровольский приводит сводку цитат из публикаций конца 1990-х гг., в которых зарубежные и российские ученые приходят к выводу или о неизменности климата, или отрицают влияние на температурные колебания оранжерейного эффекта. Ниже следует длинная цитата [1, С. 332], начало и конец которой помечен тремя звездочками.

"Прогноз парникового потепления. К прогнозам "парникового потепления" следует относиться с большими сомнениями. Приведем также, в качестве примеров, характерные высказывания, содержащиеся в многочисленных чисто научных трудах последних лет, посвященных этой проблеме:

Г. Деманжо [Demangeot, 1996] высказывает "сомнения относительно надежности вывода об антропогенно обусловленной природе происходящего глобального потепления климата, определяемые исключительной сложностью климатической системы, крайне затрудняющей оценки вклада какого-либо отдельного фактора в изменения климата и все еще серьезным несовершенством существующих моделей климата.

П. Доррел [Doergel, 1996] приводит выводы "Лейпцигской декларации", подписанной в 1994 г. более 100 специалистами из разных стран, в которой содержится протест против "псевдонаучных аргументов, основанных на ложных или не имеющих отношения к делу данных" и против "необоснованной паники, создаваемой стратегами МГЭИК". Действительную опасность представляет, по его мнению, не предполагаемое удвоение концентрации CO_2 в будущем, а спекуляция на проблематике глобального потепления.

Профессор Ф. Бетгер (Голландия), президент Глобального института для изучения природных ресурсов, квалифицирует выводы об антропогенно-обусловленной климатической катастрофе как "заговор сотни политиков и ученых" [Doergel, 1996].

Д.М.Этеридж и соавторы [Etheridge et al., 1996] обращают внимание на то, что в 1550-1600 гг. концентрация углекислого газа уменьшилась всего на 0,2 миллионных, в то время как глобальная температура уменьшилась на 1-2°C, и приходят к выводу о том, что изменения температуры носят, в основном, характер природообусловленных вариаций.

Известный немецкий геофизик Клаус Хассельманн [Hasselmann, 1997] в работе с характерным названием "Наблюдаем ли мы глобальное потепление?" приходит к выводу: "Вопрос о том, вызвано ли потепление антропогенной деятельностью или оно является проявлением естественной изменчивости климата, остается открытым".

Р. Керр [Kerr, 1997] отмечает: "Все еще остаются сомнения относительно связей глобального потепления с антропогенной активностью".

Р.М. Кернер и Л. Лундгаард [Koerner, Lundgaard, 1995] констатируют: "Наблюдаемое потепление со 150-летним трендом имеет, скорее, естественную природу".

Академик К. Кондратьев [1995] утверждает: "В настоящее время отсутствуют сколько-либо надежные методы прогноза климата. Возникло гипертрофированное преувеличение роли роста концентрации парниковых газов".

С. Крупа [Krupa, 1997] придерживается мнения о том, что имеется "ряд неопределенностей в современных представлениях о глобальных изменениях климата. Степень и время наступления глобального потепления все еще не установлены".

А. Леблан [Le Blanc, 1995] в статье "Нет и призна консенсуса в отношении глобального потепления" отмечает "неопределенность наших знаний о том, как быстро наступит ожидаемое потепление климата. Еще больше степень неопределенности относительно последствий этого потепления".

Р. Поклингтон и соавторы [Pocklington et al., 1995] настаивают: "Нет достаточных научных оснований заявлять о реальности начала глобального потепления вследствие парникового эффекта. Заметное похолодание в Северном полушарии за период 1950-1975 так и не нашло серьезных объяснений. Анализ данных о температуре также не

говорит в пользу теории глобального парникового потепления".

Р. Пшибиляк [Przybylak, 1997] заявляет: "Не получено свидетельств парникового потепления в Арктике".

С.В. Пучковский [1996] обращает внимание на то, что "в экологических и эволюционных процессах важное значение имеют обратные связи, которые всегда направлены против причины, выводящей биосистему из состояния экологического равновесия. Более вероятно, что парниковый эффект запустит в биосфере процессы, направленные на восстановление в ней экологического равновесия. Вероятность "парниковой катастрофы" очень мала".

С. Шварце [Schwarze, 1996] делает вывод о том, что "результаты численного моделирования климата весьма противоречивы и не могут являться доказательствами того, что антропогенное потепление непременно имеет место".

Дж. Ф. Зингер [Singer, 1996] анализирует "Второй оценочный отчет по проблеме изменений климата", подготовленный МГЭИК, и отмечает в нем "избирательный отбор фактов и замалчивание важной информации. В отчете игнорируется тот факт, что, по спутниковым данным, за период с 1979 г. не только не наблюдались потепления в тропосфере, но имело место слабое похолодание. Не проанализированы причины изменения оценок по сравнению с выводами, сделанными в 1992 г. о повышении температуры в пределах 1,5-4,5 градуса в период до 2050 г. Не учтены данные наблюдений в Европе и Северной Америке за 1951-1990 гг., согласно которым изменения температуры не выходили за пределы природно-обусловленной изменчивости, откуда следует, что, по-видимому, "антропогенный сигнал" изменений климата не будет обнаружен в 2010, 2020 или 2030 гг. Содержащееся в отчете утверждение об отчетливом выявлении "антропогенного сигнала" в наблюдаемых изменениях температуры нельзя считать корректным. Лишен оснований и вывод о том, что наблюдаемое повышение уровня Мирового океана обусловлено глобальным потеплением".

О.Г. Сорохтин и С. А. Ушаков [1996] показывают, что "удвоение количества углекислого газа в земной атмосфере практически не изменяет средние приземные температуры и не влияет на парниковый эффект на планете. Теория была проверена на основании модели стандартной атмосферы Земли и распределения температуры в атмосфере Венеры".

Повторяем: выше приведены результаты лишь части из большого количества работ, опубликованных в последние годы, в которых подвергается сомнению концепция "парникового" прогноза климата на следующие десятилетия. Конечно, имеется и большое количество работ авторов, всецело придерживающихся "парниковой" концепции. Если же в целом попытаться подытожить ситуацию, то приходится признать, что проблема парникового потепления противоречива, далека от разрешения, и к прогнозам, основанным на парниковой гипотезе, пока приходится относиться с сомнением".

Климат в наши дни меняется, по нашему глубокому убеждению [И.К.], только в воображении тех, кому это не безразлично в социальном смысле, и тех людей, которые подвержены внешним внуше-

ниям и самовнушениям, а таких — миллиарды. Разговоры о погоде придумали жители Туманного Альбиона еще до изобретения лифтов; лифты же возвели беседы о погоде в ранг обязательных светских ритуалов. Об этом писал Оскар Уайльд. Молчать в обществе незнакомого человека в лифте мучительно для каждого пассажира. разговор же о погоде ни к чему не обязывает, однако он дает спасительную разрядку всеобщему неловкому положению.

Еще сто лет назад все крестьяне на планете, а вместе с ними и ученые видели, что климат не меняется. Ведь столетиями не менялись типы растительности в тропиках, в тундре, в пустынях, не менялись фенологические даты — даты цветения и созревания березы повислой, банановых деревьев, картофеля, яблони, пшеницы в данной местности. Люди были уверены в будущем. Но ученые решили начать систематические ежедневные многолетние наблюдения за метеорологическими элементами, желая убедиться хотя бы через сотню лет в том, что климат не меняется.

Развитие гидрометеорологии привело к созданию целой научно-практической отрасли хозяйства, климатической индустрии, к возникновению специфической прослойки в обществе, занимающейся подобно касте жрецов предсказаниями. В каждой стране сформировался административный аппарат, занимающийся гидрометеорологией, появились семейные династии гидрологов, гляциологов, синоптиков, в середине XX века были организованы во всех странах в академических и ведомственных институтах и учреждениях *отделы изменений климата*. В наши дни в этих отделах работают сотни людей, которые, регулярно получая зарплату, едва ли смогут найти в себе силы признать, что климат не меняется. Ведь, услышав из уст ученых о таком повороте событий, начальство упразднило бы все эти отделы, а высокообразованным специалистам пришлось бы переквалифицироваться в охранников природы. К счастью, глобальный климат, видимо, хотя и незначительно, меняется. Об этом свидетельствуют не только факты геологического порядка, но и тысячи статей в научной литературе и сотни тысяч — в газетах и журналах. Например, если верить рассуждениям авторов работы [2, С. 138], за последние 330 миллионов лет похолодало на 10 градусов, а за последние 65 млн лет температура понизилась на 7 градусов!

Проблема изменений климата и инопланетяне с их транспортными средствами — благодатнейшая почва для журналистов, особенно молодых и тщеславных, а таких — тысячи! Не имея никакого представления об основах метеорологии, климатологии, океанологии, о технике метрологии, о математической статистике и теории ошибок, молодой журналист спешит парализовать воображение читателя сообщением о том, что скоро наступит конец света. В его сакраментальных заклинаниях явно звучит пророческое предупреждение о земных грехах и грядущем апокалипсисе. Ведомства, отвечающие за очистку снега в городах и за отопление, всегда ссылаются на особенно тяжелые условия текущей зимы. Для них формула "климат сильно меняется!" — это волшебная палочка-выручалочка. С помощью нее легко можно получить дополнительные финансовые вливания. Словом, вера в то, что климат меняется, — это социальная догма, приносящая сотням тысяч честных тружеников вполне съедобные плоды.

Почему глобальный климат меняется в масштабе десятков тысячелетий (а это так!), не знает точно никто. Одни ученые предполагают, что причина того — изменения орбитальных и ротационных параметров нашей планеты. Другие специалисты объясняют похолодание на несколько градусов за сотни миллионов лет расширениями площади оледенений или усилением вулканической деятельности на планете. Лучший и самый точный прибор для суждений о потеплениях и похолоданиях — это средний уровень Мирового океана, но его значения, к сожалению, как выше было сказано, вычисляются весьма неточно. Температурные ряды на сотнях станций планеты имеют длительность до 200 лет, однако даже если бы длина рядов была не 200, а 2000 лет, это бы не помогло сделать хронологический прогноз даже на один год, не говоря уже о десятке или сотне предстоящих лет. Дело в том, что температура воздуха в данной точке (на метеостанции) колеблется, причем эти колебания неправильные, случайные, непредсказуемые. Амплитуда таких колебаний невелика, и при увеличении длины ряда она несколько увеличивается.

Остановимся теперь на важнейшем для науки семантическом аспекте проблемы изменений глобального климата. Семантика установила, что каждому слову в сознании человека соответствует определенное понятие и мысленное представление. Эти представления у разных людей различны — причина заключается в кругозоре, начитанности человека. Из-за различий в представлениях о понятиях возникают разночтения, непонимание между учеными, политиками, особенно ведущими разговор через переводчиков. Отсюда многие недоразумения и беды. Вспомним, какие проблемы обсуждали во время пеших прогулок по Альпам Альберт Эйнштейн, Гейзенберг, Паули и Бор. Они по-разному понимали, что означают слова "наблюдаем", "существуют", "истинно", "понимаю", спорили, пытались сформулировать суть этих понятий. Только для обывателя, каковыми многие из нас являются, все ясно.

Добавим к списку обсуждаемых физиками понятий еще три: климат, изменения и колебания. Оказывается, климатологи за последние 200 лет не смогли сформулировать, что такое *климат*. Нигде не определено, что считать изменениями, а что — колебаниями температуры воздуха. Академик К.Я. Кондратьев, крупнейший советский гидродинимик и актинометролог, так пишет по этому поводу: "Достигнутый [весьма невысокий] уровень параметризации процессов в климатической системе [атмосфера — литосфера — криосфера — биосфера] побуждает считать современную теорию климата лишь первым приближением в понимании закономерностей формирования климата и его изменений. Именно по этой причине до сих пор продолжается дискуссия, посвященная определению понятия климата" [3, С.4]. В работе [4] предложены количественные критерии для идентификации понятий "колебания" и "изменения" климата, но, к сожалению, для их практического использования пока не хватает достаточной длительности рядов гидрометеорологических наблюдений.

Выводы

Глобальный климат меняется, но с характерными периодами лишь порядка нескольких десятков тысячелетий, и не может меняться в масштабе столетий. Стабильность климата обеспечена неиз-

менностью в масштабе тысячелетий значения солнечной постоянной и огромной тепловой инерцией холодных океанических вод (средняя температура +3.8 градуса), а также полярных ледниковых куполов (средняя температура льдов Антарктиды - минус 24 градуса).

Библиографический список

1. Современные глобальные изменения природной среды. - М. Научный мир.-2006.-Т.1 и 2.
2. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. — Л. Гидрометеоздат.-1985.— 208 с.

3. Кондратьев К.Я. Глобальный климат и его изменения. Наука. Л.-1987.-.232 с.

4. Карнацевич И.В. О стабильности климата Земли и критериях оценки его колебаний и изменений /Омский научный вестник, №4(29), 2004.- С.164-167.

КАРНАЦЕВИЧ Игорь Владиславович, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии ОмГПУ.

Дата поступления статьи в редакцию: 12.10.06 г.

© Карнацевич И.В.

России имена

БАРАНСКИЙ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ (к 125-летию русского ученого-географа и педагога)

Николай Баранский родился в городе Томске в семье учителя. Еще в седьмом классе гимназии юноша вступил в революционную организацию и начал вести агитацию среди рабочих. Окончив гимназию, он поступил в Томский университет на юридический факультет, однако проучился там недолго: за участие в студенческих выступлениях против царизма его вскоре исключили. Активный участник революции 1905 года, Н.Н. Баранский представлял сибирских большевиков на конференции РСДРП в Таммерфорсе. С 1906 по 1908 год вел активную революционную работу на Украине и в Сибири, за что подвергался частым арестам с последующими ссылками.

В 1910 году Баранский переезжает в Москву, где поступает учиться в Московский коммерческий институт, который заканчивает в 1914 году. С 1918 года он успешно работает в области экономической географии, совмещая работу в правительственных учреждениях с преподаванием экономической географии в Коммунистическом университете им. Я. Свердлова и в других высших учебных заведениях. С 1926 года Баранский целиком посвятил свою жизнь научной и педагогической работе, преподавал в Московском университете, где создал кафедру экономической географии и стал одним из основателей географического факультета.

Особенно много он сделал для улучшения учебной базы географического образования. Им были созданы ценные методические пособия. Николай Николаевич требовал, чтобы преподавание географии не сводилось только к описанию стран и явлений, но и отвечало запросам практики, чтобы эта наука из описательной, содержащей лишь статистические данные, превратилась в науку действенную, показывающую пути развития народного хозяйства страны, возможности использования её природных богатств и правильного размещения производства. Он установил, что нельзя планировать развитие промышленности, сельского хозяйства, строительства в любом районе страны без учета природных географических условий, запросов районов.

В 1934 году Баранский становится первым ответственным редактором журнала «География в школе». В этом же году ему было поручено составление учебника по экономической географии, который затем несколько лет переиздавался и в 1952 году получил Государственную премию СССР.

Баранский — ученый с мировым именем, удостоенный за свои труды многих наград и звания Героя Социалистического Труда, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент Академии наук СССР. В общей сложности им написано около 500 разнообразных научных работ. Одним из любимых его детищ стала серия сборников «Вопросы географии», в которых уделялось большое внимание проблемам преподавания этого предмета в школе. Много сил вложил ученый и в разработку теории экономического районирования, в которой, по его мнению, отражается географическое разделение труда.

Баранский принадлежит к тем ученым, значение которых определяется не только печатными работами. Он обладал редким и самобытным даром речи. В своих блестящих выступлениях он щедро делился знаниями и идеями. Огромное обаяние его личности заключалось в прямоте, скромности, принципиальности и простоте общения.

Кто есть кто в мире. М.: Слово, Эксмо, 2007. С. 81-82.

Contents

PHYSICS AND MATHEMATICS SCIENCES

Kogut A.T. The numerical algorithms for solving non-linear equations with high derivatives	5
Naumov A.A. Analysis of properties of effective experimenting strategies	8

CHEMICALS SCIENCES

Paoutov V.N. Initial Stages of the Formation AgCNS on Silver and Alloy Au-Ag at Gold	12
--	----

SCIENCE OF MATERIALS

Kuznezova Y.V., Surikov Val.I., Surikov Vad.I., Danilov S.V., Yarosh E.M. Mott-paierls phase transition in vanadium-dioxide	15
Kropotin O.V., Mashkov Y.K., Egorova V.A., Trenikhin M.V., Voytenko N.N. The analysis of structure and phase composition of ultra disperse cryptocrystalline graphite	19
Surikov V.I., Kropotin O.V., Ovchar Z.N., Egorova V.A. The influence of carbon fillers on viscoelastic properties of the filled polytetrafluoroethylene	24
Makarenko N.G. Technical systems with electric-chemical and mechanical influence on a surface layer of parts in machines	29
Akimov V.V., Mishurov A.F., Korytov M.S., Plastinina M.V., Korzunin Y.K. Influence of the heat treatment on microhardness change and phase composition of hard alloy TiC-TiNi	31
Postnikov D.V. The model of redistribution of elements in steels through irradiation by the beams of the charged particles	33
Gulkin A.V., Postnikov D.V. Radiation-thermal damage to a beryllium surface in conditions of an irradiation by pulse of electron beam	37
Chakurin I.A., Korchagin P.A. The microrelief: methods of generation of perturbation actions	41
Paschupkin V.P., Korytov M.S. Modification of high-duty cast iron RZM	44
Lavrik D.V., Gurdin V.I. General aspects of thermal problem resolution at foundry process simulation	47
Ushakov V.V., Miroshnichenko V.V. The analysis of bulk density of dry cement plaster mixes of various structures with the additive of fly-ashes of thermal power station № 4 of Omsk	50
Leontev A.N., Rachupkin V.P., Golochapov G.A. Autoradiographic metod of elements allocation studying between phases of steel and cast iron	52

MECHANICS, MECHANICAL ENGINEERING

Buryan Y.A., Sorokin V.N., Russkikh G.S. A low frequency well source of elastic vibration	57
Maltsev V.G. Forming of external cylindrical surfaces by turning with single and double-pass processing overmeasure removal	61
Sitnikov D.V. Synthesis of control system by electrodynamic vibrator	65
Shirlin I.I. About fining optimal dimensions of glowing bodies	73
Evstifeev V.V., Alexandrov A.A., Leksutov I.S. Generation of technological processes of exact volumetric punching of products with a many-sided external surface	77
Chakurin I.A. Mathematical model of control loop of the hydraulic actuator in mobile machines	82
Chernjakov A.V., Zverkov R. A. Study of the process of separation of fine particles in wheat layer and a sieve mesh in cylindrical rocking sieves	86

TRANSPORTATION

Klimovich A.V., Koobar A.A., Kharlamova A.V. Building of optimum graphics of a train motion on the given piece of line using the target function	88
Seroshtanov S.S., Lunev S.A. Application of mathematical apparatus of conformal maps to continues control and supervision of state in tonal chains of rails	91
Skovorodnikov E.I., Ovcharenko S.M., Minitaeva A.M., Mochalova S.V., Taruta M.V. Development of a mathematical model for evaluation of harmful effect of transportation engines to the environment	95
Bezobrazov P.V. Modeling of a pipeline section with significant length at unstable operational modes of turbo compressor systems	100
Korchagin P.A., Stolyarov V.V. Mathematical model of dynamic system "excavator – operator"	103
Doroshenko S.V., Doroshenko N.V. Peculiarities in the selection of motor oils' nomenclature for a mixed stock of mobile machines	106

POWER ENGINEERING

Novozhilov A.N., Andreeva O.A., Volikova M.P., Gasparyan A.A., Novozhilov T.A. The method of forming of system of equation of a mathematical model of electrical machines and transformers in operational modes	108
Rysev P.V., Rysev D.V. Modeling of processes in nonlinear dissipation system of two independent generators with various types of connection	112
Borodenko V.A. The universal device of emergency automatics of substations with electric motors	117
Kletcel M. Y., Nikitin K. I., Stinskiy A. S. The universal algorithm of operation directed to differential protection of a line	121
Birukov V.V., Sopov V.I., Prokushev Yu.A., Shtang A.A., Spiridonov Ev.A. The researches of trolleybuses traction and breaking modes power parameters.	124
Beloglazov V.P. For quations of equament method the watching apparatus aerofilter	129

Patrushev S.B. Normative and Legal Aspects of Ecological Problems under Intergovernmental Power Structure Forming	132
---	-----

INFORMATION TECHNOLOGIES

Nopin S.V., Shakhov V.G. Development of the IP-telephony systems protected from non-authorized access on the basis of operational system Windows	137
Potapov V.I. The neurocomputer system reliability index computing with man-machine symbiosis of control and managing of setting up and reestablishment process after neural net faults with absolute and terminal reliability of a man	143
Efimova O.S., Fayzullin R.T. The usage of proper numbers at text stream encryption and identification of languages	146
Shafeeva O.P., Koulbida V.A. Vector codes and their computer investigation	152
Ivanov L.N., Mezentsev Y.A. Models of Synthesis of Schedules in Parallel Volunteer Systems	164
Hrushev S. Practical realization of failsafe scalable access to oracle RDBMS from Java applications	173
Slobodin V.V., Levin A.Yu. Information technologies for effective customer service management	177

TOOLS, METHODS AND DIAGNOSTICS SYSTEMS

Veshkurtsev Yu.M., Volkov A.Yu. The characteristic function of the instantaneous particle displacement of the unbounded elastic medium	182
Kogut A.T., Krasulin A.V., Litovkin D.V. Complex system of diagnostic of technical status of radio engineering and control devices of the rolling-stock	186
Podkovko N.F. Refractive model of complex dielectric permittivity of heterogeneous materials	189
Maystrenko V.A., Bogachkov I.V., Eletskiy A.I., Katunskiy E.A. Experimental research of electrodynamic properties of liquid substances In microwave range	193

BIOLOGICAL, AGRICULTURAL AND VETERINARY SCIENCES

Baraischuk G.V., Frolova L.I. The influence of bio-fertilizers on growth rate of one or two year conifer plants	197
Kalinenko N.A., Nikitina N.N., Nadezhda I.S. Ecological-Biological Peculiarities of recovering the Growth After Fire	202
Krolevets S. S. The analysis of bare-grained barley varieties from vir world collection n the Siberian irtish river streamside conditions	205
Gavrilova N.V., Likhacheva S.F. The heterotrophic Euglenozoa flagellates in the basins of the south part of the Omsk region	209
Baraischuk G.V., Khamova O.F. The biological activity of soil treated by bio-fertilizers during growing of conifer planting stock	212
Gaus M.F., Karev D.N. The efficiency of dairy cattle breeding in Omsk region	218
Leyshkina V.V., Popolzukhina N.A., Kalashnik N.A. The intensity of the spring common wheat transpiration and leaf rust resistance	221
Gavrilchenko O.L. The physiological peculiarities of durum wheat species evolution in Western Siberia	224
Soroka V.N., Ershov V.L. The improvement of technology in winter rye growing on fallow fields of forest- steppe areas of the Western Siberia	228
Khamidova A.R., Abrosimova M.G., Kassal B.Yu. Ecological monitoring of the grey pigeon sinanthropic population in Omsk region	231
Moskalets Yu.V., Likhachev S.F. The peculiarities of a reproductive stage of the Trachelomonas volvocina's life cycle	236
Zhirnova E.V. Peritricha's selection of substrates	238
Likhachev S.F., Gubanov E.E. The taxonomic variety of parasitic protozoan in fishes of some basins of the Omsk region	241
Korchagina T.A., Likhachev S.F. The variety of species and population of the endobiotic infusoria in different parts of elk's stomach	244
Chernaya L.V., Likhachev S.F. The variety of ciliates in domestic ships <i>Ovis aries</i>	247
Podkujko A.A., Oschepkov V.G., Popova T.G., Bronnikov V.S. The antigenic and immunogenic properties of chemical (semi synthetic) brucellosis vaccine VNIIBTG	250
Meleshkov S.F. The analysis of survival ability and forecast of early decease in cats with urological syndrome	254
Monastyrev A.M., Gizatullin A.N., Onischenko A.P. The morphological and biological properties of calf's blood at technological stresses	257
Zelenevsky D.N., Honin G.A. The morphology of salivary glands of a golden polecat	260
Strokin M.M., Okolelov V.I. The parasite fauna in the area of the middle Irtys River stream side	263

MEDICINE

Kriventsev Y.A., Nikulina D.M., Bisalieva R.A. The immunochemical analysis of fetal hemoglobin concentration in blood of male and female newborns with prenatal hypoxia	272
Sovalkin V.I., Podgurskaya E.P., Levitskaya N.A. The immunological features of patients with pleural effusion of different etiology	275
Baygozina E.A., Sovalkin V.I., Dolgikh T.I. Role interferona-gamma in pathogenesis of acute lung injury and nosocomial pneumonia	277
Akhmetov T.R. The immunohistochemical examination of metaplasias, dysplasias and adenocarcinomas in Barrett's esophagus	281
Baygozina E. A., Sovalkin V. I., Pavlov A.V., Podoynikov M.V. Problems of diagnosis of nosocomial pneumonia in multi-type hospital	284
Naumov D.V., Dolgikh V.T., Akhmedov V.A., Dvornikov V.E. Atrial fibrillation as a version of supraventricular tachyarrhythmia wich burdens arterial hypertension	286
Repin E.V., Dolgikh V.T., Ershov A.V. Chronic prostatitis: the modern approach to a problem	290

Solomin V.Y., Viktorova I.A., Fedotov V.K., Soldatova E.Y. The platypodia as a result of connecting tissue dysplasia in children and teenagers	292
Fyodorova T.N., Glotov A.V., Demchenko V.G. Estimation of efficiency of rehabilitation of invalids due to professional bronchitis and chronic obstructive illness of lungs	297
Ashvits I.V. The health state rating in students of Primary Military Educational School (by an example of Omsk Military School).	301
Krivchik G.V. Immunopathologic component and molecule-cell modifications in pathogenesis of a placental insufficiency at an infection	303

EARTH SCIENCE

Norysheva R.A., Klak N.V., Grigorjev A.I. Bioindication of the ecosystems' air pollution in the Omsk city. (The message two).	307
Bobrov P.P., Ivchenko O.A., Krasnoukhova V.N., Pirogova T.I. Comparison of Hydrophysical and Dielectric Soil Constants	313
Igenbaeva N.O., Kornatsevitch I.V. Localization of solid river flows – one of most probable mechanisms of the Earth tectonics	318
Karnatsevitch I.V. Aliens and climate change	326

SUMMARY

PHYSICS AND MATHEMATICS SCIENCES

Kogut A.T. The numerical algorithms for solving non-linear equations with high derivatives

This work considers the algorithm of numerical solution of non-linear equations with linearization techniques. The iteration algorithm was developed using second derivative. The properties of the algorithm were investigated.

Naumov A.A. Analysis of properties of effective experimenting strategies

In the paper the properties of the effective strategies of experimenting are researched. The asymptotic effectiveness of a dispersion matrix of parameters and convergence of the effective strategies to the appropriate classical optimal designs are shown. The examples illustrating asymptotic properties for various criteria of effectiveness and modification of the functions of distributions of these criteria are reduced.

CHEMICALS SCIENCES

Paoutov V.N. Initial Stages of the Formation AgCNS on Silver and Alloy Au-Ag at Gold

The mathematical model of surface processes, with reference to a method of a nonequilibrium electrode impedance is developed. With the help of the received model the kind of experimental curves is investigated. The initial stages chemisorption and nucleation in systems $\text{Ag}(\text{NaCNS} + \text{Na}_2\text{SO}_4)$ and $\text{Au}(\text{AgClO}_4 + \text{HClO}_4)$ are investigated. The parameters of electrode process are received: a current of an exchange and adsorption capacity at zero frequency.

SCIENCE OF MATERIALS

Kuznezova Y.V., Surikov Val.I., Surikov Vad.I., Danilov S.V., Yarosh E.M. Mott-pairler's phase transition in vanadiumdioxide

In this work the results of investigation on the temperate dependences of magnetism, electric qualities and heat capacity of the vanadium dioxide in limits of homogeneity region are presented. The common cultivating of received results permits to draw a conclusion on original nature metal-semiconductor phase's transition in this combination.

Kropotin O.V., Mashkov Y.K., Egorova V.A., Trenikhin M.V., Voytenko N.N. The analysis of structure and phase composition of ultra disperse cryptocrystalline graphite

The results of experimental research of a phase composition and densities of ultra disperse cryptocrystalline graphite marks GLC-3 (GOST 5420-74), its structure, the dimension and features of a surface of particles are considered. GLC uses as an ingredient at structural modification of polymeric composite materials (PCM) and its properties play the important role in formation of structure of an aggregate.

Surikov V.I., Kropotin O.V., Ovchar Z.N., Egorova V.A. The influence of carbon fillers on viscoelastic properties of the filled polytetrafluoroethylene

The results of exploring of dynamic viscoelastic properties of composite materials on the basis of polytetrafluoroethylene are shown. On the basis of the conducted analysis for the given materials general processes and the laws defining character of influence of carbon fillers (a carbon fiber and cryptocrystalline graphite) on their structure and viscoelastic properties are revealed.

Makarenko N.G. Technical systems with electric-chemical and mechanical influence on a surface layer of parts in machines

The Center of introduction of new methods and technologies "Transport" is developed by the state unitary enter-

prise a new method of electric-chemical and machining for the set formation of a surface layer of parts in conditions of their manufacturing and restoration. Positions of methodology of creation of technological and operational systems for increase of working capacity of parts and units of machines, including at a stage of restoration are stated.

Akimov V.V., Mishurov A.F., Korytov M.S., Plastinina M.V., Korzunin Y.K. Influence of the heat treatment on microhardness change and phase composition of hard alloy TiC-TiNi

The given experimental analysis is organized in work on study microhardness and phase composition of a hard alloy material with small additive of the boron. It is installed, that in heat treatment process of the hard alloy (50TiC - 48TiNi - 2B) vol. % occurs change of microhardness and phase composition.

Postnikov D.V. The model of redistribution of elements in steels through irradiation by the beams of the charged particles

In the article processes of radiation-enhanced diffusion elements are considered through irradiation by pulse beams of the charged particles. In the work the model which takes into account the influence of the following mechanisms on mass transfer is offered: thermodiffusion, mass transfer by presence of gradients of concentration of dot defects and barrodifusion. In work the contribution of each mechanism to the common stream of atoms is determined.

Gulkin A.V., Postnikov D.V. Radiation-thermal damage to a beryllium surface in conditions of an irradiation by pulse of electron beam

The article considers radiating damage to a surface pulse by an electron beam on accelerators GSEP-3. The damage rate beryllium sample is determined. Calculations of a temperature field inside a sample and distributions of thermal pressure are lead. The reasons cracking on a surface beryllium are revealed. Calculations of concentration of dot defects are carried out and the possible reasons of increase of microhardness of a superficial layer are determined.

Chakurin I.A., Korchagin P.A. The microrelief: methods of generation of perturbation actions

In this article the mathematical description of a relief on road-construction machine is submitted. The stochastic model of surface ground is described, which allow to use modern techniques for research of road-construction machines. The statistics of the microrelief of typical ground surface is collected.

Paschupkin V.P., Korytov M.S. Modification of high-duty cast iron RZM

Using the diagram for choice modifier graphite in cast iron has allowed defining the most efficient row an element from rare-earth metal. At present work are brought results of industrial conditions experiment on use the ligature with Gd, which provides graphite spheroidizing. The influence of the form graphite cut-in is shown on mechanical characteristic.

Lavrik D.V., Gurdin V.I. General aspects of thermal problem resolution at foundry process simulation

In given article the basic aspects of the resolution of a thermal problem are stated at modeling foundry processes. The matrix equations and the linear equations concerning one final element are submitted.

Ushakov V.V., Miroshnichenko V.V. The analysis of bulk density of dry cement plaster mixes of various structures with the additive of fly-ashes of thermal power station № 4 of Omsk

In the article results of experiments for definition of the most dense particles packing of a dry plaster mix on the

basis of quartz sand of various grain structure of Irtysh river basin, cement of Topki factory and fly-ashes of Omsk thermal power station № 4 are presented.

Leontev A.N., Rachupkin V.P., Golochapov G.A. Autoradiographic method of elements allocation studying between phases of steel and cast iron

It has been studied the allocation of C, Ni, Wf and Mo in steel foundry through radioactive tracer of this elements.

The method given allows to study the process of crystallization and influence of some elements to the structure of steel and cast iron.

MECHANICS, MECHANICAL ENGINEERING

Buryan Y.A., Sorokin V.N., Russkikh G.S. A low frequency well source of elastic vibration

This work considers an opportunity to make a low frequency immersed well source of elastic vibration. The self-vibrating hydraulic actuator governing the valve to produce pulsation in a hole-bottom region was designed.

Maltsev V.G. Forming of external cylindrical surfaces by turning with single and double-pass processing overmeasure removal

The accuracy aspect of forming for external cylindrical surfaces by turning with single and double-pass processing overmeasure removal was examined. On the basis of theoretically made relationships among the considered processing approaches conditions were defined at which the deviation of a newly created surface form using double-pass overmeasure removal will be less than a corresponding deviation in case of single-pass overmeasure removal. Also the conditions at which application of double-pass overmeasure removal does not give a positive effect were defined.

Sitnikov D.V. Synthesis of control system by electrodynamic vibrator

In this work the structure of the control system with the electrodynamic vibrator developed with use of the method of analytical designing optimum regulators is offered. The vibrator is intended for therapeutic treatment on a biological tissue.

Shirlin I.I. About fining optimal dimensions of glowing bodies

Using the glowing bodies in the combustion chamber of engine to decrease the period of a delay of ignition is related to some difficulties: one of them is to define optimal sizes of work area of a device.

On the base of the research conducted the size of the glowing bodies' head can be defined basing on the device's design reliability calculation.

Evtstifeev V.V., Alexandrov A.A., Leksutov I.S. Generation of technological processes of exact volumetric punching of products with a many-sided external surface

Basic stage schemes of forging various products with many-sided external surface forms that provide high quality and mechanical properties of metal, and an opportunity of automatic production are described.

Chakurin I.A. Mathematical model of control loop of the hydraulic actuator in mobile machines

In the article the results of the research of hydraulic actuators with hydro motors used in drives of transportation machines are presented. The analysis and recommendations at the choice of parameters of a hydrodrive ensuring stability of modes of their job are given.

Chernjakov A.V., Zverkov R. A. Study of the process of separation of fine particles in wheat layer and a sieve mesh in cylindrical rocking sieves

This article is devoted to the study of the process of separation of fine particles in wheat layer and a sieve mesh in cylindrical rocking sieves. The specific load to sieve and

most rational modes of the cylindrical sieve operation were identified.

TRANSPORTATION

Klimovich A.V., Koobar A.A., Kharlamova A.V. Building of optimum graphics of a train motion on the given piece of line using the target function

It is considered the use of methods of building the optimum graphics of train motion $v = f(s)$ on the given piece of line and the appropriate time of its arrival to the final point using the target function. The results of calculation practically are coinciding with the known classical decision of this task, in base of is the principle of the maximum. The offered methods differ by simplicity and allow getting the result in real scale of time.

Seroshtanov S.S., Lunev S.A. Application of mathematical apparatus of conformal maps to continues control and supervision of state in tonal chains of rails

In this paper a new approach to calculation of parameters of a quadripole of tonal rail chain has been introduced using the mathematical apparatus of conformal mapping and linear-fractional transformations.

Skovorodnikov E.I., Ovcharenko S.M., Minitaeva A.M., Mochalova S.V., Taruta M.V. Development of a mathematical model for evaluation of harmful effect of transportation engines to the environment

This article considers analytical methods used for evaluation of amount of combustion products in diesel engines. The special attention is paid to the method of equilibrium composition.

Bezobrazov P.V. Modeling of a pipeline section with significant length at unstable operational modes of turbo compressor systems

The features of modeling of distribution of perturbation in pipelines of systems with turbo compressors are stated in the article. The method of modeling of a linear pipeline section with application of artificial viscosity in the differential equations of movement of a liquid is offered. The results of modeling of distribution of a shock wave and harmonic oscillations of pressure in the pipeline are given.

Korchagin P.A., Stolyarov V.V. Mathematical model of dynamic system "excavator – operator"

In this article a mathematical model of the dynamic system "excavator – operator" is described and the scheme of one-ladle excavator is presented. The problems of geometrical links and a methodic of formation of the dynamics equations for the system "excavator – operator" are considered.

Doroshenko S.V., Doroshenko N.V. Peculiarities in the selection of motor oils' nomenclature for a mixed stock of mobile machines

Under usual company conditions, which use numerous multi-brand stocks of domestic and imported mobile machines, common methods of choosing motor oils according to the classifications set out in standards and specifications developed by the machines' producers is complicated by a number of factors. These include: backwardness of domestic standards; diversity of oils with similar characteristics, produced by different brands; difference in ecological requirements of countries; and not taking in to account the influence of actual use conditions. In these conditions it is advisable to develop a method of choosing motor oils for the maximum unified nomenclature.

POWER ENGINEERING

Novozhilov A.N., Andreeva O.A., Volikova M.P., Gasparyan A.A., Novozhilov T.A. The method of forming of system of equation of a mathematical model of electrical machines and transformers in operational modes

The method developing the mathematical model of a three phase electrical machine or transformer into two phase

one with the axis shifted on 120 electrical degrees was proposed.

Rysev P.V., Rysev D.V. Modeling of processes in nonlinear dissipation system of two independent generators with various types of connection

In the article processes in system of the connected independent generators are analyzed. The system dynamics with various types of connections – resistive and capacitor is considered. It is shown, that the type of the connection renders essential influence on behavior of the system as a whole.

Borodenko V.A. The universal device of emergency automatics of substations with electric motors

The algorithms of functioning of the starting element for emergency automatics of substations with electric motors are offered on basis of analysis of primary processes. The described device has a high degree of use of own components for any structure of loading of the consumer and a time delay, changing in function of structure of loading.

Kletcel M. Y., Nikitin K. I., Stinskiy A. S. The universal algorithm of operation directed to differential protection of a line

It is offered an algorithm of operation of differential protection two parallel lines designed with use the algebra of the logic. The definition is given in analytical and software type. It is shown that the protection built on this algorithm, unlike traditional, is grading only from unbalance current, does not disconnect the undamaged line at abruption of the phase with earthed fault and does not use "block-contacts" of breakers.

Birukov V.V., Sopov V.I., Prokushev Yu.A., Shtang A.A., Spiridonov Ev.A. The researches of trolleybuses traction and breaking modes power parameters.

The paper contains the results of experimental research. Experiment results are processed by methods of mathematical statistics. Numerical characteristics are received and the distribution laws of consumption of electric energy probabilities in a traction mode and recuperation of it in a breaking mode are proved. Distribution laws are checked up by consent criteria.

Beloglazov V.P. For equations of equament method the watching apparatus aerofilter

The mathematical model of process and the bases of calculation of the watching apparatus is assumed on the ground of the analysis of different conceptions about the trend in the flowing part of the cross-run aerofilter and the mechanism of trapping the weighing particles.

Patrushev S.B. Normative and Legal Aspects of Ecological Problems under Intergovernmental Power Structure Forming

In this paper the algorithm of reappraisal of an ecological standard under intergovernmental power structure forming with the aid of the fuzzy sets theory and interval computing is suggested. Ecological standards of two neighboring regions in an intergovernmental power structure prescribe a legislatively established interval of the maximum permissible pollutants concentration at their territories. At this interval we prescribe a value of ecology prosperity which should be corresponded to the perspective conditions of scientific and technical progress. The suggested algorithm allows to determine the ecological standards' values on any forecast period.

INFORMATION TECHNOLOGIES

Nopin S.V., Shakhov V.G. Development of the IP-telephony systems protected from non-authorized access on the basis of operational system Windows

In the article represents the features of engineering system of transfer of speech through computer networks in the

protected mode on a basis cryptographic interfaces and audio modules built-in in operational system Windows. The data on the features realization and development of the systems of IP-telephony, protected from non-authorized access, with using functionality of operational system Windows were received.

Potapov V.I. The neurocomputer system reliability index computing with man-machine symbiosis of control and managing of setting up and reestablishment process after neural net faults with absolute and terminal reliability of a man

There are software simulations of neural computer systems with man-machine symbiosis of control and managing of setting up and reestablishment process after neural net faults under the assumption of participation an operative in a setting up or changing-over process after neurocomputer system neural nets faults. This work describes probability of no-failure operation computing formulas for protozoa models. Average time of no-failure operation and readiness coefficient computing formulas are described also.

Efimova O.S., Fayzullin R.T. The usage of proper numbers at text stream encryption and identification of languages

The opportunity of usage of proper numbers corresponding to alphabets of languages in problems of recognition noisiness texts is considered. Their usage for unequivocal identification of languages is offered, areas of possible application of such approach are resulted. Using the proper numbers for changing of characteristics of initial texts at the stream encryption is also considered.

Shafeeva O.P., Koulbida V.A. Vector codes and their computer investigation

On the basis of conducted investigation vector method of coding is analyzed, computer probabilistic model for research is developed, new kind of vector codes, which allow to increase frequency of fixing errors of transferring and storing binary data in calculated system and networks are suggested.

Zadorozhnyi V.N. The combined method of modeling of cyclical service systems

The combined analytic-imitational method for calculation and optimization of cyclical systems in the queuing theory with absolute priority is developed and examined. In this method the asymptotic approximations are used for probabilistic characteristic of time's execution for not priority customs and custom's packages. The effectiveness of the method is demonstrated by an example of solution of a typical calculation problem and optimization of the cyclical system.

Ivanov L.N., Mezentsev Y.A. Models of Synthesis of Schedules in Parallel Volunteer Systems

In this article several models of parallel volunteer systems are proposed. The problems of synthesis of the optimal schedules are solved by means of these models. All the considered models belong or can be reduced to the class of the problems of linear programming with Boolean variables. The models complexity of the synthesis of optimal and sub-optimal schedules is evaluated.

Hrushev S. Practical realization of failsafe scalable access to oracle RDBMS from Java applications

Based on extensive studies, a practical implementation of failsafe scalable access to Oracle RDBMS from Java-applications is suggested. The implementation uses the JDBC technology and its extensions included into Oracle JDBC driver. The method of access proposed requires minimal efforts to provide failsafe database connections from software developers.

Slobodin V.V., Levin A.Yu. Information technologies for effective customer service management

The article opens an effect, opportunities and advantages of the informational technologies implementation to manage the customer-to-service relations.

Slobodin V.V., Levin A.Yu. Information technologies for effective customer service management

The article opens an effect, opportunities and advantages of the informational technologies implementation to manage the customer-to-service relations.

TOOLS, METHODS AND DIAGNOSTICS SYSTEMS**Veshkurtsev Yu.M., Volkov A.Yu. The characteristic function of the instantaneous particle displacement of the unbounded elastic medium**

The unbounded isotropic linear elastic medium is examined, in which the break of interatomic or molecular bonds (defect) causes instantaneous particle displacement. The relation between the parameters of the characteristic function of the particle displacements of the medium and parameters of the object of control is established, by such as distance from the observation point to the defect, the time of observation. The application of function to the control of defects by the method of acoustic emission is analyzed.

Kogut A.T., Krasulin A.V., Litovkin D.V. Complex system of diagnostic of technical status of radio engineering and control devices of the rolling-stock

The authors represented a complex system structure for technical status diagnostic of radio engineering and rolling-stock control devices. Modeling characteristics of safety of direct current railway motor and mobile-radio components was developed.

Podkovko N.F. Refractive model of complex dielectric permittivity of heterogeneous materials

As a result of the lead survey analysis prospects of use of the refractive model at data processing received by means of radio physical methods are shown. The basic possible factors limiting application of the refractive model are considered. Mathematical formulas which can be useful at processing results of measurements are received.

Maystrenko V.A., Bogachkov I.V., Eletskiy A.I., Kalunskiy E.A. Experimental research of electrodynamic properties of liquid substances in microwave range

The scheme of the experiment for research of electrodynamic properties of liquids in the microwave range is described in the given work. The formulas within limitation of the linear one-wave model and output data of preliminary experiments are indicated.

BIOLOGICAL, AGRICULTURAL AND VETERINARY SCIENCES**Baraischuk G.V., Frolova L.I. The influence of bio-fertilizers on growth rate of one or two year conifer plants**

The results of biometrical research on the influence of the bio-fertilizers made on the basis of microorganisms and natural ingredients on the growth rate of one or two year conifer plants have been shown.

Kalinenko N.A., Nikitina N.N., Nadezhda I.S. Ecological-Biological Peculiarities of recovering the Growth After Fire

In this article the results of the research of the ecological-biological peculiarities of recovering of the growth after fires in the Priishimye area located at the south of the Tyumen region are represented. It is found out that fire-sites are covered by the grassy vegetation. The growth of the new-formed fire-sites is formed out of rhizome species which conserved the seedling buds and of anemochores. The growth in pine-forests is a competitor for moisture for the woody plants. The results of the research will be utilized for the work on the preservation and rational usage of the Priishimye forest resources' biological variety.

Krolevets S. S. The analysis of bare-grained barley varieties from vir world collection in the Siberian irtish river streamside conditions

In the result of studying of VIR world collection there are revealed the bare-grained barley varieties with valuable features and properties. These varieties are the base for the creation of new bare-grained barley varieties' generation.

Gavrilova N.V., Likhacheva S.F. The heterotrophic Euglenozoa flagellates in the basins of the south part of the Omsk region

This article considers the taximetrics content of heterotrophic or colorless Euglenozoa flagellates in the South basins of the Omsk region. The peculiarities of propagation of certain species of the flagellates in different kind of basins are determined.

Baraischuk G.V., Khamova O.F. The biological activity of soil treated by bio-fertilizers during growing of conifer planting stock

The application of bio-fertilizers to change the biological activity of the soil for growing conifer plants has been described. The bio-fertilizers content micro-organisms and natural components. The comparative analysis of bio and natural fertilizers has been carried out.

Gaus M.F., Karev D.N. The efficiency of dairy cattle breeding in Omsk region

This article focuses on the efficiency of dairy cattle breeding in the Omsk region. The problems of cattle pedigrees are considered taking into account the peculiarities of their productivity.

Leyskhina V.V., Popolzhukhina N.A., Kalashnik N.A. The intensity of the spring common wheat transpiration and leaf rust resistance

The transpiration intensity was studied in three phases of spring common wheat ontogenesis in field experiments conducted in Omsk. The variability of this characteristic was assessed on susceptible varieties and resistant to leaf rust hybrids, which were received in crosses between varieties and mutant forms. It was shown that the transpiration intensity depended from the hydrothermal condition of a season, genotype and ripeness group of the variety tested and its degree of leaf rust infestation.

Gavrilchenko O.L. The physiological peculiarities of durum wheat species evolution in Western Siberia

This work provides the data analysis of main components of durum wheat species photosynthesis productivity. The species have distinguished by the time of official registration and place of breeding. A study is very important for the species' inventor, because it shows the reserves for the futures selection. In the selection period results are improved by the plant photosynthesis apparatus: the photosynthesis leaf's surface, the upper leaf particularly and the photosynthetic potential. The coefficient of economic photosynthesis productivity was increase.

Soroka V.N., Ershov V.L. The improvement of technology in winter rye growing on fallow fields of forest-steppe areas of the Western Siberia

The author discusses some problems of growing the winter rye on the steppe or partially-wooded steppe in Siberia.

Modern industrialization sometimes leads to reducing or killing the winter crops. The necessity of usage of mineral fertilizers or other means for the plant protection may give a negative effect. Thus at present an urgent and very important task is to grow ecologically safe food-stuffs on the territory of forest-steppe zone of the Western Siberia.

Khamidova A.R., Abrosimova M.G., Kassal B.Yu. Ecological monitoring of the grey pigeon sinanthropic population in Omsk region

An opportunity of the system of monitoring and information database of the grey pigeon sinanthropic population in

Omsk region and the Omsk city area is provided by the use of the potential of independent public observes.

Moskalets Yu.V., Likhachev S.F. The peculiarities of a reproductive stage of the *Trachelomonas volvocina*'s life cycle

This article considers the life cycle of euglenozoa flagellates *Trachelomonas volvocina* in the Southern water-reservoirs of the Omsk region. The peculiarities of reproduction of the species and their settlement are considered.

Zhirnova E.V. Peritricha's selection of substrates

The Peritricha's fauna of investigated 28 water-reservoirs in different physical and geographical zones of the Omsk Region including the Omsk city numbers 22 species of infusoria (two of them had been found on the external surface of the crustacea), belonging to *Vorticella* and *Epistylis* which according to the individual way of sticking can be divided into 3 groups.

Likhachev S.F., Gubanov E.E. The taxonomic variety of parasitic protozoan in fishes of some basins of the Omsk region

This article analyses the data on the content of ecto- and endoparasitic protozoan fishes living in some basins of forest-steppe area of the Omsk region.

Korchagina T.A., Likhachev S.F. The variety of species and population of the endobiotic infusoria in different parts of elk's stomach

This article represents the data on the variety and population of the endobiotic infusoria in different parts of elk's stomach.

Chernaya L.V., Likhachev S.F. The variety of ciliates in domestic ships *Ovis aries*

This article considers a variety of ciliates located in different parts of a stomach of the domestic ship in different farms of forest-steppe area of the Omsk region.

Podkujko A.A., Oschepkov V.G., Popova T.G., Bronnikov V.S. The antigenic and immunogenic properties of chemical (semi synthetic) brucellosis vaccine VNI-IBTG

In the article it is given the characteristic of essentially new vaccinal preparation (chemical vaccine VNIIBTG), intended for specific protection of animals and a human being from pathogen zoonous infections of the brucellosis. They are cited experimental data on test of intensity of immunity at the modeling animals (guinea-pigs), created this semi synthetic vaccine. It is described the dynamics of synthesis immunoglobulin (specific antibodies) at vaccinated animals revealed in various diagnostic serological reactions. Now are proved advantages of a new vaccine before used.

Meleshkov S.F. The analysis of survival ability and forecast of early decease in cats with urological syndrome

The analysis of 143 cases of the feline urological syndrome (FLUTD) in cats has been made.

Biometrically relevant clinical signs as well as treatment duration at the out-patient department of a veterinary clinic were determined.

The analysis of cat2 s survival ability by Kaplan-Meyer method was presented. The algorithm of prognostication of early upshots at FLUTD on the base of primary examination was offered. Obtained results can be used in the evidence-based medicine.

Monastirev A.M., Gizatullin A.N., Onischenko A.P. The morphological and biological properties of calf's blood at technological stresses

The blood plays important role in an organism and provides metabolism. The blood carries nutrients and oxygen and removes the metabolic products and carbonic acid.

Zelenevsky D.N., Honin G.A. The morphology of salivary glands of a golden polecat

It is determined, that on a level with the ordinary morphology legality, the male polecat golden salivary ferrics has different specific and individual features of common morphological characteristics.

Strokin M.M., Okolelov V.I. The parasite fauna in the area of the middle Irtysh River stream side

The fish parasites are an object of particular interest as the instigators of human and animal diseases. The study of the parasites spreading extensities and intensities of invasion as well as age and seasonal dynamic are necessary in the parasite cognition.

The human ration increases a share of fish that has raised a risk of infecting by specifically dangerous diseases, such as opisthorchosis and diphylliothriosis.

At the analysis of the given sources showed that the parasite's population in the area of the Irtysh River stream side was practically not studied.

MEDICINE

Kriventsev Y.A., Nikulina D.M., Bisalieva R.A. The immunochemical analysis of fetal hemoglobin concentration in blood of male and female newborns with prenatal hypoxia

On the results of the analysis the real increase of HbF level in blood of newborns with prenatal hypoxia and intrauterine developmental delay has been identified.

Sovalkin V.I., Podgurskaya E.P., Levitskaya N.A. The immunological features of patients with pleural effusion of different etiology

On the grounds of the results revealed it was proved that the pleural effusions of different etiology (parapneumonic, malignancy and tuberculous) have the typical immunologic features: misbalances of subpopulation of lymphocytes, immunoglobulins and degree of endogenous intoxication.

Baygozina E.A., Sovalkin V.I., Dolgikh T.I. Role interferona-gamma in pathogenesis of acute lung injury and nosocomial pneumonia

In the experiment on laboratory animals it is shown the protective role of IFN-r against gram-negative bacteria in pneumonia. The mechanisms of IFN-r-dependent damage of the lung is described. The subject of the further research should be the mechanisms of IFN-r in lung injury and nosocomial pneumonia.

Akhmetov T.R. The immunohistochemical examination of metaplasias, dysplasias and adenocarcinomas in Barrett's esophagus

The 63 cases of esophageal pathology including 45 Barrett's esophagus (BE) and 10 adenocarcinomas were examined using the monoclonal antibodies to cytokeratins (7,20,5,14,PAN), villin, Ki-67, PCNA, p53, cyclin-D1. The differences of IHC phenotype of intestinal and gastric metaplasias were found, evidences in support of hypothesis that BE columnar epithelium originates from squamous epithelium basal cells were acquired.

Baygozina E. A., Sovalkin V. I., Pavlov A.V., Podoynikov M.V. Problems of diagnosis of nosocomial pneumonia in multi-type hospital

On the grounds of the studies it is revealed that the frequency of diagnostic mistakes in respect of nosocomial pneumonia is 26,2%. The main problems of hypo- and hyperdiagnosis NP are: presence "masks" pneumonia, possibility of low-symptomatic or latent variants and heterogeneity of population of patients.

Naumov D.V., Dolgikh V.T., Akhmedov V.A., Dvornikov V.E. Atrial fibrillation as a version of supraventricular tachyarrhythmia wich burdens arterial hypertension

Inthe survey native foreign publications on the problem of atrial fibrillation which burdens arterial hypertension

course are analyzed. Atrial fibrillation beginning and course key pathogenetic factors and their elimination are specified. Special concern to the complex treatment course in patients with hypertension? accompanied at regular intervals by atrial fibrillation paroxysms is given.

Repin E.V., Dolgikh V.T., Ershov A.V. Chronic prostatitis: the modern approach to a problem

Being one of the most widespread and the most difficult for diagnostics and treatment of diseases, the chronic prostatitis remains poorly the investigated problem of modern urology. The diagnosis of a chronic prostatitis should be based on results of complex clinical and laboratory and tool investigations. Treatment of the patients, suffering a chronic prostatitis, should be aethyologically and pathogenetically based, in view of the given clinical researches which have been carried out according to requirements of evidence medicine.

Solomin V.Y., Viktorova I.A., Fedotov V.K., Soldatova E.Y. The platypodia as a result of connecting tissue dysplasia in children and teenagers

The problems of platypodia correlation and connecting tissue dysphasia have not been analyzed yet in detail. The authors have obtained the local manifest symptoms of the connecting tissue dysplasia with platypodia and the dysplasia changes regularity with regard to the age examining a group of children and teenagers. According to the results obtained the platypodia is discovered to be development of the dysphasia of connecting tissue at segmental level irrespective of the generalized dysplasia progress in a patient.

Fyodorova T.N., Glotov A.V., Demchenko V.G. Estimation of efficiency of rehabilitation of invalids due to professional bronchitis and chronic obstructive illness of lungs

The criteria and a technique of an estimation of efficiency of rehabilitation of invalids which consider a level of rehabilitation potential in dynamics and complex character of rehabilitation process are developed. By an example of invalids due to professional bronchitis and chronic obstructive illness of lungs the qualitative and quantitative estimation of efficiency of rehabilitation which has revealed higher parameters at chronic obstructive illness of lungs is lead.

Ashvits I.V. The health state rating in students of Primary Military Educational School (by an example of Omsk Military School).

As a result of our investigation the positive changes in the student's health state rating of Omsk Military School were found.

Krivchik G.V. Immunopathologic component and molecule-cell modifications in pathogenesis of a placental insufficiency at an infection

The article represents the literature review of the role of immunologic malfunction in pathogenesis of placental insufficiency formed on the background of infection-inflammatory diseases during pregnancy. There is the modern data of molecule-cell modifications forming pathogenetic mechanisms of placental insufficiency development. It is shown, that pathogenetic basis of placental insufficiency formation presents a complex of malfunctions including changes of vascularization, of the vessel tonus, of the hemostasis and microcirculation in placental pool, of the protein, lipid and carbohydrate exchange, of the immunal status, and also of the permeability and enzymatic activity of a placenta.

EARTH SCIENCE

Norysheva R.A., Klak N.V., Grigorjev A.I. Bioindication of the ecosystems' air pollution in the Omsk city. (The message two).

As a bioindicator of quality of snow water the seeds of two widely zoned grades of spring wheat have been tested. It is established, that the grade of Memory Azieva is surpassed on height of a ground part with the Third, and on energy of germination of seeds concedes to this grade.

Bobrov P.P., Ivchenko O.A., Krasnoukhova V.N., Pirogova T.I. Comparison of Hydrophysical and Dielectric Soil Constants

The dependence of the basic soil constants from granulometrik structure and contents of humus is investigated. It is established that for soils close in genesis and mineralogical structure. The hydrological and dielectrical constants can be expressed with the help of linear regression equations. Thus, the dielectrical method gives the best correlation with the contents of clay and humus than hydrophysical methods.

Igenbaeva N.O., Kornatsevitch I.V. Localization of solid river flows – one of most probable mechanisms of the Earth tectonics

For the first time the distribution of locus river flows on the Earth continents discharging crushed rocks settling on shelves and forming higher pressure locus to the Earth crust and asthenosphere was analyzed.

Karnatsevitch I.V. Aliens and climate change

On the grounds of bibliographical data some aspects of the global climate change are analyzed.