



ОМСКИЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

№ 10 (48), декабрь 2006 г.

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:
А. М. Соломатин –
министр образования Омской области
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 социол. наук
Л. О. Штриллинг –
д-р техн. наук

Ответственный секретарь –
канд. ист. наук Г. И. Ессеева

Редакторы –
Л. П. Каланина, Л. Н. Лиценбергер
Компьютерная верстка
М. А. Зингельшхер
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», ОмГТУ

Подписано в печать 24.12.06
Формат 60x84 1/8. 23,75 усл. печ. л.
Бумага офсетная. Отпечатано на дупликаторе
на кафедре «Дизайн, реклама и технология
полиграфического производства».
Тираж 1000 экз. (1-й завод 1–200). Заказ 47.

Серия «Приборы, машины и технологии»

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

Н. В. Островский. Влияние Луны и Солнца на напряженность гравитационного поля у поверхности неупругой Земли.	5
Е. А. Альтман. Оптимизация вычислительной схемы быстрого преобразования Фурье.	9
А. Т. Когут, Н. Ю. Безбородова. Определение точности и показателей сходимости итерационных алгоритмов, учитывающих вторые производные.	11

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

И. А. Кировская, Е. И. Быкова, О. Т. Тимошенко, Т. Н. Филатова. Адсорбционные и электрофизические исследования поверхности компонентов системы InSb-CdTe.	15
И. А. Кировская, Е. Г. Шубенкова, О. Т. Тимошенко, Т. Н. Филатова. Кислотно-основное состояние поверхности компонентов системы InSb-ZnTe.	20
И. В. Мозговой, Г. М. Давидан, А. Г. Нелин, Л. Н. Олейник, Е. Д. Скутин. Изомеризация легких бензиновых фракций – перспективный способ повышения качества автомобильных бензинов.	26

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

Н. Г. Иванчикская, В. Г. Буров. Графическое образование в вузе: содержание и информационные технологии.	31
К. Л. Панчук, В. Я. Волков. Соприкосновение кривых в эллиптической плоскости и их аналогов в линейчатом пространстве.	35
Э. К. Сморцков. О связи аналитических, геометрических и графических расчетов на комплексном чертеже одной проекционной задачи.	39

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

П. Д. Балакин, Э. А. Кузнецов, В. А. Лобов, П. А. Прозоров. Модель первого приближения реальной связи с зазором штока амортизатора с направляющей втулкой его корпуса в условиях переменного и знакопеременного нагружения.	41
В. Б. Масягин, С. Б. Скобелев. Определение режимов процесса ударно-акустической обработки.	45
С. М. Овчаренко. Распознавание катастрофического изнашивания деталей дизеля на основе модели нейронной сети.	49
Е. А. Лысенко. Характеристики поршневого компрессора с газовой поддержкой поршня и комбинированным механизмом привода.	52
Е. Ю. Носов, Е. А. Павлюченко. Интенсификация охлаждения ротационных компрессоров с катящимся ротором.	55
В. И. Сологаев, К. А. Кравцов. Прогноз подпретой фильтрации из очага подтопления в сухой грунте.	59
С. Н. Литунов. Моделирование работы краскоподающего механизма трафаретного печатного устройства с ракелем валкового типа.	61
В. С. Щербаков, А. М. Минитаева. Автоматизация процесса составления математических моделей гидроприводов.	65

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Д. Н. Коротаев, Ю. К. Машков. Технологические возможности управления износостойкостью поверхностей трения при электроискровом легировании.	71
---	----

**ТРЕБОВАНИЯ
К ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ,
НАПРАВЛЯЕМЫХ В "ОНВ"**

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

О рассмотрении поступивших материалов. В редакции все поступившие статьи направляются на рецензирование. Высказанные замечания передаются автору по электронной почте либо обычным письмом. После переработки материалы вновь рассматриваются рецензент, после чего принимается решение о направлении в печать.

Об оформлении. Статью необходимо набрать на компьютере в текстовом редакторе Word, распечатать на бумаге форматом А4 (210x297 мм). Оригинал должен быть чистым, не согнутым, без ручных правок, страницы пронумерованы карандашом на обороте. Окончательный вариант статьи должен содержать не более 12 страниц. Наряду с распечатанной представляется электронная версия на диске (3,5 дюйма), CD, DVD либо по электронной почте E-mail: evga-18@mail.ru .

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

Заголовок. В верхнем левом углу листа проставляется УДК. Далее по центру жирным шрифтом (Ж) Times New Roman Стегразмером 14 пт печатается название статьи (прописная буква только первая), ниже обычным шрифтом (14 пт) — инициалы, фамилия автора, строкой ниже полное название организации. Ниже через строку помещается текст реферата на русском языке. Ещё через строку помещают основной текст статьи.

Основной текст статьи набирается шрифтом Times New Roman Стег 14 пт. Абзацный отступ 0,5 см. Межстрочный интервал полуторный.

Ссылки на литературные источники оформляются числами, заключенными в квадратные скобки (например, [1]). Ссылки должны быть последовательно пронумерованы. Библиографический список оформляется в порядке ссылок по тексту и помещается после основного текста. Библиографические описания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 и тщательно выверяются.

Примечания оформляются числами в виде верхнего индекса. Примечания должны быть последовательно пронумерованы. Тексты примечаний помещаются после основного текста перед библиографическим списком.

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

Формулы. Простые внутристрочные и однострочные формулы могут быть набраны без использования специальных редакторов — символами (допускается использование специальных символов из шрифтов Symbol, Greek Math Symbols, Math-PS, Mathematica BTT). Сложные и многострочные формулы должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0. Смешение символов из текстовых редакторов с символами из редактора формул не допускается. В распечатанном варианте должны быть подчеркнуты простым карандашом прописные буквы двумя чертами снизу, строчные буквы — двумя чертами сверху — в случаях, когда написание строчных и прописных букв совпадает и отличается только величиной. Индексы поясняются или дублируются простым карандашом на полях.

В. В. Акимов, М. В. Акимов, С. Н. Кульков. Характер разрушения композиционных материалов TiC-TiNi с использованием фрактографических исследований. 74

И. В. Мозговой, А. Г. Нелин, Г. М. Давидан, Е. И. Мозговой, О. И. Мозговой. Исследование воздействия энергетических полей на полиэтилен. 76

Ю. Н. Ивлев, Н. В. Наймушина. Обоснование использования штифтовых конструкций из сплава никелида титана в клинике ортопедической стоматологии. 84

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

В. В. Бирюков. Определение закона регулирования частотного тиристорно-импульсного преобразователя постоянного тока в режиме пуска. 87

А. Ю. Ковалев, Ю. З. Ковалев. Математическая модель электромеханических процессов погружных электродвигателей. 90

М. Я. Клещель, К. И. Никитин, А. С. Стинский. Отношения токов фаз — основа для построения резервной защиты трансформатора. 93

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

В. А. Бороденко. Моделирование в процессе синтеза устройств системной автоматики. 96

В. И. Горбунков, А. П. Попов. Регулирование импульса энергии при электронном дозировании излучения ртутных ламп. 100

И. В. Мозговой, А. Г. Пономарев, С. Г. Мальцев. Об исходных требованиях к техническим характеристикам индикаторов оперативного контроля работы паровых стерилизаторов, изготовленных до 1996 г. 103

А. В. Кобылкин. Управление процессом обезвоживания нефти при подготовке к транспортированию. 111

В. А. Спиридовон. Исследование сельскохозяйственного объекта Омской области средствами GPSS. 114

РАДИОТЕХНИКА, СВЯЗЬ И ЭЛЕКТРОНИКА

Ю. Н. Кликушин. Методика и алгоритм классификации сигналов. 117

И. И. Семенов, А. И. Тихонов, М. В. Бабиков. Пути построения и экспериментальные исследования систем радиосвязи сверхнизких частот с использованием бинарных широкополосных сигналов. 125

В. А. Майстренко, С. Д. Коровин. Алгоритмы управления частотно-временным ресурсом адаптивной радиолинии декаметровой связи с ППРЧ в условиях сложной радиоэлектронной обстановки. 134

Д. Н. Коваленко, О. Н. Коваленко, К. С. Фадеев. Проблемы взаимодействия коммутационных систем с использованием PRI. 139

П. А. Лутов, В. А. Шапцев. Концепция системы мониторинга и поддержки деятельности по освоению, внедрению и обслуживанию программных комплексов сторонних производителей. 141

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С. И. Соломонова. Информационные технологии в реструктуризации и управлении производственными процессами на предприятиях машиностроения. 143

С. В. Нопин, В. Г. Шахов. Использование криптографических интерфейсов операционной системы Windows при разработке систем IP-телефонии, защищенных от несанкционированного доступа. 149

И. В. Потапов. Информационная избыточность искусственных нейронов и нейронных сетей как фактор их надежного функционирования. 153

Если в тексте статьи содержатся таблицы и иллюстрации, то они должны быть пронумерованы («Табл. 1», «Рис. 1» жирным шрифтом), озаглавлены (таблицы должны иметь заглавие, а иллюстрации – подрисуночные подписи, те и другие жирным шрифтом) и помещены в самом конце статьи, после аннотации на английском языке. В основном тексте должны содержаться лишь ссылки на них.

Список литературы. Если в тексте есть ссылки на литературу, ниже основного текста (или текстов примечаний) печатается по центру жирным шрифтом заглавие «Библиографический список» и помещается пронумерованный перечень источников в соответствии с действующими требованиями к библиографическому описанию.

Таблицы помещаются на новой странице после списка литературы последовательно, согласно нумерации. 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 размещаются на новой странице после таблиц (или списка литературы) последовательно, согласно нумерации. Если иллюстрация имеет большой формат, она 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 или выполнены средствами компьютерной графики. Допускается, а в случае с иллюстрациями большого объема (файла) приветствуется, размещение иллюстраций в отдельном файле электронной версии. Подписи к иллюстрациям могут прилагаться на отдельных страницах.

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.

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., Григорьян В.В. // Омский научный вестник. – 200... – Вып. – С. – Рис.

На основании проведенных исследований установлены качественные и количественные зависимости между отдельными параметрами процесса вытяжки: относительным зазором между луансоном 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.

К распечатанному варианту статьи необходимо приложить следующие сведения об авторе: фамилия, имя, отчество; ученая степень, звание, должность, место работы, номер телефона; 2 рецензии специалистов с ученоей степенью (внутреннюю и внешнюю).

Статьи должны быть подписаны всеми соавторами.

Электронный вариант статьи можно передать по E-mail: evda-18@mail.ru
Распечатанные варианты по почте: 644050, г. Омск, просп. Мира, 11. Технический университет. Редакция журнала «ОНВ», Евсевой Г. И.

О. З. Исьянов. К вопросу управления интеллектуальным зданием.	157
А. Н. Носырев. Контроль объектов информационной системы с использованием поведенческой модели.	159
Н. Г. Лукьяненко. Обоснование интегрированной модели «информатика и иностранный язык» в условиях информационной образовательной среды школы Крайнего Севера.	161

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Е. Ю. Белянина. Технологический подход к проектированию курса математики для студентов экономических специальностей.	165
Л. А. Горбунова. Задачи как средство формирования математической деятельности учащихся.	168
И. А. Дроздова, С. А. Минабудинова. Проблема развития навыков практического применения математических знаний в процессе адаптации студентов первого курса технического вуза.	170
Е. Е. Алексеева. Ассоциативный закон в числовых рядах. Методический аспект.	172
А. В. Семкин. Математическое моделирование как средство осуществления профессиональной направленности обучения математике в колледже технического профиля.	176
Е. А. Александрова. Педагогические условия формирования коммуникативной компетентности у студентов технического вуза посредством автоматизированной обучающей системы.	180
А. Л. Каткова. Использование компьютерных игр в процессе обучения информатике для стимулирования познавательного интереса студентов.	182

Информация	124, 133, 138, 152
Книжная полка	34, 44, 54, 86, 116
Contents	186
Summary	188

Информация

**Министерство образования и науки РФ
Ассоциация образовательных и научных учреждений
«Сибирский открытый университет» (АСОУ)
Томский государственный университет (ТГУ)**

**Шестая Международная научно-практическая конференция-выставка
«Единая образовательная информационная среда: проблемы и пути развития».**

С 20 по 22 сентября 2007 года в Томском государственном университете

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 Российской Федерации, ближнего и дальнего зарубежья.

Материалы должны быть присланы в адрес оргкомитета не позднее 5 сентября 2007 г.

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)

Возможно участие в конференции без доклада (заявка обязательна).

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 531.5

Н. В. ОСТРОВСКИЙ

Вятский государственный
университет, г. Киров

ВЛИЯНИЕ ЛУНЫ И СОЛНЦА НА НАПРЯЖЁННОСТЬ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ У ПОВЕРХНОСТИ НЕУПРУГОЙ ЗЕМЛИ

Даны описание классической теории влияния небесных тел на напряженность гравитационного поля Земли и обзор результатов экспериментальных исследований в данной области. Проведены вычисления гравитационных эффектов за счёт Луны и Солнца с использованием обобщённого уравнения гравитационного взаимодействия. Показано, что эти вычисления дают лучшую сходимость с экспериментальными данными.

Введение

Величина и направление силы тяжести в любой точки поверхности Земли непостоянны — они непрерывно меняются вследствие изменения взаимного расположения пробной точки, Луны и Солнца. Наиболее известным следствием этого являются морские приливы.

В соответствии с законами механики результирующая сила, действующая на какое-либо тело, равна векторной сумме всех приложенных сил. Следовательно, для того, чтобы найти зависимость силы притяжения к центру Земли (напряженности гравитационного поля) в определённой точке, необходимо определить величины и направления всех сил,

воздействующих на неё. К таким силам следует отнести: 1) силу тяготения к центру Земли, 2) центробежную силу, 3) силу упругости, 4) силу тяготения к Луне и 5) силу тяготения к Солнцу. Для данной точки на земной поверхности первые две силы постоянны. Сила упругости численно равна силе притяжения, т.е. сумме всех сил тяготения и центробежной силы. Величина сил тяготения к Луне и Солнцу будет определяться, как уже было отмечено выше, взаимным расположением пробной точки и небесных тел.

1. Классическая теория приливных эффектов

Сила тяготения между двумя телами в классической механике описывается уравнением Ньютона:

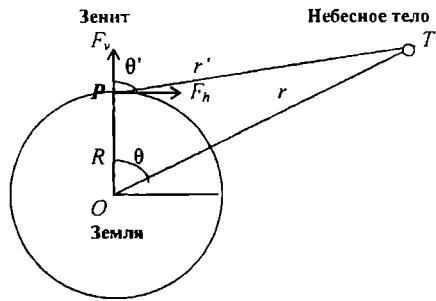


Рис. 1. Схема для описания гравитационного эффекта небесных тел

$$F_G = G \cdot M \cdot m / r^2 \quad (1)$$

где G – универсальная гравитационная постоянная, M и m – массы взаимодействующих тел, r – расстояние между телами.

Данное уравнение можно переписать в несколько ином виде:

$$F_G = m \cdot \text{grad} U_G \quad (2)$$

где $U_G = G \cdot M / r$ – гравитационный потенциал; $\text{grad} U_G = g$ – напряжённость гравитационного поля.

Эффект силы притяжения небесного тела в данной точке (точка P на рис. 1) определяется разностью между этой силой и силой притяжения к центру Земли [1, с. 175-176] и может быть разделён на вертикальную:

$$g_v = G \cdot m_T (\cos \theta' / r'^2 - \cos \theta / r^2) \quad (3)$$

и горизонтальную:

$$g_h = G \cdot m_T (\sin \theta' / r'^2 - \sin \theta / r^2) \quad (4)$$

компоненты.

Расстояние от пробной точки до небесного тела r' может быть вычислено как разность между векторами R и r :

$$r' = (R^2 - 2R \cdot r \cos \theta + r^2)^{1/2}. \quad (5)$$

Выразив r' через r и R и θ' через θ и учитывая, что $R \ll r$, получим приближённо:

$$g_v = 3 \cdot G \cdot m_T \cdot R \cdot (\cos^2 \theta - 1/3) / r^3 \quad (6)$$

$$g_h = (3/2) \cdot G \cdot m_T \cdot R \cdot \sin(2\theta) / r^3 \quad (7)$$

Величину гравитационной постоянной можно выразить через напряжённость гравитационного поля Земли:

$$g_E = G \cdot m_E / R^2. \quad (8)$$

Тогда:

$$g_v = 3 \cdot g_E \cdot (m_T / m_E) \cdot R^3 \cdot (\cos^2 \theta - 1/3) / r^3 \quad (9)$$

$$g_h = (3/2) \cdot g_E \cdot (m_T / m_E) \cdot R^3 \cdot \sin(2\theta) / r^3 \quad (10)$$

Из уравнения (9) следует, что максимальное значение (по модулю) g_v может принимать при значениях θ равных 0 и π . Расчёты показывают [1, с. 177], что максимальная величина g_v должна составлять: для Луны 0,109 мГал и для Солнца – 0,041 мГал (1 Гал = 1 см/ s^2 , $g_E = 979,7$ Гал [2, с. 21]).

Несколько иной подход содержится в монографии [3] (см. рисунок 2). В данной модели предполагается, что Земля и Солнце обращаются вокруг общего центра масс. Важной особенностью этой модели

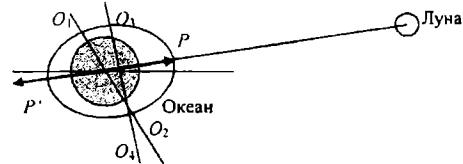


Рис. 2. Приливной эффект для обращения Луны и Земли вокруг общего центра масс

является то, что в отличие от рассмотренной ранее она даёт физическое объяснение возникновению второго приливного горба – когда Луна (Солнце) находится в оппозиции к пробной точке (точка P'). Причину этого видят в центробежной силе, которая должна возникнуть за счёт движения вокруг оси O_3O_4 , проходящей через центр масс.

Данное представление было введено Ньютоном [4, с. 528] для того, чтобы объяснить нахождение Луны на околоземной орбите. Ведь вычисленная по уравнению Ньютона сила притяжения Луны к Солнцу в два раза превосходит силу притяжения Луны к Земле. Поэтому Луна должна была бы обращаться вокруг Солнца. Рассмотренная ранее модель не позволяет объяснить данный феномен. Однако представление об обращении Луны и Земли вокруг общего центра масс противоречит данным астрометрических наблюдений [5] и не рассматривается в серьёзных обзорах [6].

Но вернёмся к монографии [3]. Создаваемый Луной в точке P' приливной потенциал равен [3, с. 159]:

$$U_M = G \cdot M_M \cdot (1/r' - 1/r - R \cdot \cos \theta / r^2). \quad (11)$$

Данное уравнение можно преобразовать, разложив член $1/r'$ в ряд по полиномам Лежандра и выразив геоцентрическое зенитное расстояние Луны θ через склонение Луны δ , её часовой угол t и геоцентрическую широту ϕ точки P [3, с. 160]:

$$\cos \theta = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos(t - \pi) \quad (12)$$

В результате мы получим следующее выражение [3, с. 160]:

$$U_M = N(r) \cdot (c/r)^3 \cdot [3 \cdot (1/3 - \sin^2 \delta) \cdot (1/3 - \sin^2 \phi) - \sin 2\phi \cdot \sin 2\delta \cdot \cos t + \cos^2 \phi \cdot \cos^2 \delta \cdot \cos 2t] \quad (13)$$

Аналогичное уравнение может быть выведено и для Солнца.

Чтобы получить составляющие приливного ускорения в точке P , берут соответствующие производные приливного потенциала, так как вариация g определяется выражением $-dU/dr$. Первый член в уравнении (13) зависит только от δ и ϕ , поэтому он обуславливает долгопериодические приливы. Сомножитель $\cos t$ во втором члене указывает на приливы в одни (лунные) сутки, а третий член, содержащий множитель $\cos 2t$, создаёт полусуточный прилив [3, с. 161].

К этим рассуждениям нужно сделать одно уточнение. Уравнение (13) – это аппроксимационное уравнение. «Наличие» в уравнении (13) полусуточных приливов является случайным и не содержит теоретического обоснования.

2. Экспериментальное определение приливных эффектов

Попытки экспериментально определить приливные вариации напряжённости гравитационного

поля Земли относятся ещё к XVIII веку, но приборы, обладающие необходимой чувствительностью, появились лишь в конце XIX века. Однако появление высокочувствительных приборов, позволяющих регистрировать изменения как величины ускорения силы тяжести (вертикальная составляющая), так и направления силы тяжести (горизонтальная составляющая), не дали возможность прямого определения приливных эффектов. Дело в том, что абсолютные значения приливных эффектов имеют один порядок с сейсмическими колебаниями и маскируются ими. Поэтому для выделения приливных эффектов из общей величины флюктуации напряжённости гравитационного поля Земли используется гармонический анализ.

Измерения угла отклонения маятника оказались более надёжными по сравнению с измерениями ускорения силы тяжести. Величина угла отклонения β равна отношению горизонтальной компоненты приливного эффекта к ускорению силы тяжести Земли:

$$\beta \approx g_h/g_E. \quad (14)$$

Большой комплекс исследований был проведён российским учёным Иваном Егоровичем Картацици, использовавшим горизонтальный маятник конструкции Ребера-Пашвица [7, с. 132]. При этом было установлено, что наблюдаемые эффекты в среднем составляют от 0,42 до 0,58 от вычисленных теоретически (параметр γ) [8, 9]. Аналогичные результаты получили Элерт в Страсбурге, Швейдер в Гейдельберге, Геккер в Потсдаме [7, с. 133]. Александр Николаевич Орлов провёл обобщение большого массива экспериментальных данных, включая собственные, полученных в различных географических точках, и получил, что наблюдаемый приливной эффект составляет $0,66 \pm 0,02$ от теории [10]. З.Н. Аксентьев, обработав все наблюдения на томской станции, нашёл, что приливной эффект составляет 0,52 теоретического [11]. Более поздние измерения дают величину $\gamma 0,653 \pm 0,012$ для меридиональной составляющей и $0,683 \pm 0,007$ – для широтной [12, с. 275] (без указания первоисточника).

Эти расхождения между теорией и экспериментом позволили предположить, что их причиной является растяжение земной коры под влиянием Луны и что приливы происходят не только в океане, но и в твёрдой оболочке Земли [8]. Впоследствии эти предположения оформились в теорию упругих деформаций Земли, которая, по мнению [13], полностью согласуется с результатами измерений.

3. Расчёт приливных эффектов с помощью обобщённого уравнения гравитационного взаимодействия

Используемые до сих пор расчёты приливных вариаций напряжённости гравитационного поля Земли проводились на основании уравнения Ньютона. В то же время показано, что уравнение Ньютона непригодно для решения задач многих тел [5, 14]. А задача, связанная с приливными эффектами, включает четыре тела: пробную точку, Землю, Луну и Солнце. Для вычисления силы взаимодействия между двумя телами в системе из n тел было предложено обобщённое уравнение гравитационного взаимодействия [15]:

$$F_{12} = G \cdot m_1 \cdot r_{12} \sum_{i=2}^n m_i \cdot r_{1i} / r_{1i}^4. \quad (15)$$

где: r_i – радиус-вектор i -того тела относительно тела 1, которое для системы из двух тел сводится к уравнению Ньютона. Данное уравнение было проверено для систем Солнце-Юпитер-Пасифе [16], Солнце-Юпитер-Синопе [17], Солнце-Земля-Луна [18].

Основным отличием обобщённого уравнения гравитационного взаимодействия от уравнения Ньютона является то, что в нём гравитационный эффект тела обратно пропорционален кубу расстояния, а не квадрату, как в уравнении (1). Направленность и величина результирующей силы определяются векторной суммой составляющих. Если теперь перейти к системе Пробная точка-Земля-Луна-Солнце, то в принятой в первом разделе терминологии первый член суммы при $j=2$ будет определять собственно силу тяготения Земли, а последующие члены – приливные вариации Луны и Солнца. При этом вертикальная составляющая будет равна проекции вектора силы тяготения небесного тела на вектор силы тяготения Земли, а горизонтальная составляющая – проекции на нормаль к вектору силы тяготения Земли:

$$g'_{\nu} = G \cdot R \cdot m_7 \cdot \cos(\angle OPT) / r^3 \quad (16)$$

$$g'_{\lambda} = G \cdot R \cdot m_7 \cdot \sin(\angle OPT) / r^3 \quad (17)$$

Величину угла OPT мы найдём из треугольника OPT , приняв, что $\sin(\angle OTP) \approx \angle OTP$:

$$\angle OPT \approx \pi - \theta - R \cdot \cos \theta / r' \quad (18)$$

4. Сопоставление моделей

Теперь проведём сопоставление результатов расчётов по обеим моделям, ограничившись влиянием Луны. Начнём с вертикальной составляющей, определяющей вариации модуля ускорения силы тяжести. Анализ функции, описываемой уравнением (9), показывает (см. рис. 3), что, имея период 180 град., она принимает максимальные значения (0,110 мГал) для зенитного расстояния Луны $\theta=0$ и $\theta=180$ град. и минимальное значение (-0,055 мГал) для $\theta=90$ град., проходя через ноль при $\theta \approx 58$ и $\theta \approx 124$ град. Хотя период данной функции совпадает с периодом морских приливов, данные значения функции не укладываются в рамки теоретических представлений о характере гравитационных взаимодействий. Это, во-первых, относится к нулевым эффектам при 58 и 124 град., где мы должны ожидать некоторых промежуточных значений. Во-вторых, необъяснимы-

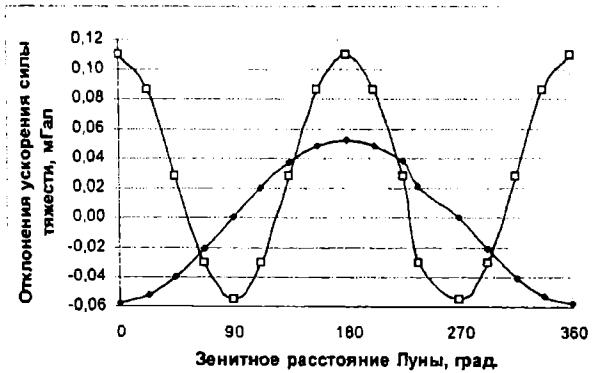


Рис. 3. Отклонения ускорения силы тяжести Земли за счёт влияния Луны, рассчитанные по уравнению (9) (□) и по уравнению (18) (—)

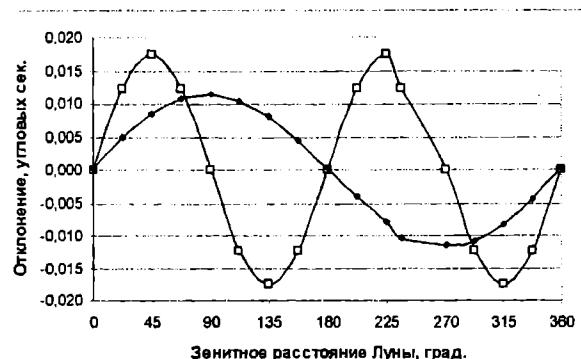


Рис. 4. Величины угла отклонения вектора ускорения силы тяжести Земли, рассчитанные по уравнению (10) (□) и по уравнению (17) (○)

ми являются отрицательные значения вертикальной компоненты в квадратурах ($\theta = 90$ и $\theta = 270$), где эффект должен быть нулевым.

Функция по уравнению (16), напротив, имеет период 360 град., что вдвое превосходит период морских приливов. Но сам вид функции вполне согласуется с общими представлениями о характере векторных взаимодействий. Хотя обсуждение собственно морских приливов не является предметом данной статьи, необходимо подчеркнуть ещё раз, что образование приливного «горба» в оппозиции к небесному телу не имеет строгого объяснения.

Размах амплитуды колебаний по уравнению (16) равен 0,11 мГал, а по уравнению (9) — 0,16 мГал. Отношение данных величин с точностью до погрешности равно величине γ .

В случае горизонтальной составляющей уравнение (10) опять-таки имеет период 180 град. (рис. 4). Причём максимальное отклонение вектора ускорения силы тяжести имеет место при $\theta = 45$ и 135 град., а нулевое — при $\theta = 90$ град., хотя мы вправе были бы ожидать, что при $\theta = 90$ град. отклонение должно быть максимальным.

Уравнение (17) имеет период 360 град., и характер функции полностью отвечает теоретическим представлениям. Различие в знаках угла отклонения при 90 и 270 град. связано с тем, что направления смещения вектора, отсчитываемые в круговых координатах, являются противоположными.

Амплитуда отклонений вектора силы тяжести, рассчитанная по уравнению (10), составляет $\pm 0,017$ угловых секунд, а по уравнению (17) — $\pm 0,012$. Соотношение амплитуд вновь равно найденной величине γ . Таким образом, вычисления приливных на основании уравнения (14) дают лучшую сходимость по сравнению с результатами вычислений по уравнениям (9) и (10).

Заключение

Проведённый анализ показал, что обобщённое уравнение гравитационного взаимодействия позволяет построить лучшую по сравнению с известными модель приливных гравитационных эффектов.

Полученная модель имеет удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными по определению приливных эффектов, что делает излишним гипотезу об упругих деформациях Земли.

Библиографический список

- Цубой Тюдзи. Гравитационное поле Земли. М.: «Мир», 1982 г., 288 с.
- Веселов К.Е., Сагитов М.У. Гравиметрическая разведка. М.: «Недра», 1968 г., 512 с.
- Герленд Дж. Д. Форма Земли и сила тяжести. М.: «Мир», 1967 г.
- Ньютона И. Математические начала натуральной философии. Пер. с латинского. М.: «Наука», 1989 г.
- Николай Островский об обращении Земли и Луны вокруг общего центра инерции. // Интернет-журнал Membrana, 19 декабря 2002 г., URL: <http://www.membrana.ru/articles/readers/2002/12/19/182600.html>.
- Холшевников К.В. Луна — спутник или планета? // Интернет-сайт Astronet, 10 марта 2003 г. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1171221>.
- Медунин А.Е. Развитие гравиметрии в России. М.: «Наука», 1967 г., 223 с.
- Кортадци И. Наблюдения с помощью горизонтального маятника Ребер-Пашвица на Николаевской обсерватории. // Известия РАО, 1895, вып. IV, с. 24-55. Цитируется по [7].
- Кортадци И. Наблюдения с помощью горизонтального маятника Ребер-Пашвица на Николаевской обсерватории. // Известия РАО, 1896, вып. V, № 6, с. 24-55. Цитируется по [7].
- Орлов А.Я. Результаты юрьевских, томских и петропавловских наблюдений над лунно-солнечными деформациями Земли. // Труды астрономической обсерватории Новороссийского университета. Одесса: 1915, № 2, с. 259-268. Цитируется по [7].
- Аксентьев З.М. Окончательные результаты определения волны M2 в колебаниях отвеса в Томске с 1912 по 1920 гг. // Труды Полтавской гравиметрической обсерватории, т. 4. Киев: Изд-во АН УССР, 1951 г. Цитируется по [7].
- Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. Учебник для вузов. М.: «Недра», 1980, 320 с.
- Копаев А.В. Лунно-солнечные приливы в астрономии и геодинамике. // Тезисы докладов Всероссийской астрономической конференции ВАК-2004 «Горизонты вселенной», МГУ, ГАИШ, 3-10 июня 2004 г. // Труды государственного астрономического института им. П.К. Штернберга, том LXXV, с. 229.
- Островский Н.В. Обобщённое уравнение гравитационного взаимодействия. // Пленарные доклады Второй международной конференции «Наука и будущее: идеи, которые изменили мир», Москва, ГГМ РАН им. В.И. Вернадского, 15-19 мая 2005 г. М.: фонд «Наука и будущее», 2005, с. 59-61. (URL: <http://www.scienceandfuture.sgm.ru>).
- Островский Н.В. Решение задачи трех тел на примере системы Солнце-Земля-Луна. // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Наука — производство — технологии — экология». Киров: Вятский государственный университет, 2003 г., т. 4, с. 74-75.
- Островский Н.В. Физическая модель движения спутника Юпитера Гасифе. // Вестник Удмуртского университета. Серия «Физика», 2005 г., № 4, с. 41-50.
- Nikolai V. Ostrovski. Physical model of the orbital movement of the Jupiter satellite Sinope. // Gamov Memorial International Conference dedicated to 100-th anniversary of George Gamov «Astrophysics after Gamov — theory and observations». Abstracts. Odessa: «Astroprint», 2004, p. 124-125.
- Островский Н.В. Модель орбитального движения небесных тел. Система трёх тел. // Актуальные проблемы современной науки. 2005 г., № 2, с. 85-87.

ОСТРОВСКИЙ Николай Владимирович, кандидат технических наук, преподаватель.

Статья поступила в редакцию 24.10.06 г.
© Островский Н.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СХЕМЫ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

В статье предлагается метод повышения быстродействия функции быстрого преобразования Фурье, основанный на использовании дополнительного буфера данных с целью ускорения доступа к памяти и уменьшения количества операций над указателями.

Быстрое преобразование Фурье является одним из наиболее часто используемых алгоритмов цифровой обработки сигналов. В том или ином варианте он применяется при гармоническом анализе, кодировании различного рода мультимедиа информации, фильтрации сигналов и для решения других задач. В связи с этим большое значение имеет эффективная реализация этого алгоритма для различных цифровых и универсальных процессоров.

Под названием «быстрое преобразование Фурье» (БПФ) скрывается большое количество различных алгоритмов, вычисляющих дискретное преобразование Фурье (ДПФ), каждый из которых имеет свои преимущества. Алгоритм Винограда (Winograd) проводит преобразование с минимальным количеством умножений, алгоритм Джонсона-Барраса (Johnson-Burrus) имеет минимальное суммарное количество операций сложения и умножения. Наибольшее практическое распространение получили алгоритмы Кули-Тьюки (Cooley-Tukey), имеющие удобную структуру для программной реализации [1].

Алгоритмы Кули-Тьюки позволяют организовать вычислительный процесс таким образом, чтобы на каждой стадии вычислений результаты размещались в тех же ячейках памяти, что и входные данные (так называемые вычисления «на месте», *in-place*). Эта схема оказалась удобной в реализации и получила широкое распространение. Алгоритмов и программ, использующих другие схемы, автору обнаружить не удалось.

Вместе с тем, вычисление БПФ «на месте» обладает рядом недостатков. Основной недостаток связан с тем, что на каждой стадии данные из памяти нужно считывать не последовательно, а в определенном порядке. В некоторых вычислительных системах последовательное считывание данных из памяти выполняется быстрее, чем при произвольном доступе к памяти, кроме того, для произвольного доступа требуется использование адресной арифметики.

Для увеличения быстродействия БПФ автором была предложена следующая идея: вычислительный процесс нужно организовать таким образом, чтобы на каждой стадии данные для обработки можно было бы считывать из памяти последовательно. Для этого на предыдущей стадии результаты вычислений нужно сохранять в требуемом порядке.

При реализации этой идеи данные на различных стадиях вычислений будут расположены различным образом, т.е. организовать вычисления «на месте» при данном подходе не получится. Поэтому для хранения данных нужно использовать два буфера. В те-

кущей стадии один из них используется для входных данных, другой — для выходных, на следующей стадии они меняются местами. В русском языке для обозначения такого подхода часто применяется термин «пинг-понг», на английском, по аналогии с обычной схемой, более удачным будет название «out-place».

Применительно к БПФ можно реализовать различные схемы типа «пинг-понг». В данной статье излагается один из возможных подходов к построению таких схем, позволяющий, по мнению автора, получить наиболее эффективные и простые в реализации алгоритмы.

Для изложения этого подхода отметим некоторые моменты, лежащие в основе алгоритмов Кули-Тьюки.

ДПФ для N точек, где $N = M \cdot L$, можно выполнить более эффективно следующим способом:

- исходный массив из N элементов представляется в виде двумерной матрицы размером $M \times L$;
- вычисляются L -точечные ДПФ всех столбцов;
- все элементы матрицы умножаются на так называемые поворачивающие множители (twiddle factors);
- вычисляются M -точечные ДПФ всех строк;
- меняются местами строки и столбцы с получением спектра сигнала.

Данная схема может применяться рекурсивно, т.е. в том случае, если L или M составное число, ДПФ строк (или столбцов) также вычисляется с помощью представления строки (столбца) в виде матрицы.

В том случае, если N является степенью двойки, рекурсивные вычисления можно реализовать, оставляя на каждой стадии столбцы (строки) из двух элементов и выполняя вычисления ДПФ для двух точек. Это будет алгоритм Кули-Тьюки по основанию 2. Если на каждой стадии выполнять ДПФ для четырех точек, то получится алгоритм по основанию 4.

Обмен строк и столбцов после каждой стадии вычислений не позволяет организовать вычисления «*in-place*», поэтому применяется другой подход — один раз до или после выполнения основной операции (в зависимости от того, для строк или столбцов выполняется двухточечная ДПФ) выполняется так называемая бит-реверсная (дигит-реверсная для алгоритмов по основанию 4) сортировка элементов. Соответственно различают так называемые алгоритмы с прореживанием по частоте и с прореживанием по времени [2].

Рассмотрим возможный вариант реализации «*out-place*» алгоритма Кули-Тьюки по основанию 2.

На входе алгоритма мы имеем N точек входного сигнала, $N = 2^K$, где K — количество стадий алгоритма.

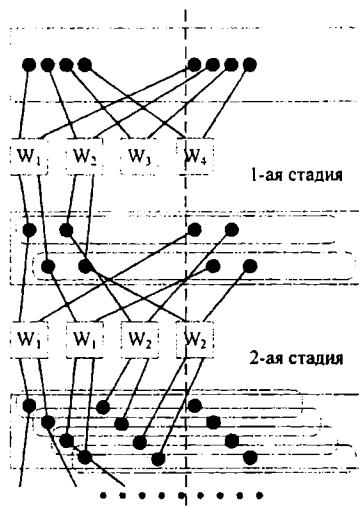


Рис. 1. Структура обработки данных

На первой стадии представляем входные данные в виде матрицы из двух строк. Первая строка располагается в первой половине буфера, вторая строка — во второй половине. Над элементами каждого столбца выполняется двухточечное БПФ, умножаются нужные элементы на поворачивающие множители и записываются в выходной буфер в следующем порядке: первый элемент первого двухточечного БПФ, второй элемент первого двухточечного БПФ и далее элементы других БПФ.

Графически эта операция изображена на рисунке 1. На нем прямоугольниками обозначены буфера, точками — комплексные числа, над которыми выполняется БПФ, квадратами — операция двухточечного БПФ с умножением на поворачивающий множитель. Буфера представляют собой массивы, порядок данных в которых соответствует расположению точек слева направо. Различие в расположении точек по высоте не влияет на расположения чисел в памяти и введено лишь для более наглядного изложения алгоритма.

Для завершения ДПФ необходимо выполнить ДПФ строк, т.е. ДПФ четных и нечетных элементов (на рисунке они обведены прямоугольниками со скругленными углами).

На второй стадии параллельно выполняется ДПФ двух строк, каждая из которых, в свою очередь, представляется в виде матрицы из двух строк. Первая строка располагается в первой половине буфера, вторая строка — во второй половине. Над элементами каждого столбца выполняется двухточечное БПФ, умножаются нужные элементы на поворачивающие множители и записываются в выходной буфер в следующем порядке: первый и второй элемент первого двухточечного БПФ первой строки, первый и второй элемент первого двухточечного БПФ второй строки и далее элементы других БПФ. Для одинаковых эле-

ментов каждой из строк, для которых выполняется ДПФ, используется один поворачивающий множитель.

На каждой последующей стадии число строк, над которым параллельно выполняется ДПФ, удваивается. На последней стадии в строках остается по два элемента, над которыми выполняется двухточечное преобразование. После окончания последней стадии необходимо выполнить бит-реверсную сортировку.

В рассмотренном алгоритме данные на каждой стадии считаются в два потока (из первой и второй половины буфера) и сохраняются в один поток, т.е. данныечитываются последовательно и не требуется использование адресной арифметики.

Аналогичным образом можно построить «пинг-понг» алгоритм по основанию 4. Считывание данных в этом алгоритме может проводиться в 4, а сохранение в один поток; коэффициенты для каждой четверки чисел загружаются один раз.

По аналогии с алгоритмами прореживания по времени и по частоте можно построить «пинг-понг» алгоритмы, считающие данные в один поток, а сохраняющие — в 2 или 4 потока.

Рассмотренный алгоритм был реализован на процессоре ZSP400 фирмы LSI Logic. Время выполнения преобразования Фурье для 128 точек (вход — комплексные 16-битные целые числа в формате Q15, нормированные на половину диапазона, для предотвращения переполнения после каждой стадии данные делятся на два), включая сохранение контекста, составило 1900 тактов (менее 15 тактов на точку). Этот результат на 20% быстрее наилучшего из известных результатов (2400 тактов, менее 19 тактов на точку) для алгоритмов, выполняющих вычисления «на месте» [3].

Таким образом, алгоритмы типа «пинг-понг» позволяют получать в общем случае более быстрые и простые функции для вычисления спектров сигналов. Они были использованы при разработке функций БПФ математической библиотеки для процессоров на ядрах ZSP. Разработанные функции имеют производительность на 10-20% выше оценочных значений производительности классических алгоритмов.

Библиографический список

1. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов — М., Мир, 1989 — 445 с.
2. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов — М., Мир, 1978 — 835 с.
3. Форум разработчиков для процессоров ZSP <http://www.zsp-ug.com>

АЛЬТМАН Евгений Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры АиСУ.

Статья поступила в редакцию 27.11.06 г.
© Альтман Е.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ СХОДИМОСТИ ИТЕРАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ, УЧИТЫВАЮЩИХ ВТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ

В работе рассматриваются методы численного решения нелинейных уравнений с использованием линеаризации, а именно, итерационные алгоритмы, учитывающие вторую производную. Исследованы их свойства, и доказано, что точность приближения к нелинейной функции повышается по сравнению с методами, учитывающими только первую производную. Показано, что данные алгоритмы обладают кубической сходимостью, что также на порядок выше, чем у классических. Проведен ряд экспериментальных исследований, которые подтверждают правильность полученных теоретических выражений.

Во многих практических приложениях при исследовании различных процессов в нелинейных объектах при синтезе оптимальных и экстремальных систем автоматического и автоматизированного управления приходится решать задачу определения корней x уравнений вида $f(x) = 0$. Одним из наиболее известных подходов является применение численных методов [1], когда по определенным правилам создается последовательность значений x_k , сходящихся, опять же, при выполнении некоторых условий к точному решению x . Если в основу этих алгоритмов положить аппроксимацию нелинейной функции $f(x)$ линейным отрезком (полиномом) ряда Тейлора, то получим рекуррентные схемы типа метода Ньютона (или квазиньютоновских при решении уравнения $f'(x) = 0$), как известно, обладающих квадратичной скоростью сходимости [2]. Для улучшения свойств численных методов вычисления последовательности можно предложить использовать схемы аппроксимации $f(x)$, учитывающей и высшие, в частности, вторые производные. Одним из таких подходов является разработанная в работе [3] полиномиальная аппроксимация (ПА), позволяющая строить явные вычислительные схемы и использующая информацию о вторых производных. Такая аппроксимация, естественно, повышает точность приближения к нелинейной функции $f(x)$ и должна повлиять на скорость сходимости. Целью данной работы является определение точности полиномиальной аппроксимации при построении рекуррентных процедур решения уравнения $f(x) = 0$, а также исследование того, приводит ли это к повышению показателей сходимости вычислительных алгоритмов.

Будем использовать выражение для итерационных процедур относительно $(k+1)$ -го приближения в виде

$$x_{k+1} = x_k + \Delta x_{k+1} \quad (1)$$

При учете только линейных членов относительно разности Δx_{k+1} функцию $f(x_{k+1})$ можно записать в форме ряда Тейлора:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + f'(x_k) \Delta x_{k+1} + R_1(\Delta x_{k+1}), \quad (2)$$

где $R_1(\Delta x_{k+1})$ – остаточный член ряда, содержащий все высшие производные.

Если выполняется условие близости x_{k+1} к действительному значению корня x , то

$$x_{k+1} = x; f(x_{k+1}) = 0 \quad (3)$$

Отбросив в формуле (2) слагаемое $R_1(\Delta x_{k+1})$ (с учетом того, что $R_1(\Delta x_{k+1}) \rightarrow 0$), запишем

$$\Delta x_{k+1} = -f(x_k) / f'(x_k) \quad (4)$$

и, подставив полученное выражение (4) в алгоритм (1), получим известный классический метод Ньютона, обладающий квадратичной скоростью сходимости [1,2] при том, что аппроксимация $f(x_{k+1})$ имеет первый порядок точности $R_1(\Delta x_{k+1})$.

Допустим, что в ряде Тейлора будут в явной форме учитываться и вторые производные, и вместо (2) можно записать:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + f'(x_k) \Delta x_{k+1} + 0.5 f''(x_k) (\Delta x_{k+1})^2 + R_2(\Delta x_{k+1}), \quad (5)$$

где $R_2(\Delta x_{k+1})$ – остаточный член, учитывающий все высшие производные, начиная с третьей.

При выполнении условий (3) и при $R_2(\Delta x_{k+1}) \rightarrow 0$ можно, в принципе, записать выражение для Δx_{k+1} , содержащее нелинейную операцию вычисления квадратного корня. Пример таких алгоритмов приводится в работе [4], где также отмечается, что при кубической скорости методы работают только при равномерной сходимости, возможна и численная неустойчивость итерационных процедур при неудачном выборе знака квадратного корня. Целесообразно выбрать схему аппроксимации, содержащую вторые производные, но линейную относительно Δx_{k+1} , как это и предлагается в работе [3].

В этом случае нелинейную функцию $f(x_{k+1})$ можно записать в двух видах:

$$f(x_{k+1}) = f(x_k) + [f'(x_k) + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}] \Delta x_{k+1} + R_{21}(\Delta x_{k+1}) \quad (6)$$

$$f(x_{k+1}) = [f(x_k) + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}^2] + f'(x_k)\Delta x_{k+1} + R_{22}(\Delta x_{k+1}) \quad (7)$$

В соответствии с методикой полиномиальной аппроксимации [3] разность δx_{k+1} в выражениях (6) и (7) считается для $(k+1)$ -го шага известной величиной, тогда обе формы ПА линейны относительно Δx_{k+1} . По аналогии с (1) эту разность определим в виде

$$\delta x_{k+1} = \tilde{x}_{k+1} - x_k, \quad (8)$$

где \tilde{x}_{k+1} – известное значение приближения, полученное с помощью любого численного метода.

При выполнении условия равномерной сходимости итерационных процедур

$$\delta x_{k+1} = \eta \Delta x_{k+1}, \quad (9)$$

где η – положительное число, лежащее в пределах $\eta \in [0,1]$.

При $\eta = 0$ и $\delta x_{k+1} = 0$ формулы (6) и (7) сводятся к линейному приближению (2), а при $\eta = 1$ и $\delta x_{k+1} = \Delta x_{k+1}$ – к квадратичному (5).

Оценим точность ПА, выразив остаточные члены $R_{21}(\Delta x_{k+1})$ и $R_{22}(\Delta x_{k+1})$ из соответствующих формул (6) и (7) с учетом равенства (9), в виде:

$$R_{21}(\Delta x_{k+1}) = f(x_{k+1}) - f(x_k) - f'(x_k)\Delta x_{k+1} - \eta \cdot 0.5f''(x_k)(\Delta x_{k+1})^2, \quad (10)$$

$$R_{22}(\Delta x_{k+1}) = f(x_{k+1}) - f(x_k) - f'(x_k)\Delta x_{k+1} - \eta^2 \cdot 0.5f''(x_k)(\Delta x_{k+1})^2. \quad (11)$$

Заметим, что из сравнения формул (2) и (5) следует:

$$0.5f''(x_k)(\Delta x_{k+1})^2 = R_1(\Delta x_{k+1}) - R_2(\Delta x_{k+1}), \quad (12)$$

а из приближения (2) –

$$R_1(\Delta x_{k+1}) = f(x_{k+1}) - f(x_k) - f'(x_k)\Delta x_{k+1}. \quad (13)$$

С учетом выражений (12) и (13) для остаточных членов ПА после несложных преобразований можно записать следующие оценки:

$$R_{21}(\Delta x_{k+1}) = (1 - \eta) \cdot R_1(\Delta x_{k+1}) + \eta \cdot R_2(\Delta x_{k+1}), \quad (14)$$

Таким образом, в пределе (при $\eta \rightarrow 1$) схемы полиномиальной аппроксимации являются квадратичными приближениями к нелинейной функции $f(x_{k+1})$.

Итерационные процедуры ПА строятся на основе формул (6) и (7) при выполнении условий (3) и $R_{21}(\Delta x_{k+1}) \rightarrow 0$; $R_{22}(\Delta x_{k+1}) \rightarrow 0$ и имеют вид:

$$\Delta x_{k+1} = -f(x_k) / [f'(x_k) + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}] \quad (16)$$

$$\Delta x_{k+1} = -[f(x_k) + 0.5f''(x_k)\delta x_{k+1}] / f'(x_k) \quad (17)$$

Оценим сначала скорость сходимости ПА первой формы (16). Выясним поведение погрешностей $\epsilon_{k+1} = x_{k+1} - x$ и $\epsilon_k = x_k - x$ в случае, когда приближение x_k будет достаточно близким к решению x , а ϵ_k – малой величиной ($\epsilon_k \rightarrow 0$). С целью получения соотношения между погрешностями ϵ_{k+1} и ϵ_k достаточно в формуле (16) вместо x_k и Δx_{k+1} записать выражения $x_k = x + \epsilon_k$ и $\Delta x_{k+1} = \epsilon_{k+1} - \epsilon_k$. Тогда после несложных преобразований получим:

$$\begin{aligned} \epsilon_{k+1} = & \frac{\epsilon_k f'(x^* + \epsilon_k) - f(x^* + \epsilon_k) + \epsilon_k + 0.5 \epsilon_k f''(x^* + \epsilon_k) \delta x_{k+1}}{f'(x^* + \epsilon_k) + 0.5 f''(x^* + \epsilon_k) \delta x_{k+1}} \end{aligned} \quad (18)$$

Для выделения главной части равенства (18) воспользуемся следующими выражениями, полученными из разложения в ряды Тейлора, для функции f и ее первой и второй производной, принимая во внимание, что $f(x^*) = 0$:

$$\begin{aligned} f(x^* + \epsilon_k) = & \epsilon_k f'(x^*) + \frac{1}{2} \epsilon_k^2 f''(x^*) + \\ & + \frac{1}{6} \epsilon_k^3 f^{(3)}(x^*) + O(\epsilon_k^4); \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} f'(x^* + \epsilon_k) = & f'(x^*) + \epsilon_k f''(x^*) + \\ & + 0.5 \cdot \epsilon_k^2 f^{(3)}(x^*) + O(\epsilon_k^3); \end{aligned} \quad (20)$$

$$f''(x^* + \epsilon_k) = f''(x^*) + \epsilon_k f^{(3)}(x^*) + O(\epsilon_k^2). \quad (21)$$

Подставим выражения (19), (20) и (21) в формулу (18) и получим:

$$\begin{aligned} \epsilon_{k+1} = & \frac{\frac{1}{2} \epsilon_k^2 f''(x^*) + \frac{1}{3} \epsilon_k^3 f^{(3)}(x^*) + \frac{1}{2} \epsilon_k \delta x_{k+1} \cdot \\ & \cdot [f''(x^*) + \epsilon_k f^{(3)}(x^*) + O(\epsilon_k^2)] + O(\epsilon_k^4)}{f'(x^*) + O(\epsilon_k)}. \end{aligned} \quad (22)$$

По аналогии с x_k и Δx_{k+1} можно записать $\tilde{x}_{k+1} = x + \tilde{\epsilon}_{k+1}$ и $\delta x_{k+1} = \tilde{\epsilon}_{k+1} - \epsilon_k$.

Предположим, что определение приближения \tilde{x}_{k+1} осуществляется алгоритмом со вторым порядком сходимости, тогда $\tilde{\epsilon}_{k+1} = \alpha \epsilon_k^2$ (при $\alpha > 0$). В этом случае разность δx_{k+1} определяется через погрешность в виде

$$\delta x_{k+1} = \alpha \epsilon_k^2 - \epsilon_k. \quad (23)$$

Подставив выражение (23) в формулу (22), после преобразований получим:

$$\epsilon_{k+1} = \frac{\left[\frac{1}{2} \alpha f''(x^*) - \frac{1}{6} f^{(3)}(x^*) \right] \epsilon_k^3 + O(\epsilon_k^4)}{f'(x^*) + O(\epsilon_k)}. \quad (24)$$

По аналогии с работой [5] формулу (24) представим в виде:

$$\varepsilon_{k+1} = \beta_{21}(x^*, \alpha) \cdot \varepsilon_k^3 + O(\varepsilon_k^4). \quad (25)$$

Коэффициент $\beta_{21}(x^*, \alpha)$ вычисляется следующим образом:

$$\beta_{21}(x^*, \alpha) = \frac{1}{2} \alpha \frac{f''(x^*)}{f'(x^*)} - \frac{1}{6} \frac{f^{(3)}(x^*)}{f'(x^*)}. \quad (26)$$

Отбросив в формуле (25) справа величину $O(\varepsilon_k^4)$, получим достаточно простое приближенное равенство

$$\varepsilon_{k+1} \approx \beta_{21}(x^*, \alpha) \cdot \varepsilon_k^3, \quad (27)$$

из которого следует, что вычислительная схема полиномиальной аппроксимации первой формы имеет третий порядок сходимости.

С целью получения соотношения между погрешностями ε_k и ε_{k+1} полиномиальной аппроксимации второй формы подставим в формулу (17) выражения для x_k , Δx_{k+1} и запишем ошибку на $(k+1)$ -ом шаге в виде:

$$\varepsilon_{k+1} = \frac{\varepsilon_k f'(x^* + \varepsilon_k) - f(x^* + \varepsilon_k) - 0.5 f''(x^* + \varepsilon_k) \delta x_{k+1}^2}{f'(x^* + \varepsilon_k)} \quad (28)$$

Представим в выражении (28) все производные в виде рядов Тейлора (20-21) и получим:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{k+1} &= \frac{\frac{1}{2} \varepsilon_k^2 f''(x^*) + \frac{1}{3} \varepsilon_k^3 f^{(3)}(x^*) - \frac{1}{2} \delta x_{k+1}^2}{f'(x^*) +} \\ &\rightarrow \frac{[f''(x^*) + \varepsilon_k f^{(3)}(x^*) + O(\varepsilon_k^2)] + O(\varepsilon_k^4)}{+ O(\varepsilon_k)}. \end{aligned} \quad (29)$$

По аналогии с полиномиальной аппроксимацией первой формы допустим, что вычисление приближения \tilde{x}_{k+1} осуществляется со вторым порядком сходимости, т.е. разность δx_{k+1} оценивается по формуле (23). Подставив ее в выражение (29), получим:

$$\varepsilon_{k+1} = \frac{\left[\alpha f''(x^*) - \frac{1}{6} f^{(3)}(x^*) \right] \varepsilon_k^3 + O(\varepsilon_k^4)}{f'(x^*) + O(\varepsilon_k)}, \quad (30)$$

или по аналогии с формулой (25) запишем:

$$\varepsilon_{k+1} = \beta_{22}(x^*, \alpha) \cdot \varepsilon_k^3 + O(\varepsilon_k^4). \quad (31)$$

В данной формуле $\beta_{22}(x^*, \alpha)$ вычисляется следующим образом:

$$\beta_{22}(x^*, \alpha) = \alpha \frac{f''(x^*)}{f'(x^*)} - \frac{1}{6} \frac{f^{(3)}(x^*)}{f'(x^*)}. \quad (32)$$

Отбросив в равенстве (31) малую величину $O(\varepsilon_k^4)$, получим также приближенную формулу для описания поведения погрешности:

$$\varepsilon_{k+1} \approx \beta_{22}(x^*, \alpha) \cdot \varepsilon_k^3. \quad (33)$$

Таким образом, полиномиальная аппроксимации и второй формы (при вычислениях \tilde{x}_{k+1} методом второго порядка) также имеет третий порядок сходимости.

Приближения \tilde{x}_{k+1} можно определять классическим методом Ньютона, тогда разность $\delta x_{k+1} = -f(x_k)/f'(x_k)$ и при подстановке ее в формулы полиномиальной аппроксимации (16) и (17) получим известные в вычислительной практике алгоритмы Хэлли [4] и Чебышева [5] соответственно. Параметр $\alpha = 0.5 \cdot f''(x^*)/f'(x^*)$, поэтому коэффициенты $\beta_{21}(x^*, \alpha)$ и $\beta_{22}(x^*, \alpha)$ будут зависеть только от значения корня x и запишутся в виде:

$$\beta_{21}(x^*) = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{f''(x^*)}{f'(x^*)} \right)^2 - \frac{1}{6} \cdot \frac{f^{(3)}(x^*)}{f'(x^*)}; \quad (34)$$

$$\beta_{22}(x^*) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{f''(x^*)}{f'(x^*)} \right)^2 - \frac{1}{6} \cdot \frac{f^{(3)}(x^*)}{f'(x^*)}. \quad (35)$$

Формулы (34) и (35) совпадают с аналогичными выражениями для методов Хэлли и Чебышева, приведенными в работе [4], где эти коэффициенты называются константами асимптотики погрешности.

Для подтверждения полученных аналитических выражений (27) и (33) определения скорости сходимости методов полиномиальной аппроксимации был рассмотрен ряд тестовых функций и для них определены теоретическое ε_{k+1} и экспериментальное $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$ значения ошибки на $(k+1)$ -ом шаге. Тестовые функции взяты из работы [4], в которой они используются для оценки метода Ньютона. Полученные данные ошибок для этих тестовых функций приведены в таблицах 1-6.

Теоретические значения в таблицах 3-6 были получены из приближенных равенств (27) и (33), с условием того, что вычисления на первой ступени приближения \tilde{x}_{k+1} осуществляются по методу Ньютона, тогда теоретическое значение ошибки для метода Хэлли определяется из следующей формулы:

$$\varepsilon_{k+1} = \beta_{21}(x^*) (\varepsilon_k^{\text{эксп}})^3;$$

а для метода Чебышева — из выражения

$$\varepsilon_{k+1} = \beta_{22}(x^*) (\varepsilon_k^{\text{эксп}})^3.$$

В таблицах 1 и 2 приведены ошибки для метода Ньютона, когда теоретические значения ε_{k+1} вычисляются по формуле

$$\varepsilon_{k+1} = \frac{1}{2} \frac{f''(x^*)}{f'(x^*)} (\varepsilon_k^{\text{эксп}})^2.$$

Для обеих тестовых функций экспериментальные ошибки близки к теоретическим, причем с ростом номера итераций повышается точность совпадения оценок ε_{k+1} и $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$, и общий анализ данных, приведенных в таблицах 1 и 2, подтверждает правильность выбора тестовых функций. Следовательно, их можно применить для сравнительного анализа полученных теоретических выражений (27), (33) и оценки скорости сходимости методов Хэлли и Чебышева.

Теоретические и экспериментальные значения ε_{k+1} и $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$ также достаточно близки, и степень

Таблица 1
Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований метода Ньютона для функции $f(x) = x^{20} - 1$

Шаг k	Значение x_k	Ошибка на $(k+1)$ -ом шаге	
		теоретическая ε_{k+1}	экспериментальная $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$
0	0,96	0,0152	0,0206
1	1,0206	0,0040	0,0035
2	1,0035	$1.1698 \cdot 10^{-4}$	$1.1416 \cdot 10^{-4}$
3	1,0001	$1.2382 \cdot 10^{-7}$	$1.2372 \cdot 10^{-7}$

Таблица 2
Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований метода Ньютона для функции $f(x) = x^2 \log_{0,5}(x+1) - 1$

Шаг k	Значение x_k	Ошибка на $(k+1)$ -ом шаге	
		теоретическая ε_{k+1}	экспериментальная $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$
0	-0,6	-0,0442	0,0529
1	-0,7817	-0,0075	0,0072
2	-0,7360	$-1.3637 \cdot 10^{-4}$	$1.3546 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3
Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований метода Чебышева для функции $f(x) = x^{20} - 1$

Шаг k	Значение x_k	Ошибка на $(k+1)$ -ом шаге	
		теоретическая ε_{k+1}	экспериментальная $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$
0	0,96	0,0079	0,0157
1	0,9843	$4.8163 \cdot 10^{-4}$	$6.2257 \cdot 10^{-4}$
2	0,9994	$2.9802 \cdot 10^{-8}$	$3.0096 \cdot 10^{-8}$
3	1,0000	$3.3665 \cdot 10^{-21}$	0

близости повышается с ростом номера итераций. Если после начальной итерации порядки ошибок всех методов приблизительно одинаковы, то на следующем рекуррентном шаге ошибки методов полиномиальной аппроксимации более чем на порядок меньше соответствующих ошибок метода Ньютона, что подтверждает кубическую скорость сходимости предлагаемых алгоритмов и справедливость формул (27) и (33).

Если сравнивать между собой алгоритмы второго порядка, то из сравнения соответствующих таблиц 3, 5 и 4, 6 следует, что предпочтительнее метод Хэлли. Это можно объяснить разными значениями констант асимптотики погрешности. В работе [4] для трех тестовых функций (в том числе и для $f(x) = x^{20} - 1$) из сравнения $\beta_{21}(x)$ и $\beta_{22}(x)$ делается предположение, что метод Хэлли обладает меньшей ошибкой. Из полученных нами выражений для ошибок линейных приближений (14) и (15) следует, что при равных значениях η ($0 < \eta < 1$) величина $R_{21} < R_{22}$, а метод Хэлли строится на основе линеаризации ПА первой формы (6), поэтому он и дает более лучшие результаты по сравнению с методом Чебышева.

Таким образом, в работе показано, что учет в итерационных процедурах решения уравнения $f(x) = 0$ наряду с первой и второй производной приводит как к повышению точности приближения к нелинейной

Таблица 4
Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований метода Чебышева для функции $f(x) = x^2 \log_{0,5}(x+1) - 1$

Шаг k	Значение x_k	Ошибка на $(k+1)$ -ом шаге	
		теоретическая ε_{k+1}	экспериментальная $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$
0	-0,6	0,0179	0,0304
1	-0,6985	$2.3480 \cdot 10^{-4}$	$2.6995 \cdot 10^{-4}$
2	-0,7286	$1.6503 \cdot 10^{-10}$	$9.3236 \cdot 10^{-6}$

Таблица 5
Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований метода Хэлли для функции $f(x) = x^{20} - 1$

Шаг k	Значение x_k	Ошибка на $(k+1)$ -ом шаге	
		теоретическая ε_{k+1}	экспериментальная $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$
0	0,96	0,0021	0,0021
1	0,9979	$3.1632 \cdot 10^{-7}$	$3.1727 \cdot 10^{-7}$
2	1	$1.0619 \cdot 10^{-18}$	0
3	1	0	0

Таблица 6
Результаты сравнения экспериментальных и теоретических исследований метода Хэлли для функции $f(x) = x^2 \log_{0,5}(x+1) - 1$

Шаг k	Значение x_k	Ошибка на $(k+1)$ -ом шаге	
		теоретическая ε_{k+1}	экспериментальная $\varepsilon_{k+1}^{\text{эксп}}$
0	-0,6	0,0027	0,0042
1	-0,7246	$9.5642 \cdot 10^{-8}$	$9.7817 \cdot 10^{-8}$
2	-0,7288	$1.2016 \cdot 10^{-21}$	$5.0000 \cdot 10^{-12}$

функции $f(x)$, так и увеличивает скорость сходимости. Результаты теоретических исследований подтверждены рядом тестовых примеров.

Библиографический список

- Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. — М.: Наука, 1978. — 448 с.
- Вержбицкий В.М. Численные методы (Линейная алгебра и нелинейные уравнения): Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 2000. — 266 с.
- Когут А.Т. Полиномиальная аппроксимация в некоторых задачах оптимизации и управления: Монография. — Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2003. — 244 с.
- Трауб Дж. Итерационные методы решения уравнений. — М.: Мир, 1985. — 263 с.
- Крылов В.Н., Бобков В.В., Монастырский П.И. Вычислительные методы. Т. 1. — М.: Наука, 1976. — 304 с.

КОГУТ Алексей Тарасович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и системы управления».

БЕЗБОРОДОВА Наталья Юрьевна, учащаяся второго курса магистратуры, бакалавр техники и технологий.

Статья поступила в редакцию 17.11.06 г.

© Когут А. Т., Безбородова Н. Ю.

ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 541.183 + 541.123.2

И. А. КИРОВСКАЯ
Е. И. БЫКОВА
О. Т. ТИМОШЕНКО
Т. Н. ФИЛАТОВА

Омский государственный
технический университет

АДСОРБЦИОННЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ InSb-CdTe

С использованием методов пьезокварцевого микрозвешивания и зондового компенсационного изучены адсорбционные свойства (по отношению к NO_2) и изменения электропроводности твердых растворов и бинарных компонентов системы InSb-CdTe под влиянием NO_2 и смесей $\text{NO}_2 + \text{SO}_2$, $\text{NO}_2 + \text{CO}$ при различных температурах и относительных содержаниях газов. Твердые растворы получены методом изотермической диффузии и аттестованы по результатам рентгенографических, термографических, ИК-спектропротоколических, электрофизических исследований.

Выявлен компонент системы — твердый раствор состава $(\text{InSb})_{0.03}(\text{CdTe})_{0.97}$ — с высокой избирательной чувствительностью (адсорбционной и электронной) уже при комнатной температуре, рекомендованный для создания сенсора-датчика на микропримеси NO_2 .

Важнейшей задачей химии полупроводников остается получение на основе относительно изученных бинарных соединений новых систем, которые, сохраняя свойства исходных бинарных соединений, обнаруживали бы новые качества, возможно, заранее

прогнозируемые. К таким системам относятся полупроводниковые твердые растворы, типичными представителями которых являются рассматриваемые в работе твердые растворы на основе InSb и CdTe. Уникальные свойства InSb, CdTe (электричес-

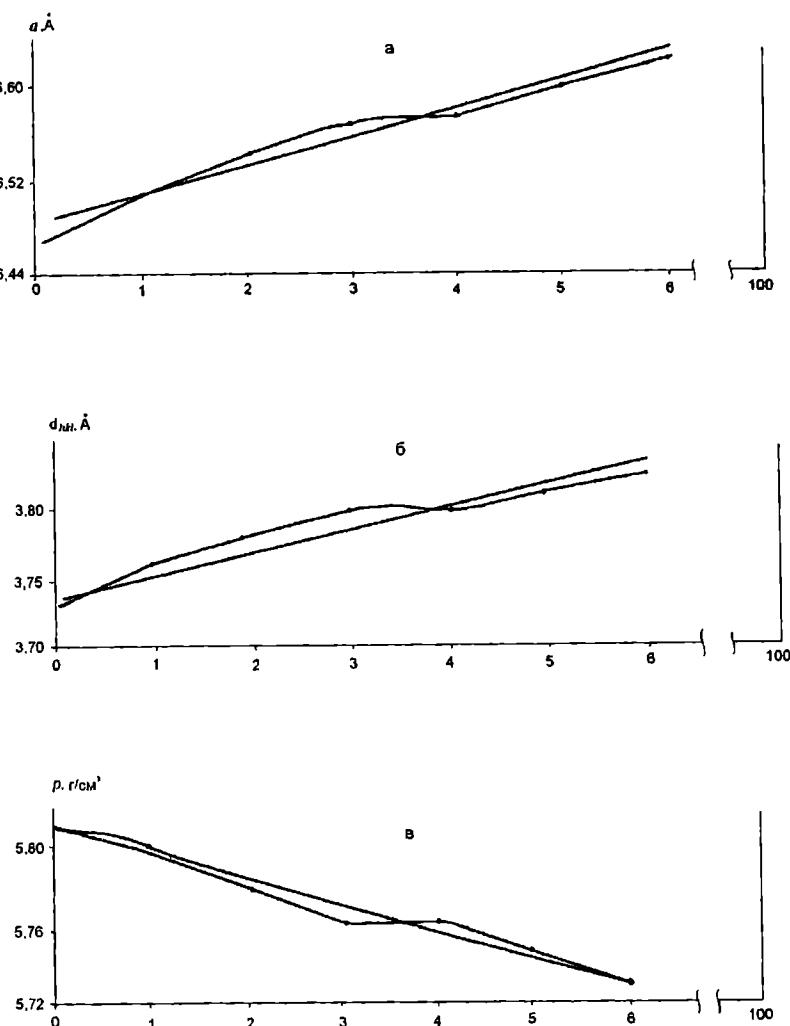


Рис. 1. Концентрационные зависимости параметра решетки a , межплоскостного расстояния d_{hkl} и рентгеновской плотности ρ_r твердых растворов системы InSb-CdTe, полученных в области растворимости InSb в CdTe

кие, фото- и пьезоэлектрические, оптические), их уже реализованные возможности в ряде областей техники, полупроводниковом катализе позволяют говорить о твердых растворах $(\text{InSb})_x(\text{CdTe})_{1-x}$ как перспективных адсорбентах, катализаторах, материалах современной техники и, прежде всего, сенсорной электроники. Эффективность использования в любой из названных областей зависит от степени изученности физико-химического состояния поверхности, включая наряду с химическим составом, структурой, кислотно-основными адсорбционными и электронными свойства, их селективное изменение при воздействиях различных сред. Именно этому аспекту исследований поверхности компонентов системы InSb-CdTe посвящена данная работа.

Экспериментальная часть

Исследуемые образцы — пленки InSb, CdTe и их твердых растворов получали дискретным термическим напылением в вакууме ($T_{\text{коия}} = 298$ К, $P = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па) на электродные площадки пьезокварцевых резонаторов с последующим отжигом в парах исходного материала [1]. Режим отжига определяли, исходя из физико-химических свойств последнего и подложки [2]. Порошки твердых растворов получали методом изотермической диффузии бинарных компонентов в вакуумированных запаянных квар-

цевых ампулах при температурах, превышающих температуру плавления InSb — легкоплавкого компонента [3]. Состав полученных твердых растворов определялся пределами взаимной растворимости бинарных компонентов (до 6 мол. % InSb в CdTe и до 5 мол. % CdTe в InSb).

Толщину пленок оценивали интерферометрически, по изменению частоты пьезокварцевого резонатора [4] и по формуле

$$D = m \sin \beta / (4p \ell^2 \rho)$$

(m — навеска, ρ — плотность образца, ℓ — расстояние от испарителя до подложки, β — угол испарения). Она составляла $0,25 - 0,35$ мкм.

О структуре пленок судили по результатам рентгенографического анализа, которые использовали и для аттестации полученных твердых растворов наряду с результатами термографического анализа, определения ширины запрещенной зоны, электропроводности [5].

Адсорбаты получали по известным методикам [2, 6]: оксид углерода (II) — термическим разложением муравьиной кислоты в присутствии концентрированной серной кислоты; оксид азота (IV) — по реакции взаимодействия концентрированной азотной кислоты со стружками меди; оксид серы (IV) — по реакции взаимодействия сульфита натрия с концентрированной серной кислотой.

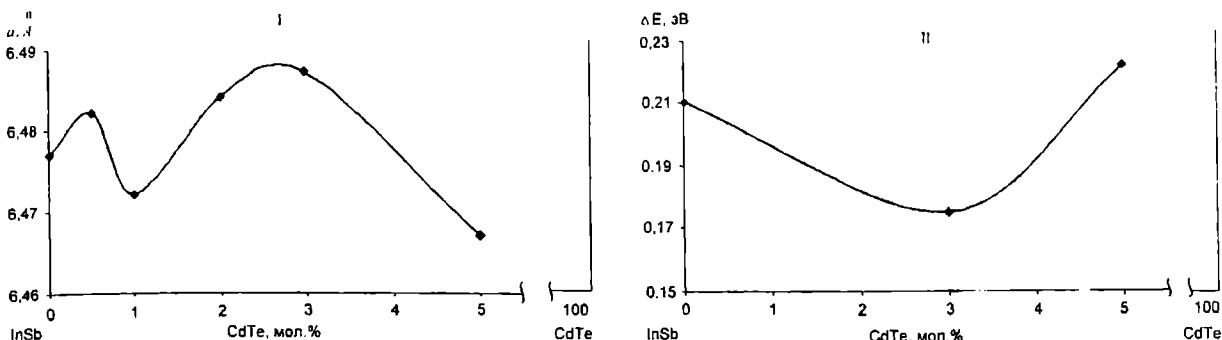


Рис. 2. Зависимости постоянной решетки (I) и ширины запрещенной зоны (II) от состава системы InSb-CdTe при избытке в твердых растворах InSb

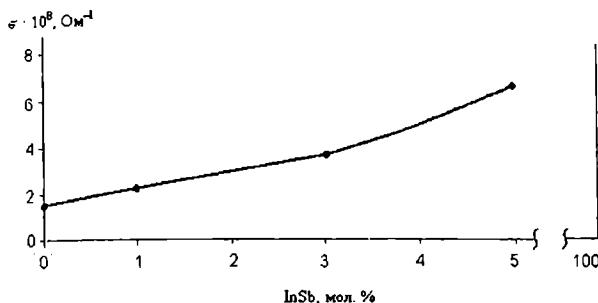


Рис. 3. Зависимость удельной электропроводности от состава системы InSb-CdTe при избытке в твердых растворах CdTe

Адсорбцию изучали методом пьезокварцевого микрозвешивания (чувствительность $1,23 \cdot 10^{-11}$ г/см 2 Гц) в интервалах температур 253-358 К и давлений 4-13 Па. Пленочные адсорбенты наносили на электродные площадки пьезо-кварцевых резонаторов, имеющих форму линзы АТ-резона, с собственной частотой колебаний 7-8 мГц [4].

На этих же образцах одновременно исследовали изменения электропроводности и соответственно заряжения поверхности под влиянием адсорбированных газов, с использованием зондового компенсационного метода [4].

Обсуждение результатов

Образование твердых растворов замещения в системе InSb-CdTe

Об образовании в системе InSb-CdTe твердых растворов замещения свидетельствуют результаты рентгенографических, термографических, ИК-спектроскопических, электрофизических исследований [7].

Так, согласно рентгенографическим исследованиям, линии на рентгенограммах сдвинуты относительно линий бинарных компонентов при постоянном их числе. Зависимости значений параметра решетки (a), межплоскостного расстояния $d_{hk\bar{l}}$, рентгеновской плотности ρ , от состава твердых растворов, полученных в области растворимости InSb в CdTe, близки к линейным (небольшое отклонение от линейной зависимости наблюдается лишь для компонента состава $(InSb)_{0.03}(CdTe)_{0.97}$) (рис. 1). Для твердых растворов, полученных в области растворимости CdTe в InSb, указанные зависимости имеют сравнительно сложный характер (рис. 2). Но, как показано и объяснено в [3, 8, 9], зависимости параметров решеток и других характеристик полупроводниковых твердых растворов замещения от состава могут отличаться от линейных.

Обращает также на себя внимание отсутствие на рентгенограммах дополнительных линий, отвечающих не прореагировавшим бинарным компонентам, и размытости основных линий, что свидетельствует о полном завершении синтеза твердых растворов.

По положению и распределению по интенсивности основных линий на рентгенограммах все компоненты системы (InSb, CdTe, $(InSb)_x(CdTe)_{1-x}$) имеют кубическую структуру сфалерита.

Эндотермические пики на термограммах InSb, CdTe и их твердых растворов, обусловленные как плавлением, так и окислением образцов, смещаются в ряду InSb \rightarrow $(InSb)_x(CdTe)_{1-x} \rightarrow$ CdTe преимущественно в сторону роста температуры, что косвенно подтверждает образование твердых растворов замещения.

Косвенным подтверждением образования твердых растворов замещения является и плавное нарастание электропроводности (σ) с составом (рис. 2).

Найденные на основе ИК-спектроскопических исследований (по пересечению касательной к краю поглощения с осью $h\nu$ [5]) величины запрещенной зоны с составом изменяются через минимум при 3 мол. % CdTe (рис. 2). То есть зависимость $\Delta E = f(C_{A''B''})$, как и зависимость $a = f$, нелинейна. Появление минимума, скорее всего, связано с накоплением дефектов при взаимодействии бинарных компонентов сопровождающимся образованием донорно-акцепторных комплексов [3, 10].

Такое поведение укладывается в предложенную в [3] схему механизма проводимости компонентов систем типа $A'''B''-A''B''$.

Адсорбционные свойства компонентов системы InSb-CdTe

Наиболее подробно адсорбционные свойства компонентов системы InSb-CdTe изучены по отношению к диоксиду азота, как наиболее активному в выбранной серии газов.

Величины адсорбции NO_2 на всех компонентах системы укладываются в пределе $\alpha \cdot 10^{-4} - \alpha \cdot 10^{-3}$ моль/м 2 . Приведенные на рис. 4-6 типичные опытные зависимости адсорбции имеют сходный характер для всех компонентов и свидетельствуют о протекании при температурах ниже 273 К физической, а при более высоких – химической активированной адсорбции. Такое заключение подтверждают результаты термодинамического и кинетического анализов. Так, теплоты адсорбции, рассчитанные по уравнению Клапейрона-Клаузиуса для нисходящих участков изобар $\alpha_p = f(T)$ и полуэмпирическому уравнению, предложенному одним из авторов [4] для

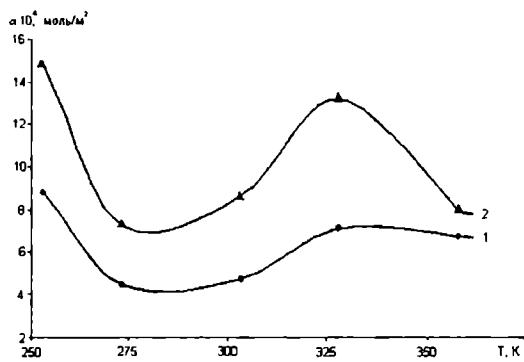


Рис. 4. Изобары адсорбции NO_2 на CdTe (1) и твердом растворе $(\text{InSb})_{0,03}(\text{CdTe})_{0,97}$ (2) при $P_n = 8$ Па

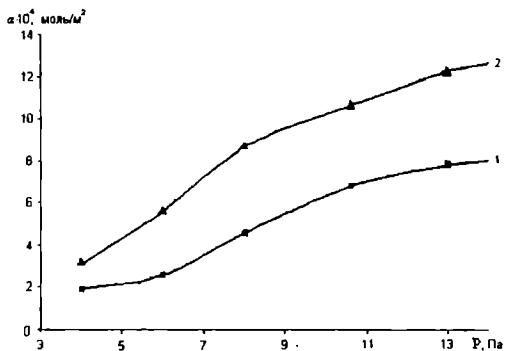


Рис. 5. Равновесные изотермы адсорбции NO_2 на CdTe (1) и твердом растворе $(\text{InSb})_{0,03}(\text{CdTe})_{0,97}$ (2) при 303 К

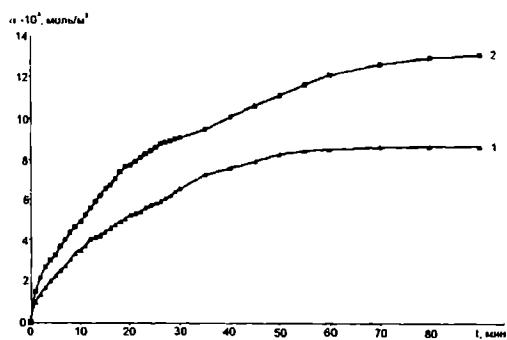


Рис. 6. Кинетические изотермы адсорбции NO_2 на твердом растворе $(\text{InSb})_{0,03}(\text{CdTe})_{0,97}$ при $P_n = 8$ Па и 303 (1) и 328 (2) К

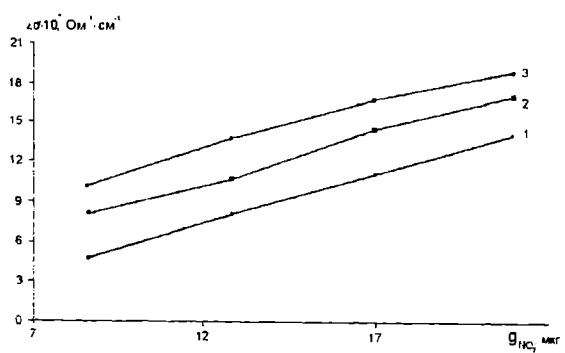


Рис. 7. Зависимость изменения удельной электропроводности тонкой пленки твердого раствора $(\text{InSb})_{0,03}(\text{CdTe})_{0,97}$ от содержания NO_2 в пробе (g_{NO_2} , мкг) при объемной скорости газа-носителя 8 мл/мин и различных температурах: 1 – 20, 2 – 50, 3 – 80 °С

всего исследованного интервала температур, при различных T составляют 6,1 – 13,4 кДж/моль, что отвечает химической природе адсорбции на алмазоподобных полупроводниках [2]. Средние значения энергии активации, рассчитанные по справедливо-му в данном случае уравнению С.З. Рогинского [4], при различных заполнениях поверхности (величинах адсорбции α) составляют 43 – 86 кДж/моль.

Наблюдаемые падение теплоты и рост энергии активации адсорбции с заполнением поверхности, как и спрямляемость кинетических изотерм в логарифмических координатах, указывают на неоднородный характер поверхности и присутствие на ней различных по силе и энергетическому состоянию активных центров. Об этом же говорят и результаты исследований кислотно-основных свойств поверхности данных адсорбентов, выполненных с использованием методов ИК-спектроскопии, определения pH-изо-электрического состояния, механохимии, кондуктометрического титрования [11]. Они позволили выявить, по крайней мере, четыре типа кислотных центров, ответственными за которые, как и на других алмазоподобных полупроводниках, должны выступать координационно-ненасыщенные атомы с окружающими их вакансационными дефектами (льюисовские центры) и адсорбированные молекулы H_2O , группы OH^- (брэнстедовские центры).

С учетом кислотно-основных свойств поверхности адсорбентов и электронного строения молекул NO_2 высказано предположение о донорно-акцепторном механизме адсорбции NO_2 (по аналогии с адсорбцией CO_2 [12]), протекающей с преимущественным участием поверхностных атомов А (с более выраженным металлическим свойствами) и вакансий атомов В при донорной функции молекул адсорбата (NO_2).

Функцию молекул NO_2 как доноров электронов подтверждает отмеченный рост электропроводности (σ) в условиях адсорбции NO_2 (рис. 7).

При сопоставлении бинарных и четверных компонентов (твердых растворов) системы $\text{InSb}-\text{CdTe}$ как адсорбентов по отношению к NO_2 обнаружены сходство в их поведении и специфические особенности твердых растворов. На сходство указывают аналогичный вид опытных зависимостей $\alpha_p = f(T)$, $\alpha_T = f(p)$, $\alpha_t = f(t)$, порядок величин адсорбции, термодинамических и кинетических характеристик, одинаковые природа активных центров, механизм и закономерности адсорбционного взаимодействия, а на специфические особенности – наличие экстремумов на диаграммах «адсорбционная характеристика – состав» (рис. 8).

Согласно этим диаграммам максимум адсорбционной активности приходится на твердый раствор состава $(\text{InSb})_{0,03}(\text{CdTe})_{0,97}$. Для него же на зависимости постоянной решетки от состава системы обнаружено отклонение от линейного закона Вегарда (рис. 1), что, в согласии с [3], может быть связано с наибольшей дефективностью структуры и координационной ненасыщенностью поверхностных атомов.

Найденный с помощью диаграмм «адсорбционная характеристика – состав» наиболее активный по отношению к NO_2 компонент системы – твердый раствор $(\text{InSb})_{0,03}(\text{CdTe})_{0,97}$ – предложен в качестве материала для сенсора-датчика на микропримеси NO_2 . В связи с этим были проведены исследования изменения его электропроводности наряду с остальными компонентами системы под влиянием как NO_2 , так и, с целью выяснения селективности, смесей NO_2 с другими газами.

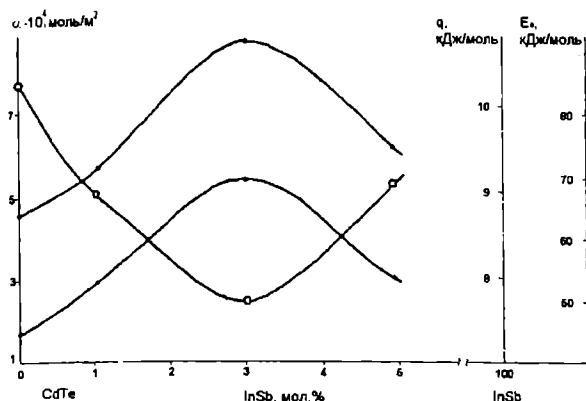


Рис. 8. Зависимости величин адсорбции (1), энергии активации (2) и теплоты (3) адсорбции от состава системы InSb-CdTe при $P_n = 8$ Па и $T = 300$ (1, 3) и 300–358 К (2)

Влияние адсорбции диоксида азота на электропроводность компонентов системы InSb-CdTe

Как показали данные исследования, при комнатной температуре антимонид индия практически не чувствителен к NO_2 . С увеличением содержания в системе InSb-CdTe теллурида кадмия чувствительность к NO_2 возрастает и становится наибольшей у твердого раствора $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$ (рис. 9).

При повышении температуры возрастает чувствительность к NO_2 всех компонентов системы, но особенно заметно – твердого раствора $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$ (рис. 7).

Влияет на чувствительность (величину сигнала на NO_2) и объемная скорость ($V_{\text{об}}$) газа-носителя (аргона). Наиболее оптимальной для твердого раствора $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$ оказалась $V_{\text{об}} = 8$ мл/мин (рис. 9).

Поскольку твердый раствор $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$ рекомендован в качестве материала для сенсор-датчика на микропримеси NO_2 , важно было оценить время восстановления исходного значения его удельной электропроводности (время релаксации) после контакта с определяемым газом (NO_2) и селективность к этому газу в присутствии других газов (в данном случае – CO, SO_2).

Время релаксации в среде аргона, в зависимости от концентрации NO_2 и температуры, составляет 2–7 мин, заметно уменьшаясь с повышением температуры.

Наибольшую селективность к оксиду азота твердый раствор $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$ проявляет при комнатной температуре: присутствие в пробе CO и SO_2 (с превышением над содержанием NO_2 в 4 раза) практически не влияет на величину сигнала на NO_2 . С повышением температуры до 80 °C величина сигнала на NO_2 незначительно уменьшается и обнаруживается некоторая чувствительность к CO и SO_2 .

Таким образом, получены твердые растворы системы InSb-CdTe (в форме порошков и пленок), которые аттестованы с привлечением рентгенографического, термографического, ИК-спектроскопического и электрофизического методов. Изучены их адсорбционные и электронные (изменение удельной электропроводности) свойства при контакте с NO_2 , $\text{NO}_2 + \text{SO}_2$, $\text{NO}_2 + \text{CO}$ наряду с бинарными компонентами (InSb, CdTe). Установлены механизмы и закономерности в изменении этих свойств. Найден адсорбент (твердый раствор состава $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$), обладающий наибольшей поверхностной (адсорбци-

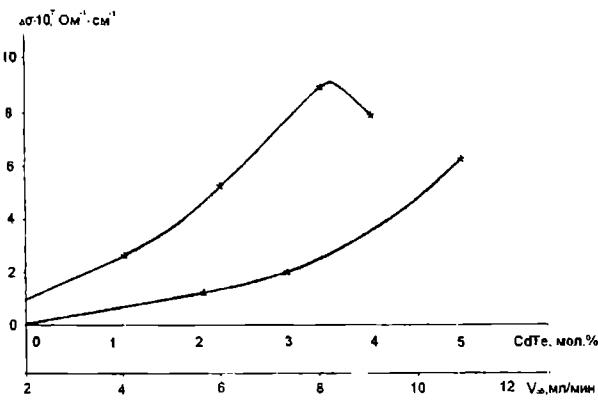


Рис. 9. Зависимости изменения удельной электропроводности тонких пленок компонентов системы InSb-CdTe от состава (при содержании NO_2 в пробе 10 мкг, $T = 20$ °C, объемной скорости газа-носителя 8 мл/мин) и тонкой пленки твердого раствора $(\text{InSb})_{0.95} (\text{CdTe})_{0.05}$ от объемной скорости газа-носителя ($V_{\text{об}}$)

онной и электронной) чувствительностью и селективностью по отношению к NO_2 уже при комнатной температуре, что позволило рекомендовать его в качестве материала для соответствующего сенсор-датчика.

В таком же аспекте и в сопоставлении с описанной системой InSb-CdTe были изучены системы InSb-CdS, InP-CdS [13, 14]. Это позволило проследить за влиянием на адсорбционные и электронные свойства не только бинарных ($\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}$, $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$), но и элементных составляющих (A, B), что заслуживает отдельного обсуждения.

Библиографический список

1. Тонкие пленки антимонида индия. Кишинев: Штиинца, 1989. – 162 с.
2. Кировская И.А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Адсорбция газов. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1984. – 186 с.
3. Кировская И.А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Твердые растворы. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. – 160 с.
4. Кировская И.А. Адсорбционные процессы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1995. – 300 с.
5. Кировская И.А., Азарова О.П., Шубенкова Е.Г., Дубина О.Н. Синтез и оптическое поглощение твердых растворов систем $\text{InSb-A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ // Неорг. материалы, 2002. – Т. 38, № 2. – С. 667-671.
6. Рапопорт Ф.М., Ильинская А.А. Лабораторные методы получения чистых газов. М.: Госхимиздат, 1963. С. 197-199.
7. Кировская И.А., Миронова Е.В. Синтез и свойства новых материалов – твердых растворов $(\text{InSb})_x (\text{CdTe})_{1-x}$ // Доклады АН ВШ РФ, 2007. – № 1(8). – С. 1-10.
8. Кировская И.А. Прогнозы поведения поверхности твердых растворов алмазоподобных полупроводников // Журн. физ. химии. 1985. – Т. 59, № 1. – С. 194-196.
9. Бродовой В.А., Вялый Н.Г., Кнорозок А.М. Особенности изменения постоянной решетки твердых растворов $(\text{InSb})_x (\text{CdTe})_x$ // Неорг. материалы, 1997. – Т. 33, № 3. – С. 303-304.
10. Скоробогатова А.А., Хабаров Э.Н. Зонные параметры системы твердых растворов $(\text{InSb})_x (\text{CdTe})_{1-x}$ // Физика полупроводников, 1974. – Вып. 2. – С. 401-403.
11. Кировская И.А., Миронова Е.В. Кислотно-основные свойства поверхности твердых растворов InSb-CdTe // Журн. физ. химии, 2005. – Т. 79. – № 4. – С. 755-758.

12. Кировская И.А. Поверхностные явления. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. — 175 с.
13. Кировская И.А., Шубенкова Е.Г., Новгородцева Л.В. и др. Полупроводниковый анализ токсичных газов с использованием новых материалов типа $(A^{III}B^V)_x(A^{II}B^VI)_{1-x}$ // Современные проблемы науки и образования. 2006. — № 2. — С. 49-50.
14. Кировская И.А., Тимошенко О.Т. Кислотно-основное состояние и адсорбционная активность (по отношению к NH_3) поверхности компонентов системы InP-CdS // ДАН ВШ РФ, 2006. — № 1. — С. 69-73.

КИРОВСКАЯ Ирина Алексеевна, доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой физи-

ческой химии, заслуженный деятель науки и техники РФ.

БЫКОВА Евгения Ивановна, ассистент кафедры физической химии.

ТИМОШЕНКО Оксана Тарасовна, старший преподаватель кафедры физической химии.

ФИЛАТОВА Татьяна Николаевна, ассистент кафедры физической химии.

Статья поступила в редакцию 10.11.06 г.

© Кировская И.А., Быкова Е.И., Тимошенко О.Т., Филатова Т.Н.

УДК 541.183:621.315.592.4

**И. А. КИРОВСКАЯ
Е. Г. ШУБЕНКОВА
О. Т. ТИМОШЕНКО
Т. Н. ФИЛАТОВА**

Омский государственный
технический университет

КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ InSb-ZnTe

Исследованы кислотно-основные свойства и химический состав поверхности твердых растворов и бинарных компонентов системы методами гидролитической адсорбции, неводного кондуктометрического титрования, механохимии, ИК- и масс-спектроскопии. Определены сила, природа, концентрация кислотных центров, изменение последней при экспонировании в CO и изменении состава системы. Установлен механизм кислотно-основных взаимодействий. Показано: химический состав поверхности компонентов системы, экспонированных на воздухе, представлен адсорбированными молекулами H_2O , группами OH^- , углеводородными и углекислородными соединениями и продуктами окисления поверхностных атомов. После термической вакуумной обработки состав поверхности приближается к стехиометрическому.

В настоящее время при интенсивном развитии новых областей техники все больший интерес проявляется к многокомпонентным полупроводниковым системам, как еще далеко не познанному и тем более далеко не использованному потенциалу для создания требуемых материалов.

Представителем таких систем является система InSb-ZnTe, бинарные компоненты которой (InSb, ZnTe) к началу данной работы уже нашли применение в опто-, микроэлектронике, полупроводниковом катализе. Четверные компоненты системы — твердые растворы, сочетающие как свойства бинарных компонентов, так и собственные, заключают в себе еще большие функциональные возможности. Однако для их использования необходимы не только получение и аттестация твердых растворов, но и знание физико-химических свойств реальной поверхности (химического состава, кислотно-основных, адсорбционных и др.). В соответствии с вышеизложенным в работе анализируются результаты исследования кислотно-основного и химического состояния поверхности твердых растворов $(InSb)_x(ZnTe)_{1-x}$ в сравнении с бинарными компонентами (InSb, ZnTe).

Экспериментальная часть

Объектами исследований являлись порошки и пленки InSb, ZnTe и их твердых растворов, содержащих до 20 мол. % ZnTe. Порошки твердых растворов получали методом изотермической диффузии бинарных компонентов в вакуумированных запаянных кварцевых ампулах при температурах, превышающих температуру плавления легкоплавкого компонента (InSb) [1], пленки твердых растворов и бинарных компонентов — дискретным термическим напылением в вакууме ($T_{конд.} = 298$ К, $P = 1,33 \cdot 10^{-3}$ Па) на различные подложки (стекло, монокристаллы КВг, электродные пластики пьезокварцевых резонаторов) с последующим отжигом в парах сырьевого материала в отработанном режиме [2, 3]. Толщину пленок определяли, исходя из условий напыления, интерферометрически и по изменению частоты пьезокварцевого резонатора [4]. О структуре пленок, как и о завершении синтеза твердых растворов, судили по результатам рентгенографического анализа, которые использовали и для аттестации полученных твердых растворов наряду с результатами ИК-спектро-

скопических (определение ширины запрещенной зоны), КР-спектроскопических, масс-спектрометрических (оценка стехиометрического состава), электрофизических исследований. Рентгенографический анализ осуществляли на дифрактометре Дрон-3 в CuK_α -излучении; электропроводность — четырехзондовым методом Ван-дер-Пау [5], нанося пленочные образцы на электродные площадки пьезокварцевых резонаторов [5, 10].

Кислотно-основные свойства и химический состав поверхности изучали методами гидролитической адсорбции (определение pH-изоэлектрического состояния), механохимии, неводного кондуктометрического титрования, ИК-спектроскопии, лазерной масс-спектрометрии [4, 5].

Воспроизводимость и точность экспериментальных результатов проверяли на основе параллельных измерений с использованием методов математической статистики и обработки результатов количественного анализа. Статистическую обработку полученных численных значений, расчет погрешностей измерений, построение и обработку графических зависимостей проводили с использованием компьютерных программ Stat 2, Microsoft Excel Origin.

Обсуждение результатов

Аттестация твердых растворов системы InSb-ZnTe

Результаты рентгенографических, ИК- и КР-спектроскопических, электрофизических исследований, позволившие получить новую информацию о физико-химических свойствах системы InSb-ZnTe , в свою очередь, свидетельствуют об образовании в ней (при указанных составах) твердых растворов замещения (рис. 1 – 3).

Так, по результатам рентгенографических исследований линии на рентгенограммах сдвинуты относительно линий бинарных компонентов при постоянном их числе (рис. 1); зависимости значений параметра решетки (a), межплоскостного расстояния (d_{hkl}), рентгеновской плотности (ρ_r) от состава близки к линейным (рис. 2). Обращает также на себя внимание отсутствие на рентгенограммах дополнительных линий, отвечающих непрореагировавшим бинарным компонентам, и размытости основных линий. Это говорит о полном завершении синтеза твердых растворов, а положение и распределение по интенсивности основных линий — об обладании всеми компонентами системы $(\text{InSb}, \text{ZnTe}, (\text{InSb})_x (\text{ZnTe})_{1-x})$ кубической структурой сфалерита.

Найденные на основе ИК-спектроскопических исследований (по пересечению касательной к краю поглощения с осью $h\nu$ [6]) величины оптической ширины запрещенной зоны (ΔE_g) в ряду $\text{InSb} \rightarrow (\text{InSb})_{0.95} (\text{ZnTe})_{0.05} \rightarrow (\text{InSb})_{0.9} (\text{ZnTe})_{0.1}$ составляют соответственно 0,21; 0,28; 0,37 эВ, то есть с составом изменяются практически линейно (рис. 2, 3). (Использование результатов определения оптической ширины запрещенной зоны методом ИКС для аттестации твердых растворов замещения основывается на существующей корреляционной связи между спектральными кривыми пропускания и составом твердого раствора [9].)

Нарастанию ширины запрещенной зоны с увеличением в системе InSb-ZnTe содержания ZnTe отвечает плавное уменьшение удельной электропроводности (рис. 2), что является следствием попарного замещения атомов с образованием нейтральных катион-анионных (донорно-акцепторных), равномер-

но распределенных комплексов [10, 11], то есть твердых растворов замещения.

При анализе спектров комбинационного рассеяния компонентов системы InSb-ZnTe (рис. 3) выявлено изменение относительной интенсивности, уширение пиков излучения и их смещение с увеличением содержания ZnTe , что является следствием изменения координационного окружения атомов исходных бинарных компонентов, ширины запрещенной зоны и, в согласии с выше сказанным, об образовании твердых растворов замещения [1, 12].

Так, в спектрах твердых растворов появляется узкий пик ($\Delta\nu = 81-84 \text{ см}^{-1}$, $E = 0,01 \text{ ЭВ}$), интенсивность которого изменяется при увеличении содержания ZnTe . Появление такого пика обусловлено возникновением внутри запрещенной зоны в результате замещения атомов дискретных примесных уровней, между которыми происходят электронные переходы, типичные для переходных металлов в расплавах и твердых растворах [13]. Кроме того, в спектрах твердых растворов, как и в спектре антимонида индия, присутствует пик, имеющий отношение к переходам зона проводимости — валентная зона (межзонная рекомбинация) в интервале частот 2000 – 3300 см^{-1} (рис. 3). Но здесь он более ярко выражен, а положение его максимума с увеличением содержания ZnTe смещается в сторону больших частот.

Подтверждением образования твердых растворов является также наблюдаемый эффект люминесценции в антистоксовской области при введении ZnTe в InSb . Люминесценция обусловлена отмеченными выше межзонными переходами и возникновением в запрещенной зоне в процессе легирования

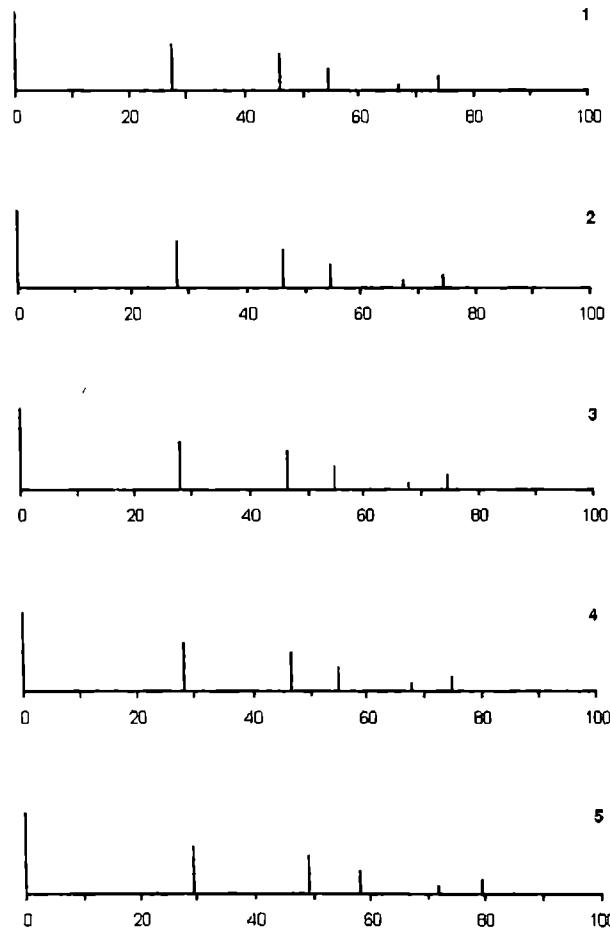


Рис. 1. Схемы рентгенограмм компонентов системы InSb-ZnTe , содержащих 0(1), 5(2), 10(3), 20(4), 100(5) мол.% ZnTe

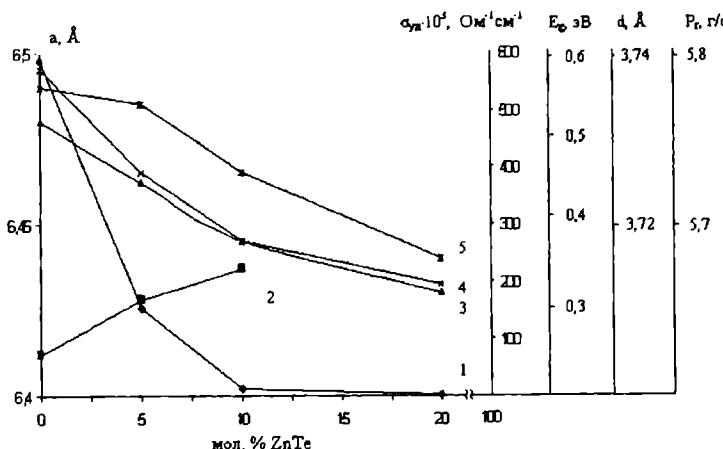


Рис. 2. Зависимости удельной электропроводности (1), оптической ширины запрещенной зоны (2), параметра решетки (3), рентгеновской плотности (4) и межплоскостного расстояния (5) от состава системы InSb-ZnTe

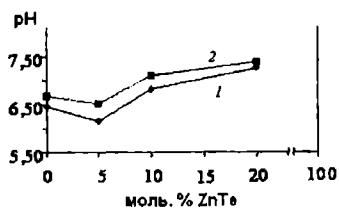


Рис. 3. Спектры комбинационного рассеяния компонентов системы InSb-ZnTe:
1 – InSb; 2 – механическая смесь, содержащая 5 мол. % ZnTe;
3 – твердый раствор $(\text{InSb})_{0.95}(\text{ZnTe})_{0.05}$;
4 – твердый раствор $(\text{InSb})_{0.90}(\text{ZnTe})_{0.10}$; 5 – ZnTe.

антимонида индия примесных уровней. Рассчитанные на основе КР-спектров средние энергии, соответствующие межзонным переходам, характеризующим ширину запрещенной зоны, для InSb, $(\text{InSb})_{0.95}(\text{ZnTe})_{0.05}$, $(\text{InSb})_{0.90}(\text{ZnTe})_{0.10}$ составляют 0,22; 0,30; 0,38 эВ и находятся в хорошем согласии с результатами определения ширины запрещенной зоны на основе ИК-спектроскопических исследований: для указанных компонентов она равна 0,21; 0,28; 0,37 эВ.

Сравнение КР-спектров бинарных компонентов и твердых растворов со спектрами механических смесей аналогичного с последними состава позволило сделать принципиально важный вывод: формирование твердых растворов в системе InSb-ZnTe происходит уже на стадии механохимической активации и окончательно завершается при термической обработке.

Определенные методом лазерной масс-спектрометрии составы пленочных образцов, отожженных в парах сырьевого материала при $T = 550-570$ К, отвечают стехиометрическим и соответствуют формулам $\text{ZnTe}_{1.04} : \text{InSb}_{1.05}$; $0.952 \text{ InSb}_{1.05} - 0.048 \text{ ZnTe}_{1.04}$.

Кислотно-основные свойства поверхности компонентов системы InSb-ZnTe

Определение водородного показателя изоэлектрического состояния ($\text{pH}_{\text{изо}}$). Как видно из рис. 4, значения $\text{pH}_{\text{изо}}$ исследуемых образцов, экспонированных на воздухе, изменяются в ряду $\text{InSb} \rightarrow (\text{InSb})_x(\text{ZnTe})_{1-x} \rightarrow \text{ZnTe}$ от 6,46 (для InSb) до 7,69 (для ZnTe) с ростом мольной доли ZnTe и проходят через минимум ($\text{pH}_{\text{изо}} = 6,15$) при 5 мол. % ZnTe. Т.е. наблюдается переход от слабокислых к слабоосновным свойствам поверхности.

Нелинейное, но плавное изменение (нарастание) $\text{pH}_{\text{изо}}$ с составом (рис. 4) является дополнительным подтверждением образования в системе InSb-ZnTe твердых растворов замещения.

Характер концентрационной зависимости $\text{pH}_{\text{изо}}$ сохраняется и после экспонирования компонентов системы в атмосфере CO. При этом значения $\text{pH}_{\text{изо}}$ смещаются в щелочную область. Такое поведение водородного показателя, как уже отмечалось [3], связано с электронной структурой и двойственной функцией молекул CO [14]: взаимодействие неподеленных электронных пар CO и свободных орбиталей координационно ненасыщенных атомов (в частности, In, Zn) обуславливает частичное гашение льюисовских кислотных центров и, соответственно, увеличение значений $\text{pH}_{\text{изо}}$.

Неводное кондуктометрическое титрование. Результаты этих исследований позволили подтвердить природу, определить концентрацию кислотных центров, оценить их изменение под воздействием CO (представлены на рис. 5).

Как видно из рис. 5, дифференциальные кривые кондуктометрического титрования исследуемых образцов, экспонированных на воздухе, содержат по три пика, указывая на существование на поверхности трех типов кислотных центров. Ответственными за них должны выступать координационно ненасыщенные атомы (In, Zn) и молекулы воды группы OH^- [14].

Экспонирование образцов в атмосфере CO сопровождается исчезновением первого пика и снижением общей концентрации кислотных центров – наибольшим при $x_{\text{ZnTe}} = 0,05$. Эти факты укладываются в схему предложенного в [14] механизма адсорбции оксида углерода на алмазоподобных полупроводниках: при контакте с поверхностью CO будет взаимодействовать преимущественно с льюисовскими кислотными центрами и лишь частично – с бренстедовскими.

По убыванию концентрации кислотных центров, соответствующих первому пику дифференциальных кривых кондуктометрического титрования, компоненты системы InSb-ZnTe располагаются в последовательности $\text{InSb}_{0.95}\text{ZnTe}_{0.05} > \text{InSb}_{0.90}\text{ZnTe}_{0.10} > \text{InSb}_{0.80}\text{ZnTe}_{0.20} \geq \text{InSb} \approx \text{ZnTe}$. Отсюда, с учетом сказанного о природе кислотных центров и механизме адсорбции CO, наибольшей концентрацией центров Льюиса обладает поверхность твердого раствора $(\text{InSb})_{0.95}(\text{ZnTe})_{0.05}$.

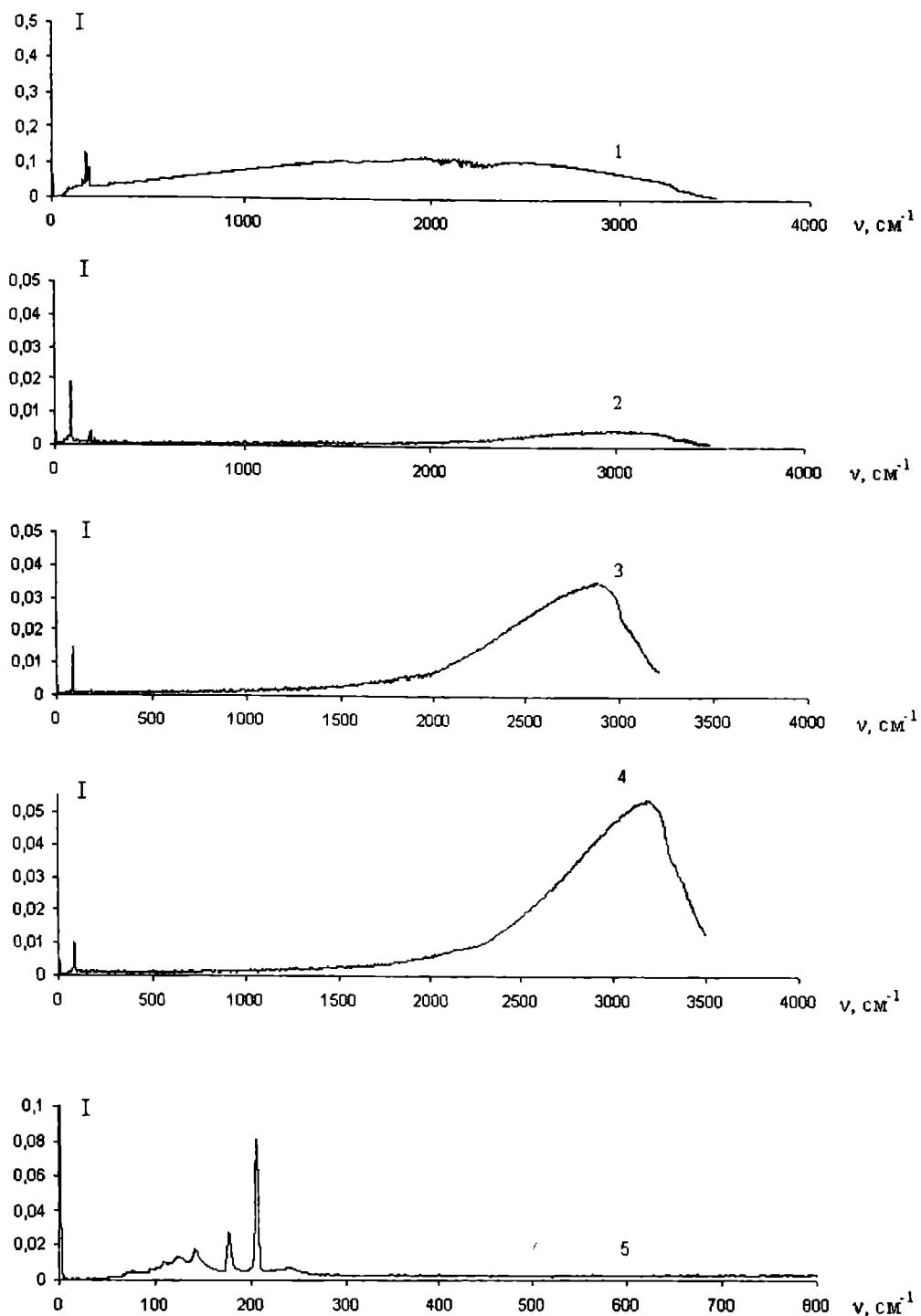
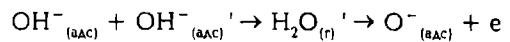
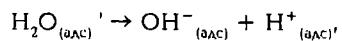


Рис. 4. Концентрационные зависимости pH изоэлектрического состояния поверхности компонентов системы InSb-ZnTe, экспонированных в атмосфере оксида углерода (1) и на воздухе (2)

Механохимические исследования, позволившие проследить за поведением свежеобразованной поверхности в различных средах (воде, ацетоне, изопропиловом спирте), дали дополнительные сведения о силе и природе кислотно-основных центров, о механизме кислотно-основных взаимодействий.

При измельчении в воде крупнодисперсных порошков бинарных соединений (InSb, ZnTe) и твердых растворов системы InSb-ZnTe наблюдается подкисление среды (уменьшение pH) (рис. 6), что согласуется с наличием в ИК-спектрах водных растворов диспергированных образцов полос поглощения ионов SbO_4^{3-} – SeO_4^{2-} .

Последние, как показано в [4], имеют поверхностное происхождение: химически адсорбированные молекулы воды десорбируются по схеме [6]:



Частицы H^+ и OH^- взаимодействуют с координационно ненасыщенными атомами Sb и Se, находящимися на вновь созданной поверхности, с образованием кислот H_3SbO_4 и H_2SeO_4 , которые в процессе механохимического воздействия переходят в раствор.

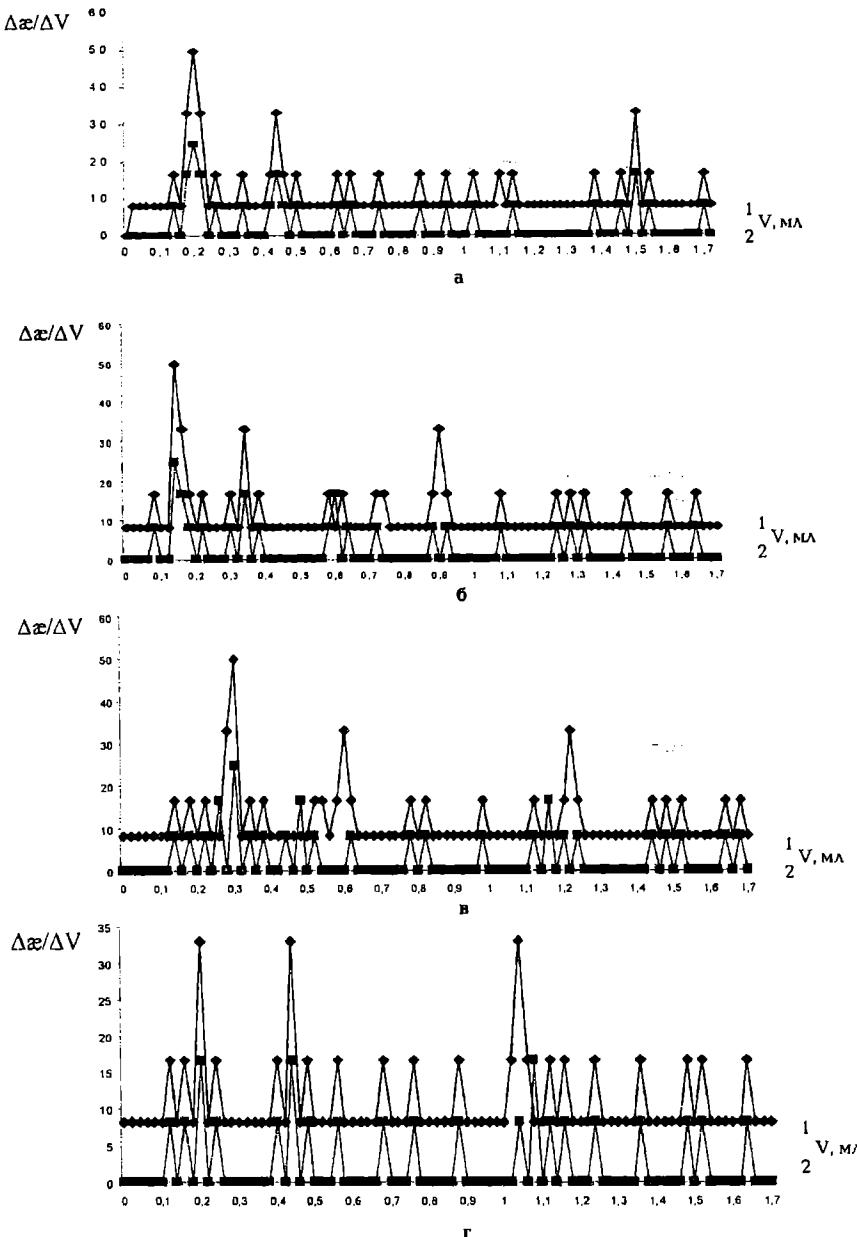


Рис. 5. Дифференциальные кривые кондуктометрического титрования компонентов системы InSb-ZnTe, экспонированных на воздухе (1) и в атмосфере CO (2): $x_{\text{ZnTe}} = 0$ (а); 0,05 (б); 0,10 (в); 1,0 (г).

Незначительное увеличение рН среды в конце механического воздействия на твердые растворы можно связать с гидролизом ионов SbO_4^{3-} и TeO_3^{2-} , являющихся остатками слабых кислот.

Диспергирование компонентов системы InSb-ZnTe в ацетоне также сопровождается подкислением среды. Этому факту находим объяснение в [4, 15]. Обращает на себя внимание одинаковая последовательность в расположении компонентов системы InSb-ZnTe по уменьшению рН среды при диспергировании их в ацетоне (рис. 6) и по концентрации кислотных центров, соответствующей третьему пику на дифференциальных кривых кондуктометрического титрования: $\text{InSb} > (\text{InSb})_{0,95}(\text{ZnTe})_{0,05} > (\text{InSb})_{0,90}(\text{ZnTe})_{0,10} > (\text{InSb})_{0,8}(\text{ZnTe})_{0,2} > \text{ZnTe}$.

Исходя из изложенного объяснения причины подкисления среды при диспергировании компонентов в ацетоне, логично считать ответственными за третий пик на дифференциальных кривых кондуктометрического титрования адсорбированные молекулы воды, и тогда за второй пик — поверхностные гидроксильные группы [16].

Диспергирование исследуемых компонентов в изопропиловом спирте сопровождается появлением в ИК-спектрах систем «диспергируемый полупроводник — изопропиловый спирт» полосы поглощения с максимумом при 1650 cm^{-1} , отвечающей деформационным колебаниям OH-групп образующейся при разложении изо- $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ воды и одновременно уменьшением интенсивности полосы поглощения в области $3200\text{-}3500 \text{ cm}^{-1}$, отвечающей валентным колебаниям OH-групп изо- $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$. Неодинаковая интенсивность полосы 1650 cm^{-1} в ИК-спектрах свидетельствует о неодинаковой относительной катализической активности компонентов системы InSb-ZnTe и, соответственно, о неодинаковых силах и концентрациях кислотных центров, ответственных за катализическую реакцию, протекающую в данном случае по кислотно-основному механизму [17]. По уменьшению катализической активности компоненты располагаются в последовательности: $(\text{InSb})_{0,95}(\text{ZnTe})_{0,05} > (\text{InSb})_{0,90}(\text{ZnTe})_{0,10} > (\text{InSb})_{0,8}(\text{ZnTe})_{0,2} \text{ H}^+ \text{ ZnTe}$. В такой же последовательности они располагаются и по концентрации кислотных центров, рассчи-

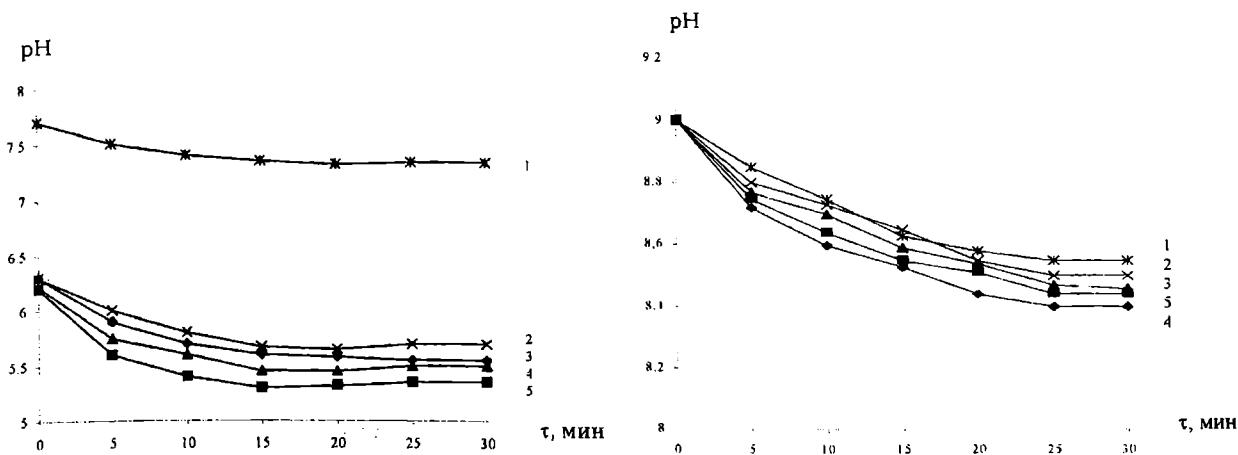


Рис. 6. Кинетические изотермы диспергирования в воде (а) и ацетоне (б) крупнодисперсных порошков компонентов системы InSb-ZnTe: $x_{ZnTe} = 0$ (1); 0,05 (2); 0,10 (3); 0,20 (4); 1,0 (5).

танных по первому пику на дифференциальных кривых кондуктометрического титрования. Учитывая донорно-акцепторный механизм адсорбции изопропилового спирта с участием координационно ненасыщенных атомов [17], отмеченный факт подтверждает сделанное заключение о принадлежности названных кислотных центров к льюисовскому типу.

Проведено сопоставление кислотно-основных свойств поверхности компонентов изученной системы InSb-ZnTe и компонентов систем InSb-CdS, InP-CdS [18, 19]. Обнаружены интересные зависимости свойств от природы и относительного вклада исходных бинарных соединений как типа $A^{III}B^V$, так и типа $A^VI B^VI$, что является предметом дальнейшего обсуждения.

Библиографический список

1. Кировская И.А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Твердые растворы. Томск: Изд-во ТГУ, 1984. — 160 с.
2. Тонкие пленки антимонида индия. Штиинца, 1989. — 162 с.
3. Кировская И.А., Азарова О.П. Химический состав и кислотно-основные свойства поверхности системы InSb-ZnSe // ЖФХ, 2003. — Т. 77. — № 9. — С. 1663–1667.
4. Кировская И.А. Поверхностные явления. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. — 175 с.
5. Кировская И.А. Физико-химия поверхности твердого тела. Электронные процессы. Омск: ОмГПИ, 1993. — 36 с.
6. Кировская И.А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Химический состав поверхности. Каталог. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1988. — 220 с.
7. Кировская И.А. Адсорбционные процессы. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1995. — 300 с.
8. Кировская И.А., Азарова О.П., Шубенкова Е.Г., Дубина О.Н. Синтез и оптическое поглощение твердых растворов систем InSb- $A^{VI}B^{VI}$ // Неорганические материалы, 2002. — Т. 38. — № 2. — С. 135–138.
9. Беляев А.П., Рубец В.П., Калинкин И.П. Корреляционная связь между пропусканием и составом в пленках твердых растворов соединений $A^{VI}B^{VI}$ // Неорганические материалы, 1999. — Т. 35, № 5. — С. 548–551.
10. Глазов В.М., Чижевская С.Н., Глаголева Н.Н. Жидкие полупроводники. М.: Наука, 1967.
11. Скоробогатова Л.А., Хабаров Э.Н. Зонные параметры системы твердых растворов $(InSb)_x(CdTe)_{1-x}$ // Физика полупроводников, 1974. — Вып. 2. — С. 401–403.
12. Питер Ю., Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2002. — 560 с.
13. Кузьминов Ю.С., Ломонова Е.Е., Осико В.В. Тугоплавкие материалы из холодного тигля. М.: Наука, 2004. — С. 353–361.
14. Кировская И.А. Поверхностные свойства алмазоподобных полупроводников. Адсорбция газов. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1984. — 186 с.
15. Кировская И.А. Кинетика химических реакций. Химическое равновесие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. — 207 с.
16. Крещков А.П., Казарян Н.А. Кислотно-основное титрование в неводных растворах. М.: Химия, 1967. — 192 с.
17. Кировская И.А. Катализ. Полупроводниковые катализаторы. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. — 272 с.
18. Кировская И.А., Тимошенко О.Т. Кислотно-основное состояние и адсорбционная активность (по отношению к NH_3) поверхности компонентов системы InH-CdS // ДАН ВШ РФ, 2006. — № 1(6). — С. 69–73.
19. Кировская И.А., Тимошенко О.Т., Лещинский С.С. и др. Новые материалы на основе полупроводниковых систем типа $A^{III}B^V-A^{VI}B^{VI}$ // Материалы Междунар. науч. конф. «Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий» — Томск, 2006. — С. 80–81.

КИРОВСКАЯ Ирина Алексеевна, доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой физической химии, заслуженный деятель науки и техники РФ.

ШУБЕНКОВА Екатерина Гарриевна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры физической химии.

ТИМОШЕНКО Оксана Тарасовна, старший преподаватель кафедры физической химии.

ФИЛАТОВА Татьяна Николаевна, ассистент кафедры физической химии.

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.

© Кировская И.А., Шубенкова Е.Г., Тимошенко О.Т., Филатова Т.Н.

И. В. МОЗГОВОЙ
Г. М. ДАВИДАН
А. Г. НЕЛИН
Л. Н. ОЛЕЙНИК
Е. Д. СКУТИН

Омский государственный
технический университет

ИЗОМЕРИЗАЦИЯ ЛЕГКИХ БЕНЗИНОВЫХ ФРАКЦИЙ — ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

Представлен анализ мирового производства высокооктановых неароматизированных компонентов автомобильных бензинов. Показано, что российская нефтепереработка существенно отстает от ведущих нефтеперерабатывающих стран по этому показателю, и выявлены причины такого отставания. Отмечены положительные тенденции развития российской нефтепереработки в производстве высокооктановых неароматизированных компонентов автомобильных бензинов, в частности бензина-изомеризата.

Имеющиеся прогнозы развития автомобильного транспорта показывают, что доминирующая роль нефтяных топлив сохранится в ближайшие 10-15 лет, несмотря на нарастающее применение альтернативных энергоносителей. Доля бензина в мировом балансе топлива, используемом на автотранспорте, к 2020 году составит не менее 50 % [1].

Ассортимент и качество применяемых моторных топлив определяется в основном структурой автомобильного парка. Совершенствование автомобильных двигателей постоянно диктует новые требования к качеству топлив. Прогресс в области производства автомобильных бензинов в последние 15 лет заключается в повышении их антидетонационной стойкости при ужесточении требований к экологическим показателям.

Все законодательные инициативы в конечном итоге направлены на снижение токсичности транспортных средств и поэтому особенно жестко регламентируют экологические показатели качества топлив [2], представленные в табл. 1.

В 2005 г. в Европе были введены нормы Евро-4 и рассматриваются нормы Евро-5, переход на которые планируется с 2008 г. Динамика изменения экологических норм, регулирующих выбросы автотранспортными средствами в Европе и России, представлена в табл. 2. Из нее, в частности, видно, что сроки введения новых экологических требований к автомобильному парку в России отстают от европейских на четыре-шесть лет.

Нынешний парк российских легковых автомобилей включает 24 млн. ед., и их количество увеличива-

Современные требования к автомобильным бензинам

Показатели	Россия		ЕЭС (EN -228)		
	ГОСТ 2084-77	ГОСТ Р 51105-97	Евро-2	Евро-3 (с 2000 г.)	Евро-4 (с 2005 г.)
Максимальное содержание, %: бензола		5,0	5,0	1,0	1,0
серы	0,1	0,05	0,05	150 ppm	30 ppm
ароматических углеводородов	55 [†]	55 [†]	-	42	30
олефинов	20 [†]	20 [†]	-	18	14
кислорода	2,7 [†]	2,7 [†]	-	2,3	2,7
Фракционный состав, °C до 100 °C перегоняется, %, не менее		40	-	46	46
до 150 °C перегоняется, %, не менее	-	-	-	75	75
до 160 °C перегоняется, %, не менее	-	85	-	-	-
Давление насыщенных паров, кПа, не более	-	35 (100 [‡])	-	60	60
Наличие моющих присадок	-	-	-	обязательно	

[†] Норма комплекса методов квалификационной оценки.

[‡] В зависимости от класса испаряемости.

Таблица 1

Таблица 2

Сроки применения экологических Правил ЕЭК ООН

Норма	Автомобили		Автомобильный бензин	
	Западная Европа	Россия	Западная Европа	Россия
Евро-2	1996	2002 (легковые) 2000 (грузовые)	1994-1995 (EN 228:1993)	1997 (ГОСТ Р 51105)
Евро-3	2000	2004 – 2005 (проект)	2000 (EN 228:1999)	2002 (ГОСТ Р 51866)
Евро-4	2005	не определен	2005 (EN 228:2004)	2005 (ТУ 38.401-58-350-2005)

Таблица 3

Компонентный состав суммарного бензинового фонда, % об.

Компоненты	США	Западная Европа	Россия
Бензин каталитического крекинга	35,5 – 36,1	27,1	9,6 – 20,0
Бензин-риформат	34,0 – 34,6	46,9 – 48,2	52,8 – 54,1
Бензин-алкилат	11,2 – 13,3	5,0 – 5,9	0,3
Бензин-изомеризат	4,4	5,0	1,5
Бутаны	5,5 – 7,0	5,0 – 5,7	5,7
Кислородсодержащие соединения	2,1 – 3,6	1,8 – 2,0	0,2
Прочие	7,0 – 0,4	9,2 – 6,1	29,9 – 18,2

ется на 0,9 – 1 млн. ед. в год. Несмотря на высокие темпы роста автопарка, 50 % автомобилей имеют возраст свыше 10 лет, 31 % – от пяти до 10 лет и только 19 % – менее пяти лет.

В последние годы в автомобильном парке страны заметно растет доля машин, удовлетворяющих требования Евро-3/Евро-4. Однако их эксплуатация требует применения топливных моющих присадок, поскольку эффективность работы современных двигателей очень чувствительна к образованию отложений в системе топливоподачи или камере сгорания. В связи с этим возникает необходимость организации промышленного производства бензинов, отвечающих требованиям Евро-4. ОАО «ВНИИНП» разработало ТУ 38.401-58-350-2005 на бензины для автомобилей класса Евро-4. Но потребность в таких бензинах, учитывая и имеющиеся автомобили с нормами выбросов Евро-3, составляет сегодня менее 1 % от общего производства (не более 300 тыс. т в год), что вполне обеспечивается имеющимися мощностями российских нефтеперерабатывающих заводов.

Анализ структуры автомобильного парка страны и технических возможностей отечественной нефтепереработки показывает, что сегодня в России целесообразно производить и реализовывать следующий ассортимент автомобильных бензинов:

- «Супер Евро-98/4» и «Премиум Евро-95/4» по ТУ 38.401-58-350-2005;
- «Премиум-95», «Регуляр-92» и «Нормаль-80» по ГОСТу Р 51105-97.

Производить автомобильные бензины по ГОСТу Р 51866-2002 в настоящее время нецелесообразно – они не востребованы ни внутренним, ни внешним рынком.

Индекс российского производства нефтепродуктов в 2006 г. составил 106,3 % по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года. Такая положительная динамика объясняется ростом спроса на нефтепродукты и повышением привлекательности внутренней нефтепереработки, как отмечают в Минэкономразвития. Доля переработки нефти по отношению к объему ее добычи увеличилась до 45,6 % (в январе – ноябре 2005 г. 44,1 %). В данный период

произведено автомобильного бензина 31,2 млн. т (106,8 % к соответствующему периоду 2005 года). Однако если по уровню добычи углеводородов Россия выходит на первое место в мире, то по объемам переработки нефти страна (данные агентства «ИнфоТЭК-КОНСАЛТ») занимает только третье место после США и Японии. Выход автобензинов на отечественных НПЗ в среднем составляет 15,7 % на нефть, дизельного топлива 28,4 %. В странах Евросоюза эти показатели составляют более 20 и 35 % соответственно. Таким образом, по мощности российские заводы относятся к числу крупнейших в мире, а по эффективности и качеству переработки нефти – к наиболее отсталым. И в этом, по мнению экспертов, кроется серьезная угроза экономической безопасности, поскольку Россия остается «сырьевым придатком», экспортируя преимущественно сырью нефть, хотя динамика цен на продукты высоких стадий обработки более устойчива.

Базовыми процессами для производства бензинов в настоящее время являются каталитический крекинг и каталитический риформинг [2, 3]. Формирование структуры мирового бензинового фонда ведущих нефтеперерабатывающих стран характеризуют данные табл. 3.

Доминирование процессов катакрекинга и риформинга обуславливает повышенное содержание в товарных бензинах ароматических углеводородов, вредных для организма человека и окружающей среды. Поэтому в условиях ужесточения требований к экологической чистоте бензинов (табл. 1) возрастает значение процессов алкилирования и изомеризации *n*-парафинов для производства неароматизированных высокооктановых компонентов топлива. Эти бензины выгодно отличаются от бензинов катакрекинга и риформинга отсутствием ароматических и непредельных углеводородов. Так, например, бензин-алкилат имеет октановое число 94 – 97 по исследовательскому методу и низкое давление насыщенных паров по Рейду (27,6 кПа) [4].

Изомеризация парафиновых углеводородов C_5 – C_6 (фракция н. к. – 70 °C) является одним из наиболее рентабельных способов получения высокооктановых

Таблица 4

Свойства типичных видов сырья процесса изомеризации

Показатели	Бензины				
	прямогонные	газовые	риформинга	гидрокрекинга	рафинат риформинга
Пределы кипения, °С	C ₅ – 71	C ₅ – 77	C ₅ – 82	C ₅ – 80	C ₅ – 77
Содержание, % n-парафины	45 – 50	35 – 45	25 – 30	5 – 15	30 – 40
нафтины	7 – 10	7 – 10	2 – 3	11 – 13	15 – 35
бензол	2	1	8	отсутств.	отсутств.
углеводороды C ₅	1	1	3	4	2
Октановое число (ИМ)	69 – 71	70 – 75	75 – 80	80 – 85	65 – 70

Таблица 5

Процессы изомеризации углеводородных фракций

Показатели	Фирма/процесс			
	UOP/пенекс	Shell/хайзомер	UOP/TIP	BP/Lsom
Температура, °С	120 – 200	260 – 370	260 – 370	90 – 100
Давление, МПа	2,1 – 7	1,4 – 3,5	1,4 – 3,5	2 – 3
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	1 – 3	1 – 3	1 – 3	1 – 3
Катализатор	Pt/Al ₂ O ₃	Pt/цеолит	Pt/цеолит	Pt/Al ₂ O ₃
Соотношение H ₂ / сырье	1: (1 – 4)	1: 4	1: 4	1: 3
Октановое число (ИМ)	84	84	90	84
Удельные кап. вложения долл./т	14,3	10,7	24	7,5
Удельные энергозатраты на 1 м ³ сырья: электроэнергии, кВт·ч	10,6	11,9	19,5	8,17
топливо, тыс. ккал	219	79	86	15,2
водорода, м ³		13,1	17,8	-

Таблица 6

Выход продуктов в процессах «пенекс» за один проход и с рециркуляцией

Показатели	Сырье гидроочищенное	За один проход	Пенекс-молекс
Состав, % об.: C ₄	4,9	-	-
C ₅	43,5	-	-
C ₆	51,6	-	-
ОЧ C _{5+..} (ИМ)	70,0	83,1	88,6
ОЧ C _{4+..} (ИМ)	71,2	83,9	89,1
Выход C _{5+..} % об.	-	99,9	99,7
Содержание, % об.: n-C ₅	24,4	9,7	0,6
n-C ₆	18,4	4,7	0,3
2,2-диметилпентан	0,9	13,4	14,9

компонентов бензинов с улучшенными экологическими свойствами [5]. В качестве сырья процесса могут быть использованы разнообразные бензиновые фракции. В табл. 4 приведены свойства бензиновых фракций различных процессов нефтепереработки, пригодных для производства бензина-изомеризата.

На начало XXI века в мире производилось около 50 млн. т. бензина-изомеризата, из которых на долю России приходилось около 1 млн. т. Ведущими зарубежными фирмами-лицензиарами процесса изомеризации являются «Union Oil Products» (UOP), British Petroleum (BP), Shell, Kellog и др. (табл. 5).

Большинство действующих, строящихся и проектируемых установок изомеризации основано на использовании процессов «пенекс» и «TIP» фирмы UOP [6]. Сочетание процессов «пенекс» (изомеризация) и «молекс» (селективной жидкофазной адсорбции на молекулярных ситах) фирмы UOP позволяет за счет увеличения конверсии n-парафинов повысить антидетонационные характеристики легкого прямогонного бензина (табл. 6).

Для выбора оптимальной схемы изомеризации углеводородов фракции C₅ – C₆ фирма UOP провела сопоставительный анализ вариантов процесса «пе-

Таблица 7

Показатели процессов изомеризации бутана

Показатели	UOP	British Petroleum	НПО «Леннефтехим»
Катализатор	Pt на хлорированном Al_2O_3		
Температура процесса, °C	нет данных	150 – 200	180 – 200
Давление, МПа	нет данных	до 3,8	до 3,8
Объемная скорость подачи сырья, ч ⁻¹	1 – 3	1 – 3	1 – 3
Соотношение H_2 : сырье, моль/моль	нет данных	0,1 – 0,5	1 – 2
Выход изобутана, % масс. за один проход на превращенное сырье	равновесный до 100	до 56 97	50 96,5
Срок службы катализатора, мес.	12	24	24

некс» для различных видов сырья (разное соотношение углеводородов C_5 и C_6) с октановым числом продукта. Сделан вывод, что внедрение систем с рециркуляцией делает установку более дорогостоящей, но октановое число изомеризата при этом значительно повышается. В качестве сырья процесс «пенекс» может использовать прямогонные фракции, содержащие углеводороды C_5 и C_6 , но должна быть предусмотрена гидроочистка и осушка сырья. Процесс «пенекс» позволяет получать из сырья с ОЧ = 69 (ИМ) продукт с ОЧ = 83 – 84 в чистом виде без рециркуляции, с ОЧ = 86 – с рециркуляцией *л*-пентана и с ОЧ = 89 – с рециркуляцией *л*-пентана и *л*-гексана.

В процессе «бутамер» фирмы UOP с целью получения изобутана проводится изомеризация *л*-бутана на алюмоплатиновом хлорированном катализаторе в газовой фазе при давлении водорода на неподвижном слое катализатора при температуре 150 – 200 °C. За один проход выход изобутана составляет более 50 %. Селективность катализатора достигает 97 %. Соответственно низок расход водорода. Практическое отсутствие побочных реакций обеспечивает низкое коксообразование, допускает поддержание невысокого соотношения водород/сырье при длительном сроке службы катализатора.

В настоящее время имеется значительное количество установок типа «бутамер» фирмы UOP, причем примерно треть из них входит в состав установок фтористо-водородного алкилирования. В табл. 7 представлены сравнительные данные показателей процесса изомеризации бутана зарубежных и отечественных установок.

Процесс изомеризации применяется сегодня на шести российских предприятиях нефтепереработки, каждому из которых строительство установок обошлось приблизительно в \$20 млн. В 2006 году было предусмотрено введение установки изомеризации мощностью 440 тыс. тонн в год на ОАО «Лукойл-Нижегороднефтеоргсинтез».

На ООО «ПО Киршинефтеоргсинтез» в 2006 году уже проведено внедрение низкотемпературного процесса изомеризации легких бензиновых фракций переводом установки риформинга А-35-11/300 на процесс «Изомалк-2» [7]. Для решения этой задачи специалистами завода был проведен анализ лучших мировых достижений в этой области. Выбор был сделан в пользу технологии низкотемпературной изомеризации «Изомалк-2» на катализаторе СИ-2, разработчиком которой является ОАО НПП «Нефтехим» (г. Краснодар).

Следует отметить, что по активности и селективности катализатор СИ-2 превосходит зарубежные катализаторы изомеризации, проявляет устойчи-

вость к воздействию микропримесей влаги, азота, серы и хлора, а также не требует дополнительного блока осушки сырья. Кроме того, по сравнению с зарубежными аналогами стоимость поставки катализатора значительно ниже, поскольку извлечение платины из отработанных и изготовленные новых катализаторов производится в России.

Полученный прирост октанового числа изомеризата по сравнению с сырьем колеблется в пределах 13–15 пунктов в зависимости от содержания изомеров в сырье, а октановое число стабильного изомеризата составляет 82–84 пункта по моторному методу, или 84–86 по исследовательскому методу. Это позволило предприятию с 1 декабря приступить к производству автомобильных бензинов, соответствующих стандарту Евро-4: марок «Регуляр Евро-92/4» и «Премиум Евро-95/4», в соответствии с требованиями технических условий, вступившими в действие в прошлом году. В связи с этим прекращен выпуск автомобильных бензинов марок А-92 (АИ-92), А-96 (АИ-96), производившихся по ТУ 2003 г.

По объему производства бензинов Омский НПЗ считается безусловным лидером среди российских предприятий отрасли. В 2001 году на ОАО «Сибнефть-ОНПЗ» была введена в строй установка сибирского алкилирования мощностью 300 тыс. тонн, а в 2005 году — установка каталитического риформинга мощностью до 900 тыс. тонн в год платформата — компонента неэтилированного высокооктанового бензина. Это позволило предприятию выйти на первое место в стране по объему производства автобензинов (в 2006 году более 3 млн. тонн) и довести долю высокооктановых бензинов в общем объеме их производства до рекордных 61,5 %.

Однако, по мнению руководства завода, сейчас следует развивать направление по производству высококачественных бензинов, для чего планируется строительство блока изомеризации на базе законсервированной установки каталитического риформинга А35/11-600. К тендеру на проектирование предполагается привлечь как минимум две структуры: американскую фирму «Union Oil Products» (UOP) и краснодарское ОАО НПП «Нефтехим», которые считаются мировым и отечественным лидерами по разработке установок изомеризации и производству катализаторов для них. К строительству нового блока планируется приступить в 2007 году. Новые бензиновые компоненты (изомеризат и изопентан) увеличат долю высокооктановых бензинов в общем объеме выпускаемой продукции, а также улучшат их качество и экологические характеристики. По окончании строительства прирост производства высокооктановых бензинов может составить до 600

тыс. тонн в год, или 20 % от общего объема производства бензинов.

Доступность сырьевого резерва в виде легких бензиновых фракций на установках риформинга, расположенных в удаленных районах, также может стимулировать расширение объема производства бензина-изомеризата. Анализ технологического процесса на примере установки ЛП 35-11/40 ОАО НК «Роснефть-Пурнефтегаз» показал [8], что уменьшение содержания бензола в стабильном катализате его разбавлением прямогонной фракцией н.к.-62 °С, октановое число которой не превышает 69 пунктов, значительно снижает октановое число готовой продукции. Предлагаемое введение блока изомеризации фракции н.к.-62 °С повысит ее октановое число до 82 пунктов при полном отсутствии бензола.

Процесс изомеризации н-гептана и легких бензиновых фракций предлагается проводить по отечественной технологии ВНИИНефтехима на хлорированном алюмоплатиновом катализаторе ИП-62. Этот катализатор соответствует современным технологическим требованиям и позволяет проводить процесс при сравнительно низких температурах (100 – 200 °С). Для повышения выхода целевого продукта предусматривается рециркуляция основной массы нормальных парафинов и изопарафинов с малоразветвленной структурой. При этом сырье и водородсодержащий газ должны быть очищены от гетероатомов и воды.

Реакции изомеризации алканов являются равновесными, протекают практически без изменения объема и с небольшим выделением тепла (2 – 20 кДж/моль). Образование изоалканов благоприятствуют низкие температуры, однако процесс может сопровождаться рядом побочных реакций, среди которых следует отметить крекинг и диспропорционирование. Для подавления подобных реакций и поддержания активности катализатора процесс следует проводить в среде водорода при давлении 2 – 4 МПа и циркуляции ВС1.

Скорость изомеризации н-парафинов значительно возрастает с увеличением их молекулярной массы. На сульфиде вольфрама при 340 °С, например, скорость изомеризации н-пентана в 2,1 раза меньше, чем н-гексана, и в 4,2 меньше, чем н-октана [9]. Отсюда следует, что изомеризацию целесообразно проводить селективно, т. е. для легких бензиновых фракций при более жестком режиме, чем для утяжеленных фракций.

С помощью пакета прикладных программ HYSYS фирмы Huyrotech проведено моделирование стационарного режима процесса изомеризации в адиабатическом реакторе идеального вытеснения [8]. Для всех катализаторов зависимость скорости реакции изомеризации от парциального давления носит экстремальный характер при достижении определенной концентрации водорода на поверхности катализатора. Величина и положение максимума зависят от типа катализатора, температуры и молекулярной массы углеводорода. Экономические оценки показывают целесообразность подобной модернизации, поскольку использование полученного изомеризата для компаундирования товарных бензинов позволит в итоге увеличить объем товарной продукции и улучшить ее экологические показатели.

Заключение

1. Расширение объема производства высокооктановых неароматизированных компонентов автомо-

бильных бензинов, в том числе и посредством катализической изомеризации, в связи с все большим ужесточением требований экологической безопасности является актуальным.

2. Россия обладает необходимой нормативно-технической и производственной базой для выпуска товарных автомобильных бензинов, соответствующих современным европейским требованиям.

3. В российской нефтепереработке отмечается широкое внедрение новых и реконструкция старых установок под производство бензина-изомеризата.

4. Более интенсивная реализация производства бензина-изомеризата в стране сдерживается особенностями структуры автомобильного парка, в котором 80 % составляют устаревшие модели, не приспособленные к потреблению бензинов современных марок.

Библиографический список

1. Комплексная аналитическая информация о новейших достижениях мировой и приоритеты российской нефтепереработки и нефтехимии в производстве перспективных высококачественных моторных топлив. Аналитический материал / Под ред. Л. В. Корелякова. М.: ОАО ЦНИИТЭнефтехим, 2002. 124 с.
2. Мозговой И.В., Давидан Г.М., Олейник А.Н., Нелин А.Г. Технология переработки нефти и газа: Курс лекций. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 304 с.
3. Современное состояние и новейшие достижения процессов ККФ. Аналитический материал / Под ред. Л. В. Корелякова. М.: ОАО ЦНИИТЭнефтехим, 2002. 128 с.
4. Хаймова Т.Г., Мхитарова Д.А., Старовойтова Н.Р. Современное состояние и тенденции развития процессов алкилирования. М.: ОАО ЦНИИТЭнефтехим, 2002. 128 с.
5. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти. / Под ред. О.Ф. Глаголевой. М.: ОАО ЦНИИТЭнефтехим, 2003. Ч. I. 228 с.
6. Богданец Е.Н. Зарубежные каталитические процессы нефтепереработки, нефтехимии и переработки газов: Справочник / Под ред. д. х. н. В.К. Дуплякина. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2001. 244 с.
7. И.Г.Тюрин, А.И.Соловых. Внедрение на ООО «ПО Киршинафтеоргсинтез» низкотемпературного процесса изомеризации легких бензиновых фракций «Изомалк-2» // Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий: Матер. междунар. науч. конф. – Томск, 2006. – Том 1. – С. 422-427.
8. И.В. Мозговой, И.В. Воронцов, Г.М. Давидан, А.Г. Нелин, Е.Д. Скутин, С.Н.Старых. Модернизация установок каталитического риформинга введением блока изомеризации легких бензиновых фракций // Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий: Матер. междунар. науч. конф. – Томск, 2006. – том 1. – С. 472.
9. Маслянский Г.Н., Шапиро Р.Н. Каталитический риформинг бензинов: Химия и технология. Л.: Химия, 1985. 234 с.

МОЗГОВОЙ Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химическая технология органических веществ».

ДАВИДАН Геннадий Михайлович, доцент кафедры «Химическая технология органических веществ».

НЕЛИН Анатолий Григорьевич, доцент кафедры «Химическая технология органических веществ».

ОЛЕЙНИК Лариса Николаевна, доцент кафедры «Химическая технология органических веществ».

СКУТИН Евгений Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Химическая технология органических веществ».

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.

© Мозговой И. В., Давидан Г. М., Нелин А. Г.,
Олейник Л. Н., Скутин Е. Д.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА

УДК 378.147

Н. Г. ИВАНЦИВСКАЯ

В. Г. БУРОВ

Новосибирский государственный
технический университет

ГРАФИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ВУЗЕ: СОДЕРЖАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Статья посвящена повышению уровня графического образования в университетах за счет качественного изменения содержания курса графических дисциплин, применения мультимедийных технологий при создании учебных пособий и проведения системы мероприятий по повышению уровня довузовской подготовки.

Централизованная и достаточно устойчивая в прошлом отечественная система образования превращается в настоящее время в вариативную, открытую для инноваций сферу образовательных услуг. Персонализированная парадигма образования, признание приоритетов личностных образовательных ценностей требует совершенно новых способов организации и управления процессом обучения, развития и воспитания с применением новых информационных технологий. Высшие учебные заведения призваны готовить молодых людей к жизни в век информатизации всех сфер жизнедеятельности. Особенность данного периода развития общества заключается в том, что доминирующим видом деятельности является сбор, накопление, обработка, хранение, передача и использование информации

и, соответственно, образовательная деятельность вузов направлена на создание условий, позволяющих студенту научиться:

- полноценно воспринимать различную информацию;
- владеть современными способами общения на основе не только вербальных, но и визуальных форм коммуникации;
- понимать влияние способов и форм передачи информации на психику человека;
- осознавать и использовать преимущества графического способа представления информации.

Информатизация общественной жизни, сфер производства и коммуникаций отражается на требованиях, предъявляемых к графическому образованию молодежи. Неотъемлемой частью общей куль-

туры личности становится культура визуализации информации. Занимаясь исследованиями в области повышения уровня графической подготовки студентов на кафедре инженерной графики Новосибирского государственного технического университета (НГТУ), мы выявили ряд существующих противоречий, разрешение которых требует пересмотра целей, содержания и организации курса графических дисциплин.

Государственные образовательные стандарты практически по всем направлениям бакалаврской подготовки предусматривают в составе федерального компонента общепрофессиональных дисциплин изучение дисциплины «Начертательная геометрия и инженерная графика». При этом акцент сделан на изучение геометрических основ построения чертежей и правил оформления конструкторской документации. Не умаляя значения предусмотренных стандартом тем для изучения, в НГТУ введены дополнительные дисциплины по выбору: «Прикладная компьютерная графика», «Основы компьютерного проектирования» и другие за счет вузовского и регионального компонентов. Это позволяет осуществлять графическую подготовку на уровне изучения научных основ, алгоритмов и современных средств визуализации информации.

Огромный информационный поток, обрушающийся на студента во время обучения, физически не может быть усвоен им за отведенное время, поэтому разработка и применение нововведений в учебном курсе «Инженерная графика» не должны вестись экстенсивным путем, т.е. добавлением новых элементов к существующему содержанию. Например, нецелесообразно освоение программных продуктов и графических редакторов в дополнение к проекционному черчению. При проектировании курса графики необходимо отказаться от некоторых прежних принципов и целей как не актуальных на настоящий момент:

– от ориентации на долговременное усвоение таких знаний и умений, которые необходимы лишь для обобщения более высокого уровня (например, решения огромного количества задач по построению проекций точки и прямой на комплексном чертеже с целью получения навыка);

– от направленности подготовки на усвоение тех знаний, которые оказываются невостребованными при разрешении познавательных, практических, коммуникативных проблем.

Графическая культура, как проявление вышеперечисленной образованности и профессионализма, становится целью графической подготовки студента вуза. Ценность цели образования на уровне графической культуры заключается в умении использовать полученные студентом знания по визуализации информации адекватно аудитории, на которую рассчитана обрабатываемая информация, и адекватно решаемой задаче.

Достижение поставленной цели влечет за собой пересмотр содержания графического образования в вузе. Проектирование курса графической подготовки начинается с определения допредметного содержания на уровне общего теоретического представления, учета особенностей возрастного развития обучающихся. Только после этого разрабатываются образовательные технологии на основе современных средств информатизации с учетом уровня развития рефлексии и графической подготовки предыдущей ступени обучения. Наиболее перспективной структурой курса, на наш взгляд, является мо-

дульная структура, обеспечивающая содержательную и технологическую гибкость обучения. Она позволяет:

- осуществлять в диалектическом единстве интеграцию и дифференциацию содержания обучения на основе контроля с целью определения уровня знаний, потребностей, индивидуального темпа учебной деятельности учащегося;

- обеспечивать разработку курса в сокращенном, полном и углубленном вариантах путем комбинирования содержания учебных модулей;

- создавать условия для осознанного индивидуального темпа продвижения студента при освоении курса за счет системы целеполагания на близкие и дальние перспективы;

- переносить акцент в преподавательской работе на консультативно-координирующую функцию управления познавательной деятельностью.

Модульная структура курса разработана и используется на кафедре в течение восьми лет. Содержанием первого модуля «Графика как средство представления информации» является изучение искусственных способов передачи информации, графических форм и грамматики пространства, используемых при создании графических моделей. Даже небольшой объем работы со студентами (от 3 до 6 часов) в рамках этого модуля позволяет значительно повысить их мотивацию к изучению данного предмета за счет осознания ими значимости графики в познании общей картины мира.

Второй учебный модуль посвящен вопросам визуализации информации о геометрических объектах. Освоение новых средств создания графических моделей предметов составляет содержание данного учебного модуля. Графическим способом решения метрических и позиционных задач в разделах начертательной геометрии ранее уделялось значительное внимание, а сегодня эти методы не устраивают руководителей производства ни по точности, ни по скорости, поэтому для большей части направлений образования данные разделы курса преподаются студентам на уровне усвоения «иметь представление».

Основы геометрического конструирования и инженерного документирования составляют содержание третьего учебного модуля. В зависимости от направления подготовки в рамках этого модуля может использоваться любой графический редактор, отвечающий современным требованиям профилирующей отрасли производства, стандартам единой системы конструкторской документации и требованиям к хранению и движению инженерных документов.

Информационное наполнение четвертого учебного модуля курса «Инженерная графика» – это изучение основ визуализации информации о процессах и явлениях. Количество времени по данному модулю должно быть отведено с учетом конкретных требований к подготовке студентов по определенному направлению. Например, выпускники вуза по направлению «Материаловедение и технология новых материалов» занимаются по роду своей профессии обработкой результатов научных и инженерных исследований, связанных со свойствами материалов. Содержанием их подготовки по данному модулю является изучение видов таблиц и диаграмм, рассмотрение таблиц, диаграмм, номограмм и схем как языковых средств и формирование умений по представлению в табличной форме данных, полученных ими в ходе экспериментов. Специалисты экономического и экологического профиля изучают основы деловой графики, бакалавры электротехнического

направления больше времени уделяют оформлению электрических схем и т.д.

Пятый учебный модуль – «Прикладная компьютерная графика». Содержанием этого модуля является изучение различных графических редакторов и систем проектирования. Выбор определенных графических пакетов зависит от изучаемых тем, т.е. от содержания первых четырех модулей. Если изучается инженерное документирование, то выбор осуществляется между программами CADMECH, КОМПАС или SolidWorks. Для студентов гуманитарного факультета НГТУ в рамках данного модуля преподается дисциплина «Графический компьютерный дизайн», и выбор программных средств осуществляется в соответствии с требованиями специальности «Связи с общественностью».

Включение информационных технологий в образовательный процесс по графической подготовке вызывает некоторую настороженность и даже сопротивление со стороны преподавателей. Одной из причин такого отношения является противоречие между коллективными формами обучения и требованиями к индивидуализации обучения с применением персонального компьютера. Многие из преподавателей пытаются разрешить данное противоречие с помощью электронных учебно-методических материалов, но содержание большинства учебных пособий составляет информация из печатных изданий прошлых лет по инженерной графике. Такие разработки не выдерживают конкуренции с печатными изданиями, т.к. имеют существенный недостаток: длительное чтение с экрана монитора утомляет глаза. Эффективность использования электронных учебных средств обусловлена предоставлением дополнительных, совершенно новых, ранее не доступных условий развития: возможность самостоятельного освоения курса в соответствии с уровнем графической подготовки и с учетом индивидуальных способностей студента к освоению нового учебного материала. Одно из главных преимуществ учебных материалов на электронных носителях – сопровождение информации иллюстрациями с применением мультимедийных средств. Наполнение электронных учебно-методических материалов предметным содержанием современного уровня позволяет повысить уровень графической подготовки в вузе.

И еще один аспект, связывающий содержание графических дисциплин с требованиями, предъявляемыми к выпускникам вузов со стороны предприятий, – это непрерывность и преемственность графической подготовки. На протяжении семи лет на кафедре проводятся исследования уровня графической грамотности студентов, поступивших в наш вуз. При входном контроле знаний студентов используются известные методики определения уровня пространственного (Р. Амтхаузера, [1]) и технического мышления (тест Беннета [2]). На кафедре создана электронная версия тестов, что позволяет, с одной стороны, провести исследования и обработать результаты за более короткий промежуток времени, с другой – повысить интерес к учебной дисциплине и мотивацию студентов к обучению. Полученные результаты входного контроля неутешительны: только 20–25% поступивших на первый курс НГТУ студентов имеют уровень функциональной графической грамотности; примерно половина всех поступивших – уровень элементарной графической грамотности; у остальных уровень графической подготовки еще ниже. На протяжении последних пяти лет результа-

ты входного контроля изменяются незначительно. Основная причина – слабая подготовка в общеобразовательной школе или отсутствие ее как таковой. Реализация требуемого содержания графической подготовки в вузе не может быть обеспечена за отведенное время на таком базовом школьном уровне. На кафедре «Инженерная графика» НГТУ эта проблема решается следующим образом:

- с помощью корректирующих занятий со студентами через организацию дополнительных курсов;
- увеличением времени занятий-консультаций на каждого студента;
- довузовской подготовкой в лицее НГТУ;
- работа с учителями школ, аккредитованных в НГТУ.

Наилучшие результаты довузовского обучения основам инженерной графики обеспечивает лицей НГТУ, в котором графика определена как профильный предмет наряду с математикой, физикой и информатикой. Занятия по графике в лицее ведут преподаватели кафедры инженерной графики, что позволило разработать программу курса для учащихся с учетом требований кафедры. С целью обеспечения преемственности и непрерывности графической подготовки в лицее НГТУ была разработана модульная структура курса графики для учащихся 10–11 классов, согласующаяся со структурой вузовской графической подготовки (см. рисунок).

Довузовская подготовка в лицее НГТУ по графике существует формированию конкурентоспособной личности, раскрытию творческого потенциала учащихся в преддверии их профессионального определения, является гарантом опережающего обучения, тем звеном в цепи непрерывного образования, которое определяет идеологию подготовки инженерных и технических кадров.

В результате усилий по организации довузовского образования, предпринятых преподавателями кафедры инженерной графики, выпускники лицея, став студентами университета, имеют итоговые оценки по графической подготовке выше, чем другие студенты; многие из них работают по индивидуальным планам и досрочно сдают зачеты и экзамены. Если учесть, что около 90% выпускников лицея отдают предпочтение из множества вузов Новосибирскому государственному техническому университету, то практически в каждой группе первого курса обучается хотя бы один выпускник лицея. Студенты разных факультетов НГТУ, которые, еще обучаясь в лицее, начали заниматься исследовательской деятельностью, моделированием или конструированием, испытывают потребность в дальнейшем применении и приумножении своих знаний.

Высокий уровень современной графической подготовки студентов НГТУ подтверждается их участием в олимпиадах по графическим информационным технологиям и системам различных уровней – городского, регионального, всероссийского и международного. Последние пять лет представители НГТУ занимают призовые места на таких престижных соревнованиях, как Всероссийская и Международная олимпиады по информационным технологиям и системам (Нижний Новгород). В 2004 году Илья Синяков занял первое место на Международной олимпиаде студентов по информационным технологиям и системам в номинации «Виртуальное моделирование», а Евгений Баянов в 2005 году – второе место в номинации «Геометрическое моделирование и компьютерная инженерная графика». Известная американская фирма – разработчик систем автома-



Рис. 1. Структура курса графики в лицее НГТУ

тизированного проектирования Autodesk выдала им международный сертификат, который подтверждает, что освоение информационных технологий и их использование в процессе обучения инженерной графике в НГТУ организованы на хорошем уровне.

Деятельность преподавателя вуза и лицея в условиях изменения содержания и структуры курса графических дисциплин основывается на постоянном творческом поиске. Повышение направленности педагогической деятельности на усиление мотивации студентов к обучению, изменение содержания графического образования, изменение форм проведения занятий, введение в образовательный процесс компьютеров и других новейших информационных технических средств позволяют обеспечить эффективность подготовки специалистов в области обработки и передачи информации.

В заключение можно сделать следующие выводы.

1. Графическая подготовка в вузе в соответствии с современной образовательной парадигмой – это высшее образование в области визуализации информации с использованием мультимедийных средств.

2. Деление содержания курса графических дисциплин на учебные модули позволяет обеспечить эффективность преподавания за счет комбинирования содержания отдельных модулей в зависимости от отведенного на обучение времени.

3. Применение мультимедийных технологий при разработке учебно-методических материалов позво-

ляет повысить их качество и обеспечить условия для развития графической компетентности выпускников вуза.

4. С целью обеспечения высшего графического образования в вузах должна быть предусмотрена система дополнительных мероприятий по повышению довузовского графического образования.

Библиографический список

1. Коэмets Э.Х., Лийметс X.И. Интеллектуальные задачи – серия 730. Русский вариант тестов Амтхауэра на основе эстонской методики. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 1973. – 24 с.

2. Немов Р.С. Психология: Учебник для студентов высших педагогических учебных заведений. В 3-х кн. / Кн.3: Психо-диагностика. Введение в научное психологическое исследование с элементами математической статистики. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 640 с.

ИВАНЦИВСКАЯ Надежда Григорьевна, кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой инженерной графики.

БУРОВ Владимир Григорьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры инженерной графики.

Статья поступила в редакцию 18.04.06 г.

© Иванцивская Н.Г., Буров В.Г.

Книжная полка

Линьков В.М., Яремко Н.Н. Высшая математика в примерах и задачах: Компьютерный практикум: Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 319 с.: ил.

Каждый раздел практикума содержит: краткие теоретические сведения; образцы решения типовых задач (с планом решения); задачи экономического содержания и задачи из области теоретической информатики для аудиторных, домашних и контрольных работ; рекомендации по использованию пакетов специализированных программ, а также образцы вычислительных программ на языке С++. В приложении приводятся темы рефератов, курсовых и дипломных работ.

Для студентов, обучающихся по специальности 351400 «Прикладная информатика» (по областям), а также для студентов и преподавателей инженерно-экономических специальностей, связанных с вычислительной техникой и программированием.

СОПРИКОСНОВЕНИЕ КРИВЫХ В ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ПЛОСКОСТИ И ИХ АНАЛОГОВ В ЛИНЕЙЧАТОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Рассматривается метрика пространств: эллиптической плоскости и многообразия прямых трехмерного евклидова пространства. Делается вывод о существовании общей метрической структуры этих пространств. На примере решения задачи о соприкосновении в одном и другом пространстве показаны соответствия метрических характеристик и свойств фигур соприкосновения разных пространств.

Эллиптическая плоскость R_2^S и множество прямых трехмерного евклидова пространства с бесконечно удаленными элементами, называемое впредь линейчатым пространством (ΛP), обладают общей метрической структурой. Это позволяет рассматривать одно из пространств, R_2^S или ΛP , как метризованную модель другого. Наличие общей метрической структуры указанных пространств приводит к установлению взаимно однозначного соответствия между объектами разных пространств и их аналогиями в решении однородных геометрических задач, выполняемых в одном и другом пространстве. При этом наряду с аналогией, то есть схожестью решений однородной задачи, возможно различие в развитии этих решений в каждом пространстве, обусловленное внутренними геометрическими свойствами соответственных объектов, принадлежащих разным пространствам. Рассмотрим в качестве примера соприкосновение кривых в эллиптической плоскости R_2^S и соответственных им объектов в ΛP , но прежде обратимся к метрике этих пространств.

1. Метрика эллиптической плоскости и линейчатого пространства

Изотропный конус связки прямых и плоскостей расширенного трехмерного евклидова пространства, описываемый уравнением $X^2 + Y^2 + Z^2 = 0$, определяет метрику этой связки. Сфера S^2 с центром в центре связки и отождествленными диаметрально противоположными точками; плоскость R_2^S , касательная к сфере S^2 ; бесконечно удаленная плоскость Δ_x — эти три образа представляют собой модели-интерпретации эллиптической плоскости [1-7]. Изотропный конус индуцирует на каждой из этих моделей эллиптическую метрику. При этом метрика эллиптических плоскостей S^2 , R_2^S и Δ_x определяется соответственными им мнимыми коническими сечениями изотропного конуса: $-k_x^2$, $-k_y^2$, $-k_z^2$. Пусть прямая линия пространства описывается уравнениями: $x = x_0 + mt$; $y = y_0 + nt$; $z = z_0 + pt$, где $\{m, n, p\}$ — координаты направляющего вектора прямой, t — параметр, определяющий положение текущей точки. Для двух точек (x, y, z) и (x_0, y_0, z_0) прямой можно записать:

$$(x - x_0) : (y - y_0) : (z - z_0) = m : n : p = m_1 : n_1 : 1,$$

откуда следует:

$$x - x_0 = m_1(z - z_0); y - y_0 = n_1(z - z_0).$$

В таком случае расстояние между точками может быть определено следующим образом:

$$\delta = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} = \pm \sqrt{m_1^2 + n_1^2 + 1} \cdot (z - z_0)$$

Из этого уравнения следует, что если $\delta = 0$, то $m_1^2 + n_1^2 + 1 = 0$. Поскольку $m_1, n_1, 1$ суть однородные координаты бесконечно удаленной точки рассматриваемой прямой, то из последнего равенства следует, что точка принадлежит изотропному конусу $X^2 + Y^2 + Z^2 = 0$ связки и, следовательно, принадлежит абсолюту $-k_x$. Прямая линия, для которой $\delta = 0$, называется, как известно, изотропной прямой. Необходимый и достаточный признак изотропной прямой $\delta^2 = m_1^2 + n_1^2 + 1 = 0$ [1], очевидно, имеет место для всех прямых, параллельных прямой с направляющим вектором $\{m_1, n_1, 1\}$. Следовательно, изогропные прямые, проходящие через одну и ту же точку абсолюта $-k_x$, образуют связку прямых с несобственным центром в этой точке. Необходимым и достаточным признаком изотропной плоскости $Ax + By + Cz + D = 0$ является $A^2 + B^2 + C^2 = 0$, что соответствует нулевому модулю нормального вектора этой плоскости. Изотропная плоскость касается абсолюта $-k_x$ в некоторой его точке. Очевидно, условие изотропности $A^2 + B^2 + C^2 = 0$ не зависит от параметра D в уравнении плоскости и, следовательно, имеет место для всех плоскостей, параллельных данной плоскости. В частности, изотропная плоскость $Ax + By + Cz = 0$ касается изотропного конуса связки. Таким образом, изотропные плоскости, касающиеся абсолюта $-k_x$ в одной и той же точке, образуют пучок плоскостей с несобственной осью, касающейся абсолюта в этой точке. Поскольку изотропный конус представляет собой огибающую пучка второго порядка изотропных плоскостей, то на основании отмеченных количественных характеристик, обусловленных признаками изотропных прямой и плоскости, можно утверждать, что множество изотропных прямых, несобст-

венные точки которых образуют абсолют k_∞ пространства P_3 , есть квадратичный комплекс K_M . Квадратичность комплекса следует из самого определения изотропного конуса, представляющего собой нулевую квадрику $X^2 + Y^2 + Z^2 = 0$, а именно: всякие два изотропных конуса пространства, проходящие через различные его точки, могут быть совмещены друг с другом параллельным перенесением [1]. Поэтому все изотропные конусы пересекают плоскость Δ_x по одному и тому же коническому сечению k_∞ . Абсолют k_R^2 эллиптической плоскости R_2^5 и абсолют K_M^2 линейчатого пространства взаимно соответственны, поскольку первый является центральной проекцией абсолюта k_∞ пространства P_3 , а второй – линейчатым образом – интерпретацией абсолюта k_∞ . Взаимное соответствие абсолютов k_R^2 и K_M^2 позволяет представлять одно из пространств как модель другого с одной и той же метрической структурой.

2. Соприкосновение кривых в эллиптической плоскости

Пусть a' и a'' – две пересекающиеся в точке А аналитические кривые эллиптической плоскости (рис.1). На каждой из кривых примем в качестве параметра длину дуги s , так что уравнения кривых имеют вид: $x' = x'(s)$; $x'' = x''(s)$. Пусть точка А – начало отсчета длины дуги на обеих кривых, то есть $x'(s_0) = x''(s_0)$. Сместимся из общей точки А по каждой кривой на равное расстояние Δs , заданное с определенным знаком, в соответствующие точки A' и A'' . Тогда в окрестности точки А каждая из кривых линий может быть представлена уравнением, полученным разложением в ряд Тейлора по степеням Δs координат точки кривой:

$$x'_i(s) = x'_i(s_0) + \dot{x}'_i(s_0)\Delta s + \ddot{x}'_i(s_0) \frac{\Delta s^2}{2} + \dddot{x}'_i(s_0) \frac{\Delta s^3}{3!} + \dots$$

$$x''_i(s) = x''_i(s_0) + \dot{x}''_i(s_0)\Delta s + \ddot{x}''_i(s_0) \frac{\Delta s^2}{2} + \dddot{x}''_i(s_0) \frac{\Delta s^3}{3!} + \dots$$

Точками сверху обозначены соответствующие производные по параметру s .

Расхождение кривых a' и a'' будем оценивать расстоянием δ между их соответственными точками

A' и A'' следующим образом: $\cos \frac{\delta}{k} = \frac{(x', x'')}{k^2}$,

где $\frac{1}{k}$ – кривизна эллиптической плоскости. При этом возможны различные случаи расхождения. Рассмотрим начальные из них.

1. Предположим, что выполнены условия:

$$x'_i(s_0) = x''_i(s_0); \quad \dot{x}'_i(s_0) \neq \dot{x}''_i(s_0).$$

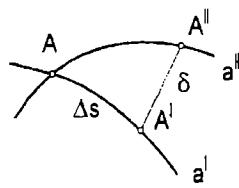


Рис.1. Расхождение кривых в эллиптической плоскости

Тогда следует, что $\cos \frac{\delta}{k} = 1$ и $\delta = 0$. Следовательно,

в точке А имеет место пересечение кривых a' и a'' . 2. Пусть имеют место условия: $x'_i(s_0) = x''_i(s_0)$; $\dot{x}'_i(s_0) = \dot{x}''_i(s_0)$; $\ddot{x}'_i(s_0) \neq \ddot{x}''_i(s_0)$.

Тогда для точки, касательной к кривой, проведенной в точке А, имеет место уравнение: $X''_i(s_0) = \lambda[x'_i(s_0) + \dot{x}'_i(s_0)\Delta s]$. Поскольку по условию нормировки точки касательной должно быть выполнено равенство $(X', X') = k^2$, то получаем:

$$\begin{aligned} (X', X') &= \lambda^2(x' + \dot{x}'\Delta s, x' + \dot{x}'\Delta s) = \\ &= \lambda^2[(x', x') + 2\Delta s(x', \dot{x}') + \Delta s^2(\dot{x}', \dot{x}')] = \\ &= \lambda^2(k^2 + \Delta s^2). \end{aligned}$$

Таким образом: $k^2 = \lambda^2(k^2 + \Delta s^2)$; $\lambda = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}}$.

Следовательно, уравнение касательной к кривой a' в точке А имеет вид:

$$X'_i(s) = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} x'_i(s_0) + \frac{k\Delta s}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} \dot{x}'_i(s_0).$$

Подобное уравнение имеет место для кривой a'' в той же точке А:

$$X''_i(s) = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} x''_i(s_0) + \frac{k\Delta s}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} \dot{x}''_i(s_0).$$

Расхождение δ для кривых a' и a'' при рассматриваемых условиях может быть выражено:

$$\begin{aligned} \cos \frac{\delta}{k} &= \frac{1}{k^2} \left(\frac{k}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} x' + \frac{k\Delta s}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} \dot{x}', \frac{k}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} x'' + \right. \\ &\quad \left. + \frac{k\Delta s}{\sqrt{k^2 + \Delta s^2}} \dot{x}'' \right) = \\ &= \frac{1}{k^2} \cdot \frac{k^2}{k^2 + \Delta s^2} \cdot [(x', x'') + \Delta s(x', \dot{x}'') + \Delta s(\dot{x}', x'') + \Delta s^2(\dot{x}', \dot{x}'')] = \\ &\quad \frac{k^2}{k^2 + \Delta s^2} + \frac{\Delta s^2}{k^2 + \Delta s^2} = 1. \end{aligned}$$

Следовательно, $\delta = 0$. Имеет место касание кривых a' и a'' точно первого порядка, что соответствует совпадению их касательных в точке А.

3. Предположим, что имеют место условия:

$$x'_i(s_0) = x''_i(s_0); \quad \dot{x}'_i(s_0) = \dot{x}''_i(s_0);$$

$$\ddot{x}'_i(s_0) = \ddot{x}''_i(s_0); \quad \ddot{x}'_i(s_0) \neq \ddot{x}''_i(s_0).$$

Тогда для кривой a' можно записать:

$$x'_i(s) = \mu[x'_i(s_0) + \dot{x}'_i(s_0)\Delta s + \ddot{x}'_i(s_0) \frac{\Delta s^2}{2}].$$

Коэффициент μ в уравнении может быть определен, как обычно, по условию нормировки $(x', x') = k^2$ следующими преобразованиями:

$$\begin{aligned} (x', x') &= \mu^2(x' + \dot{x}'\Delta s + \ddot{x}' \frac{\Delta s^2}{2}, x' + \dot{x}'\Delta s + \ddot{x}' \frac{\Delta s^2}{2}) = \\ &= \mu^2[(x', x') + \Delta s(x', \dot{x}') + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{\Delta s^2}{2} (x', \ddot{x}') + \Delta s (x', \dot{x}') + \Delta s^2 (\dot{x}', \ddot{x}') + \frac{\Delta s^3}{2} (\dot{x}', \ddot{x}') + \\
 & + \frac{\Delta s^2}{2} (x', \ddot{x}') + \frac{\Delta s^3}{2} (\dot{x}', \ddot{x}') + \\
 & + \frac{\Delta s^4}{4} (\ddot{x}', \ddot{x}') \} = \mu^2 \left[k^2 - \frac{\Delta s^2}{2} + \Delta s^2 - \frac{\Delta s^2}{2} + \frac{\Delta s^4}{4} \cdot \frac{k^2 + \rho^2}{k^2 \rho^2} \right] = \\
 & = \mu^2 \left(k^2 + \frac{\Delta s^4}{4} \cdot \frac{k^2 + \rho^2}{k^2 \rho^2} \right).
 \end{aligned}$$

Таким образом, получаем $\mu = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \frac{k^2 + \rho^2}{k^2 \rho^2} \cdot \frac{\Delta s^4}{4}}}$,

и исходное уравнение кривой принимает вид:

$$x'_i(s) = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \frac{k^2 + \rho^2}{k^2 \rho^2} \cdot \frac{\Delta s^4}{4}}} \left[x'_i(s_0) + \dot{x}'_i(s_0) \Delta s + \frac{1}{2} \ddot{x}'_i(s_0) \Delta s^2 \right].$$

Аналогичное уравнение имеет место для кривой a'' :

$$x''_i(s) = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \frac{k^2 + \rho^2}{k^2 \rho^2} \cdot \frac{\Delta s^4}{4}}} \left[x''_i(s_0) + \dot{x}''_i(s_0) \Delta s + \frac{1}{2} \ddot{x}''_i(s_0) \Delta s^2 \right].$$

Вычисления расхождения δ для рассматриваемого случая приводят к следующему результату: $\cos \frac{\delta}{k} = \frac{(x', x'')}{k^2} = 1$. Следовательно, $\delta = 0$, и имеет место касание кривых a' и a'' точно второго порядка. Условие $\ddot{x}'_i(s_0) = \ddot{x}''_i(s_0)$, на основании уравнения $\frac{1}{\rho^2} = (\ddot{x}, \ddot{x}) - \frac{1}{k^2}$ кривизны эллиптической кривой [5], позволяет записать:

$$(\ddot{x}, \ddot{x}) = \frac{k^2 + \rho_1^2}{k^2 \rho_1^2} = \frac{k^2 + \rho_2^2}{k^2 \rho_2^2} \cdot \frac{k^2 + \rho_1^2}{\rho_1^2} = \frac{k^2 + \rho_2^2}{\rho_2^2}.$$

Из последнего равенства следует: $k^2 (\rho_2^2 - \rho_1^2) = 0$;

$\frac{1}{\rho_2} = \frac{1}{\rho_1}$. Таким образом, в случае касания кривых a' и a'' точно второго порядка имеет место равенство их кривизны в точке касания. Вышеизложенное позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Кривые a' и a'' могут иметь в общей точке А пересечение, если их касательные неколлинеарны, или касание, если их касательные коллинеарны.

2. Касание кривых будет точно n -го порядка, если совпадают n последовательных производных координат точки кривых в их общей точке:

$$\dot{x}'_i(s_0) = \dot{x}''_i(s_0); \ddot{x}'_i(s_0) = \ddot{x}''_i(s_0); \dots; \overset{(n)}{x}'_i(s_0) = \overset{(n)}{x}''_i(s_0); \overset{(n+1)}{x}'_i(s_0) \neq \overset{(n+1)}{x}''_i(s_0).$$

3. Соприкосновение линейчатых поверхностей

Кривой линии эллиптической плоскости, как непрерывному однопараметрическому множеству точек, по принципу перенесения соответствует в линейчатом пространстве непрерывное однопараметрическое или двухпараметрическое множество прямых. Если параметр последнего множества есть

вещественное число, то это множество представляет собой линейчатую поверхность [8].

Пусть А (x, y, z) – единичный винт, декартовые дуальные координаты которого суть однозначные аналитические функции в области изменения дуальной переменной s-дуальной дуги АП [8, 9, 10]. При этом s имеет выражение:

$$s(t) = s_0(t) + \omega s_1(t) = \int_{t_0}^t H dt;$$

$$H = h_0 + \omega h_1 = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2},$$

где t – вещественная переменная, изменяющаяся на отрезке $T_0 \leq t \leq T$; ω – множитель Клиффорда. Дуальные координаты винта А имеют следующее выражение [8, 10]:

$$\begin{aligned}
 x(s) &= x_0(s_0) + [\omega s_1 \cdot x'_0(s_0)]; \quad y(s) = y_0(s_0) + [\omega s_1 \cdot y'_0(s_0)]; \\
 z(s) &= z_0(s_0) + [\omega s_1 \cdot z'_0(s_0)],
 \end{aligned} \tag{1}$$

где x_0, y_0, z_0, s_0 и $x_1 = s_1 \cdot x'_0(s_0); y_1 = s_1 \cdot y'_0(s_0); z_1 = s_1 \cdot z'_0(s_0)$, s_1 – главные и моментные составляющие дуальных чисел-координат и дуальной дуги, причем входящие в уравнения производные определены так:

$$x'_0 = \frac{dx_0}{ds_0}; \quad y'_0 = \frac{dy_0}{ds_0}; \quad z'_0 = \frac{dz_0}{ds_0}.$$

Таким образом, выражение $A(s) = \bar{i} \cdot x(s) + \bar{j} \cdot y(s) + \bar{k} \cdot z(s)$ представляет собой винтовое уравнение АП. Построим триедр (a, b, c) АП в центральной точке М ее образующей a – оси винта А. Для этого укажем винты:

$C = \frac{dA}{ds} = \dot{A}$ – единичный винт с осью с центральной нормали к АП,

$B = A \times C$ – единичный винт с осью b центральной касательной. Пусть винты А и А' соответствуют значениям дуальной дуги, равным о и s (рис. 2).

Запишем следующее разложение винт-функции A(s) по степеням s:

$$A(s) = A + \dot{A} \cdot s + \ddot{A} \cdot \frac{s^2}{2!} + \ddot{\ddot{A}} \cdot \frac{s^3}{3!} + \dots, \tag{2}$$

где $A, \dot{A}, \ddot{A}, \dots$ – значения винт-функции и ее производных в начальной образующей $s = 0$. Покажем, что это разложение есть ряд Тейлора для винт-функции дуальной переменной. Рассмотрим дуальную функцию x(s). Поскольку x" аналитическая функция, то для ее первой производной по дуальному аргументу s можно записать [10]:

$$\begin{aligned}
 \dot{x} &= \frac{dx}{ds} = x'_0 + \omega \cdot s_1 \cdot x''_0; \\
 \dot{x} \cdot s &= s_0 \cdot x'_0 + \omega \cdot s_1 \cdot (x'_0 + s_0 \cdot x''_0).
 \end{aligned} \tag{3}$$

Это позволяет записать выражения для второй

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} &= \frac{d^2x}{ds^2} = x''_0 + \omega \cdot (s_1 \cdot x'''_0); \\
 \ddot{x} \cdot \frac{s^2}{2!} &= x''_0 \cdot \frac{s_0^2}{2!} + \omega \cdot s_1 \cdot \frac{s_0^2 \cdot x'''_0 + 2s_0 \cdot x''_0}{2!}
 \end{aligned} \tag{4}$$

и для всех последующих производных функции x(s).

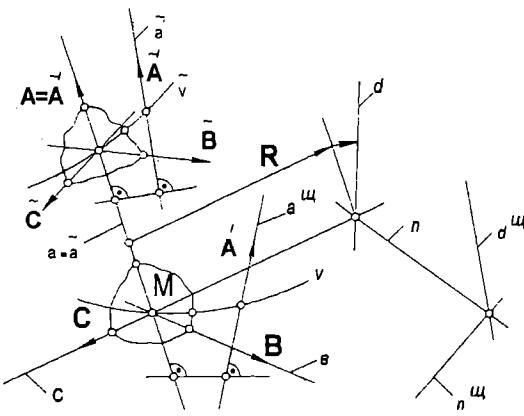


Рис. 2. Винтовое представление соприкосновения линейчатых поверхностей

Выражения (3), (4) и последующие для последующих производных представляют собой дуальные аналитические функции дуальной переменной s . Действительно,

$$\frac{d^n x}{ds^n} \cdot s^n = x_0^n \cdot s_0^n + \omega \cdot s_1 \cdot (s_0^n \cdot x_0^{n+1} + n \cdot s_0^{n-1} \cdot x_0^n),$$

то есть $f(s) = f_0(s_0) + \omega \cdot s_1 \cdot f'_0(s_0)$,

$$\text{где } f_0 = x_0^n \cdot s_0^n, f'_0 = s_0^n \cdot x_0^{n+1} + n \cdot s_0^{n-1} \cdot x_0^n, x_0^n = \frac{d^n x}{ds_0^n}.$$

Отметим, что главная часть дуальной функции есть функция главной части дуального аргумента s . Построим дуальную функцию:

$$\begin{aligned} F(s) &= x + \dot{x} \cdot s + \ddot{x} \cdot \frac{s^2}{2!} + \dots = \\ &= x_0 + x'_0 \cdot s_0 + x''_0 \cdot \frac{s_0^2}{2!} + \dots + \omega s_1 \cdot [x'_0 + (x'_0 + s_0 \cdot x''_0) + \\ &+ \frac{1}{2!} \cdot (s_0^2 \cdot x'''_0 + 2s_0 \cdot x''_0) + \dots] = F_0(s_0) + \omega s_1 \cdot F'_0(s_0), \end{aligned}$$

где теперь $x, \dot{x}, \ddot{x}, \dots$ — значения аналитической функции $x(s)$ и её последовательных производных в начальной образующей АП при $s = 0$. Из последнего равенства следует, что $F(s)$ есть аналитическая функция в области изменения дуальной переменной s , при этом её главная $F_0(s_0)$ и моментная $s_1 \cdot F'_0(s_0)$ части являются вещественными аналитическими функциями в области изменения вещественного параметра s_0 . Но $F_0(s_0) = x_0(s_0)$, $F'_0(s_0) = x'_0(s_0)$.

Поэтому выражение: $x(s) = x + \dot{x} \cdot s + \ddot{x} \cdot \frac{s^2}{2!} + \dots$ есть ряд Тейлора для дуальной аналитической функции $x(s)$. Аналогично можно построить разложения для дуальных функций $y(s)$ и $z(s)$:

$$y(s) = y + \dot{y} \cdot s + \ddot{y} \cdot \frac{s^2}{2!} + \dots, z(s) = z + \dot{z} \cdot s + \ddot{z} \cdot \frac{s^2}{2!} + \dots.$$

Переходя от скалярных функций $x(s)$, $y(s)$ и $z(s)$ к винт-функции $A(s)$, получим, что последняя есть аналитическая винт-функция и допускает разложение в ряд Тейлора (2) в области изменения дуального аргумента s . Рассмотрим две различные АП $A(s)$ и $\tilde{A}(s)$ с общей образующей $a = \tilde{a}$ и запишем выражение для винта расхождения этих АП:

$$G(s) = A(s) - \tilde{A}(s) = \left(\tilde{A} - \tilde{\tilde{A}} \right) \cdot s + \left(\tilde{\tilde{A}} - \tilde{\tilde{\tilde{A}}} \right) \frac{s^2}{2!} + \left(\tilde{\tilde{\tilde{A}}} - \tilde{\tilde{\tilde{\tilde{A}}}} \right) \frac{s^3}{3!} + \dots, \quad (5)$$

где $s = \tilde{s}$ — дуальная дуга, отсчитываемая от общей образующей в согласованном направлении, такая, что при $s \rightarrow 0$ ($s_0 \rightarrow 0, s_1 \rightarrow 0$) образующие a' и \tilde{a}' , каждая по своей АП, стремятся совпасть с a , \tilde{A} и $\tilde{\tilde{A}}$ и т.д. — последовательные производные единичных винт-функций A и \tilde{A} в начальной образующей a . Введем понятие порядка соприкосновения АП. Модуль винта расхождения $G(s)$ есть дуальная величина $G(s) = \sqrt{\tilde{x}^2 + \tilde{y}^2 + \tilde{z}^2} = g_0 + \omega g_1$,

$$\text{где } \tilde{x}(s) = x(s) - \tilde{x}(s); \quad \tilde{y}(s) = y(s) - \tilde{y}(s); \quad \tilde{z}(s) = z(s) - \tilde{z}(s).$$

Можно доказать, что для АП условие: $\lim_{s^n} \frac{G(s)}{s^n} = 0$ при $s \rightarrow 0$ ($s_0 \rightarrow 0, s_1 \rightarrow 0$), где n — целое положительное, есть условие соприкосновения порядка n . Если же n — наибольшее возможное, то соприкосновение точно n -го порядка. Рассмотрим теперь условия соприкосновения начальных порядков, исходя из разложения (5).

1. Если разложение начинается с члена $\left(\tilde{A} - \tilde{\tilde{A}} \right) \cdot s$, отличного от нуля, то имеем пересечение АП вдоль общей образующей a .

2. $\tilde{A} = \tilde{\tilde{A}}, \tilde{\tilde{A}} \neq \tilde{\tilde{\tilde{A}}}$. В образующей a имеет место соприкосновение точно первого порядка ($k = 1$). Поскольку $\tilde{A} = \{\alpha, \beta, \gamma\}$, где $\alpha = \frac{dx}{ds}$; $\beta = \frac{dy}{ds}$; $\gamma = \frac{dz}{ds}$, то $ds = d\tilde{s}$, $\alpha = \tilde{\alpha}$, $\beta = \tilde{\beta}$, $\gamma = \tilde{\gamma}$. Обе АП имеют общий касательный винт бесконечно малого перемещения образующей

а: $B \cdot ds = \tilde{B} \cdot d\tilde{s}$. Параметр Р винта B равен $P = \frac{ds_1}{ds_0}$. Этот случай известен в теории аксоидов [8].

3. $\tilde{A} = \tilde{\tilde{A}}, \tilde{\tilde{A}} = \tilde{\tilde{\tilde{A}}}, \tilde{\tilde{A}} \neq \tilde{\tilde{\tilde{A}}}$. В образующей a имеет место соприкосновение точно второго порядка ($k = 2$).

Поскольку $\tilde{A} = \left\{ \frac{\xi}{\rho}, \frac{\eta}{\rho}, \frac{\zeta}{\rho} \right\}$, где $\frac{\xi}{\rho} = \frac{d\alpha}{ds}$; $\frac{\eta}{\rho} = \frac{d\beta}{ds}$; $\frac{\zeta}{\rho} = \frac{d\gamma}{ds}$, то

$\frac{\xi}{\rho} = \frac{\tilde{\xi}}{\tilde{\rho}}, \quad \frac{\eta}{\rho} = \frac{\tilde{\eta}}{\tilde{\rho}}, \quad \frac{\zeta}{\rho} = \frac{\tilde{\zeta}}{\tilde{\rho}}$. Исследование последних дуальных равенств приводит к следующему: $\xi = \tilde{\xi}$, $\eta = \tilde{\eta}$, $\zeta = \tilde{\zeta}$. Отсюда следует совпадение главных нормалей n и \tilde{n} , а также равенство дуальных углов $R = \angle(a, d)$, $\tilde{R} = \angle(\tilde{a}, \tilde{d})$ и дуальных радиусов кривизн $\rho = \sin R$ и

$\bar{p} = \sin \bar{R}$ этих АП. По этой причине триедры (d, n, c) и $(\bar{d}, \bar{n}, \bar{c})$ эволюют (d) и (\bar{d}) совмещены и, кроме того, имеет

место: $ds_{(1)} = ds \cdot \operatorname{ctg} R = d\bar{s}_{(1)}$; $ds' = \frac{ds}{\sin R} = d\bar{s}'$, где $ds_{(1)}$ и

ds' есть элементы дуальных дуг АП, образованных центральной касательной b и центральной нормалью с соответственно. В результате АП имеют общий соприкасающийся винт с осью d и параметром

$p' = \frac{ds'_1}{ds'_0}$; $ds' = ds'_0 + \omega ds'_1$. Винт этот кинематический и

обеспечивает перемещение общего триедра (a, c, b) соприкасающихся АП вдоль стрикций v и \bar{v} с равными элементами дуг $ds = \sqrt{ds_{11}^2 + ds_1^2} = d\bar{s}$, где $ds = ds_0 + \omega ds_1$, $ds_{(1)} = ds_0 + \omega ds_1$.

4. $\hat{A} = \hat{\bar{A}}$, $\ddot{A} = \ddot{\bar{A}}$, $\ddot{\ddot{A}} = \ddot{\ddot{\bar{A}}}$. В общей образующей a имеет место соприкосновение третьего порядка ($k = 3$).

Поскольку $\ddot{\ddot{A}} = \left\{ \frac{d\left(\frac{\xi}{\rho}\right)}{ds}, \frac{d\left(\frac{\eta}{\rho}\right)}{ds}, \frac{d\left(\frac{\zeta}{\rho}\right)}{ds} \right\}$, то, учитывая ис-

ходные условия, приходим последовательно к результатам, дополняющим пункты 1, 2, 3, а именно: совмещены триедры (d', n, n') и $(\bar{d}', \bar{n}, \bar{n}')$ эволюют второго порядка (d') и (\bar{d}') соприкасающихся АП; совпадают элементы дуальных дуг поверхностей (d) и (\bar{d}) , (n) и (\bar{n}) ; равны дуальные радиусы изгиба

исходных соприкасающихся АП: $r = \frac{dR}{ds} = \bar{r}$.

Таким образом, решение однородной задачи о соприкосновении в эллиптической плоскости R_2^S и в линейчатом пространстве показывает, что общая метрическая структура этих пространств проявляет аналогии в самом решении, когда рассматриваются условия и порядки соприкосновения. Детальное исследование условий различных порядков соприкосновения в случае линейчатых поверхностей обнаруживает внутренние свойства соприкасающихся поверхностей, не имеющих аналогичных свойств у соприкасающихся кривых в плоскости R_2^S . К ним мож-

но отнести, например, поведение стрикций соприкасающихся линейчатых поверхностей при возрастании порядка их соприкосновения.

Библиографический список

1. Ф. Клейн. Неевклидова геометрия. Главная ред. общ.-техн. литературы и номографии. — М. — Л., 1936. — 356 с.
2. Розенфельд Б.А. Неевклидова геометрия. Госуд. изд.-во техн.-теорет. литер. — М., 1955. — 744 с.
3. H.S.M. COXETER. NON-EUCLIDEAN GEOMETRY. SIXTH EDITION / THE MATHEMATICAL ASSOCIATION OF AMERICA. WASHINGTON, 1998. — 336 р.
4. H. LIEBMANN. NICHTEUKLIGDISCHE GEOMETRIE. BERLIN UND LEIPZIG, 1923. — 152 S.
5. J. COOLIDGE. THE ELEMENTS OF NON-EUCLIDEAN GEOMETRY. OXFORD. AT THE CLarendon Press, 1909. — 307 р.
6. Э. Картан. Геометрия римановых пространств. Объедин. науч.-техн. изд-во НКТП СССР. — М. — Л., 1936. — 245 с.
7. Э. Картан. Риманская геометрия в ортогональном репере. Изд-во МГУ. — 1960. — 307 с.
8. Зейлигер Д. Н. Комплексная линейчатая геометрия. — М. — Л.: ГГТМ, 1934. — 195 с.
9. Бляшке В. Дифференциальная геометрия и геометрические основы теории относительности Эйнштейна. Т. 1. Элементарная дифференциальная геометрия. М. — Л.: Объед. науч.-техн. изд-во НКТП СССР, 1935. — 330 с.
10. Диментберг Ф.М. Теория винтов и ее приложения. — М.: Наука, 1978. — 327 с.

ПАНЧУК Константин Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики Омского государственного технического университета.
ВОЛКОВ Владимир Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры начертательной геометрии и машинной графики Сибирской автомобильно-дорожной академии.

Статья поступила в редакцию 30.11.06 г.

© Панчук К. А., Волков В. Я.

УДК 515

Э. К. СМОРЩКОВ

О СВЯЗИ АНАЛИТИЧЕСКИХ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ГРАФИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ НА КОМПЛЕКСНОМ ЧЕРТЕЖЕ ОДНОЙ ПРОЕКЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

В статье приводится разработка алгоритма графического определения границ (пределов) интегрирования при функциональном их задании. Полезность усматривается как в установлении преемственности с аналитикой, так и в достижении наглядности процесса интегрирования.

Запишем задачу в общем виде. Пусть требуется вычислить определенный интеграл вида

$$\psi(x) \int \phi(x) dx. \quad (1)$$

В зависимости от вида функции $\phi(x)$ в высшей математике существует ряд приемов, позволяющих решить интегральное уравнение.

Нас в данном случае интересует два вопроса:

1. Существует ли графическая зависимость между

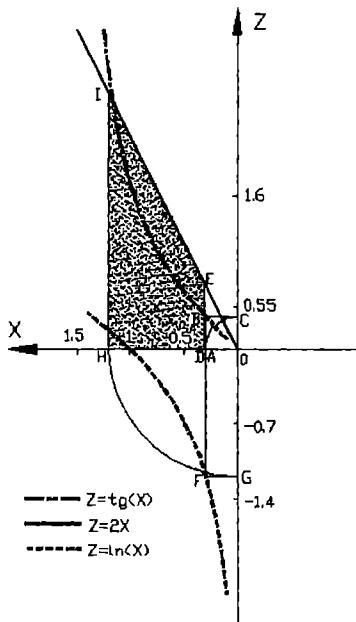


Рис. 1.

точками всех трех функций? Если да, то как она реализуется.

2. При выбранной одной границе интегрирования как найти вторую, опять-таки графически, т. е. путем построений на чертеже?

Рассмотрим частный случай. Пусть

$$\phi(x) = 2x, \omega(x) = \operatorname{tg}(x), \psi(x) = \ln(x). \quad (2)$$

Первая из приведенных функций (2) должна быть положительной и непрерывной. Вряд ли кто-то сомневается в положительном ответе на часть первого вопроса, где участвуют сложные функции. Вторая его часть, по нашему мнению, требует большего внимания. Называя этапы решения, будем делать построения и пояснить их геометрическую сущность.

а) Построим графики функций (2). На показанном рисунке это будут соответственно прямая линия, проходящая через начало координат, ветви тангенссоиды и логарифмическая кривая.

б) Выберем на оси x какую-либо точку. Пусть это будет A . Отметим x_A .

в) Через точку A проведем вертикальную прямую до пересечения с тангенссоидой. Отметим точку B .

г) Через B проведем отрезок горизонтальной прямой до пересечения с осью z и отметим точку C . Для нее получим z_C .

д) Из начала координат (точки 0), как из центра, проведем дугу радиусом $R = OC$ до пересечения с осью x и отметим точку D .

е) Через D проведем вертикальную прямую до пересечения с прямой линией, имеющей уравнение $\phi(x) = 2x$. Построенную точку обозначим буквой E .

Точка D оси x определит в данном случае правую (нижнюю) границу интегрирования. Таким образом

мы установили однозначное (биективное) соответствие между точками двух линий, заданных уравнениями $\phi(x) = 2x$ и $\omega(x) = \operatorname{tg}(x)$.

ж) Через точку A проведем вертикальную прямую линию до пересечения с логарифмической кривой линией. Построенную точку обозначим буквой F .

з) Через F проведем отрезок горизонтальной прямой в сторону $-z$ до пересечения с ней. Пусть это будет точка G .

и) Радиусом $R_1 = OG$ из начала координат проведем дугу до пересечения с осью x . Получим точку H .

к) Из точки H восстановим перпендикуляр до пересечения с прямой линией, задающей подинтегральную линию, т. е. с прямой $\phi(x) = 2x$. Получим точку I . Точка H определит еще одну — левую (верхнюю) границу интегрирования. На этом основываясь так же однозначное соответствие между точками линий $\psi(x) = \ln(x)$ и $\phi(x) = 2x$. Этапы а), ..., л) полностью «раскрывают» ответ на первый вопрос, поставленный в начале статьи.

Ответ на второй вопрос получится автоматически при выполнении и анализе обратных построений. Из-за очевидности опускаем поясняющие рассуждения.

В качестве приложения можно использовать одну проекционную задачу из курса начертательной геометрии, когда по исходным данным требуется определить натуральную величину плоской фигуры. В частности, можно говорить о вычислении площади фигуры, например прямолинейной, а можно и криволинейной, трапеции. Такую задачу можно ставить в качестве учебной и олимпиадной.

С позиций высшей математики задача сводится к вычислению определенного интеграла

$$\int_{\operatorname{tg} x}^{\ln x} 2x \, dx = 2 \frac{x^2}{2} \Big|_{\operatorname{tg} x}^{\ln x} = x^2 \Big|_{\operatorname{tg} x}^{\ln x} = \ln^2 x - \operatorname{tg}^2 x, \quad (3)$$

где $\phi(x) = 2x$ — подинтегральная функция.

Пусть $x_A = 0,3$. Тогда $\operatorname{tg}(0,3) = 0,31$, а $\ln(0,3) = -1,2$.

Следовательно, площадь прямоугольной трапеции составит:

$$\int_{0,31}^{-1,2} 2x \, dx = (-1,2)^2 - (0,31)^2 = 1,44 - 0,0961 = 1,3439 \quad (4)$$

кв. единиц.

При графогеометрическом решении имеем:

$$S = \frac{1}{2} (DE + HI) \times DH = \frac{1}{2} (0,6 + 2,4) \times (1,2 - 0,3) = 1,35 \quad (5)$$

кв. единиц.

Как видим, результаты практически идентичны.

СМОРЩКОВ Эдуард Константинович, кандидат технических наук, доцент.

Статья поступила в редакцию 30.07.06 г.
© Сморщков Э. К.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК: 621.435.3219.5

П. Д. БАЛАКИН
Э. А. КУЗНЕЦОВ
В. А. ЛОБОВ
П. А. ПРОЗОРОВ

Омский государственный
технический университет

Омский танковый
инженерный институт

МОДЕЛЬ ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ РЕАЛЬНОЙ СВЯЗИ С ЗАЗОРОМ ШТОКА АМОРТИЗАТОРА С НАПРАВЛЯЮЩЕЙ ВТУЛКОЙ ЕГО КОРПУСА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО И ЗНАКОПЕРЕМЕННОГО НАГРУЖЕНИЯ

Дано теоретическое обоснование доресурсного выхода из эксплуатации гидравлического амортизатора со значительным углом давления в условиях динамического нагружения. Разработчику подвески транспортных машин следует учитывать результаты кинетостатического моделирования подвижных реальных связей, вводить в конструкцию устройства, ослабляющие уровень динамических реакций в связях.

Гидравлические амортизаторы телескопического типа являются составной частью подвески большинства транспортных машин. Широкое распространение этих практически не обслуживаемых комплектую-

щих изделий объясняется их способностью надежно преобразовывать энергию вынужденных колебаний опорных узлов движителя в тепловую энергию, рассеиваемую корпусом амортизатора в окружающую среду.

Однако амортизатор является проблемным узлом подвески, поскольку на его работоспособность влияет агрессивная среда (абразив, вода), причем защитные колпаки или гофрированные чехлы, экранирующие шток, затрудняют теплообмен, температура жидкости поднимается выше регламентной, её легкие фракции испаряются, а жидкость преобразуется, теряет свои свойства, что особенно имеет место у амортизатора тяжелых машин, совершающих интенсивные и длительные марши по полевым дорогам.

В дополнение к тяжелым условиям эксплуатации, к неблагоприятным ресурсоопределяющим факторам следует отнести размещение амортизатора в механизме подвески со значительным начальным углом давления, что вызывает при его работе угловое движение со значительным ускорением, которое порождает адекватное инерционное моментное нагружение и, как следствие, высокий уровень реакций в двухподвижной паре «поршень – корпус» и повторяющейся связи «шток – направляющая втулка».

Такое нерациональное размещение амортизатора в механизме подвески является вынужденным и вызвано несколькими причинами, главными из которых может быть дефицит рабочего пространства для размещения амортизатора; необходимость реализации значительных ходов опорных звеньев подвески при ограниченном ходе штока амортизатора; необходимость направленного демпфирования пространственных колебаний.

При угловом расположении амортизатора схема подвески исполняется механизмом, имеющим передаточную функцию угловой скорости от опорного рычага (балансира) подвески к угловой скорости движения оси амортизатора, который в такой кинематической схеме выполняет роль кулисы (рис. 1).

Передаточная функция механизма подвески определяется известным выражением:

$$\Pi^\omega = \frac{\omega_{\text{ам}}}{\omega_{\text{бал}}},$$

где $\omega_{\text{ам}}$ и $\omega_{\text{бал}}$ – угловые скорости движения амортизатора и балансира соответственно.

Поскольку

$$\bar{V}_B = \bar{V}_{\text{Бпер}} + \bar{V}_{\text{ск}}, \quad (1)$$

где $V_B = \omega_{\text{бал}} \cdot r$, $V_{\text{Бпер}} = \omega_{\text{ам}} l_\Sigma$, причем $V_{\text{Бпер}} = V_B \cos \gamma$, тогда $\omega_{\text{бал}} \cdot r \cos \gamma = \omega_{\text{ам}} \cdot l_\Sigma$, окончательно

$$\Pi^\omega = \frac{r}{l_\Sigma} \cos \gamma. \quad (2)$$

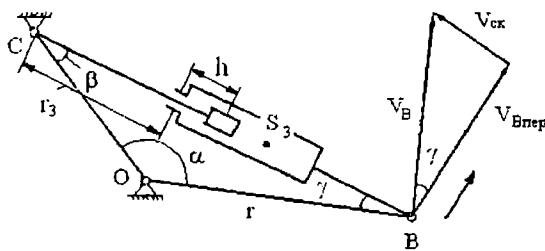


Рис. 1. Геометро-аналитические соотношения при разложении движения

l_1 – размер стойки, r – длина опорного рычага (балансира),
 l_Σ – переменная длина амортизатора,
 V_B – абсолютная скорость, $V_{\text{Бпер}}$ – переносная,
 $V_{\text{ск}}$ – скорость движения штока в корпусе амортизатора,
 a – линейное ускорение t . В в переносном вращательном движении амортизатора.

Определенность угла γ и изменяемую длину амортизатора l_Σ легко получить, выбрав в качестве обобщенной координаты угловое положение α балансира и используя известные геометро-аналитические соотношения:

$$l_\Sigma^2 = l_1^2 + r^2 - 2l_1 r \cos \alpha$$

$$\text{и } \frac{l_1}{\sin \gamma} = \frac{r}{\sin \beta} = \frac{l_\Sigma}{\sin \alpha}, \text{ здесь } \alpha + \beta + \gamma = 180^\circ. \quad (3)$$

Алгоритм вычисления искомых l_Σ , γ и Π^ω по (3) достаточно прост, а именно: задавая α , определим l_Σ , затем γ и Π^ω .

Численный анализ передаточной функции Π^ω на примере механизма подвески тяжелой гусеничной машины показал, что при больших начальных углах давления, когда амортизатор установлен со значительным отклонением его оси от вектора V_B , угловое преобразование движения от балансира к оси амортизатора практически линейно. Это означает, что внутренних причин порождения нелинейностей, обусловленных метрикой механизма подвески, нет или они выражены слабо, поэтому основным источником неравномерного, зависимого от угла давления амортизатора является характер и параметры внешнего кинематического возбуждения механизма подвески от стороны дорожного полотна.

Как показали наши исследования [1, 2], особенно высокий уровень угловых знакопеременных ускорений амортизатора имеет место при импульсном нагружении опорных звеньев подвески. Такой вид нагружения характерен при проходе машиной единичных препятствий (камней, бревен, пней, уступов и др.).

Инерционное моментное нагружение амортизатора, имеющего приведенный к оси его крепления на корпусе машины момент инерции $J_{\text{пр}}$, будет таким:

$$M_{\text{ин}} = -\epsilon_{\text{ам}} J_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где $\epsilon_{\text{ам}} = \frac{d\omega_{\text{ам}}}{dt}$ или $\epsilon_{\text{ам}} = \Pi^\omega \omega_{\text{бал}}^2 + \Pi^\omega \epsilon_{\text{бал}}$, причем

$$\Pi^\omega = \frac{d_2 \beta}{d\alpha^2}.$$

Момент инерционных сил амортизатора компенсируется парой сил реакций «поршень – корпус» и «шток – направляющая втулка», величина реакций зависит как от $M_{\text{ин}}$, так и от плеча h реактивной пары. При максимальном значении l_Σ (шток максимально выдвинут из корпуса амортизатора) значение $h = h_{\text{мин}}$, потенциально такое положение способно вызвать максимальное значение реакции R_{max} .

Проектное значение кинетостатической реакции из всего массива её значений следует принять:

$$R_{\text{max}} = \frac{M_{\text{ин}}^{\text{max}}}{h_{\text{мин}}}. \quad (5)$$

Количественное определение R_{max} для конкретного механизма подвески тяжелой гусеничной машины при импульсном нагружении единичным препятствием размером в один трак на рабочих скоростях движения дал значение $R_{\text{max}} = 684800 \text{ Н}$.

Очевидно, что реакция R будет переменной и знакопеременной, вызывая неравномерный износ элементов двухподвижной пары, причем износ будет более интенсивным в паре «шток – направляющая втулка» по причине меньшей площади активных по-

верхностей в этом соединении, и, следовательно, более высокого удельного давления при их взаимодействии.

Поскольку в реальной паре имеется первичный зазор Δ_1 , а в ходе эксплуатации к нему добавится зазор Δ_2 , обусловленный износом, то суммарный зазор в соединении будет таким:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2. \quad (6)$$

В условиях переменного и знакопеременного нагружения в соединении штока с направляющей втулкой при наличии зазора дополнительно будет происходить его перекладка, т.е. диаметрально направленное относительное движение штока и втулки в плоскости движения амортизатора, сопровождающееся ударами активных поверхностей четырежды за проход единичного препятствия.

Как видно из рис. 2, на котором представлены качественные кинематические характеристики симметричного импульса кинематического возбуждения, даже в беззазорном соединении тангенциальное ускорение подвижной точки крепления амортизатора в общем случае будет разрывной функцией, следовательно, реальные ускорения $a_{B(\text{неп})}^t$ будут кратно больше их теоретических амплитудных значений, обычно величины реальных теоретических значений ускорений оценивают коэффициентом динамичности k_q :

$$a_{B(A)}^t = k_q \cdot a_B^t. \quad (7)$$

Общемашиностроительные справочники рекомендуют принимать $k_q = (2 \div 3)$.

Известно [3], что при внезапном приложении силы даже в беззазорном соединении реальное значение силы удваивается, что следует из модели падения груза массой m с высоты H на упругое основание, обладающее жесткостью C . Работа силы тяжести до момента, когда скорость движения тела будет

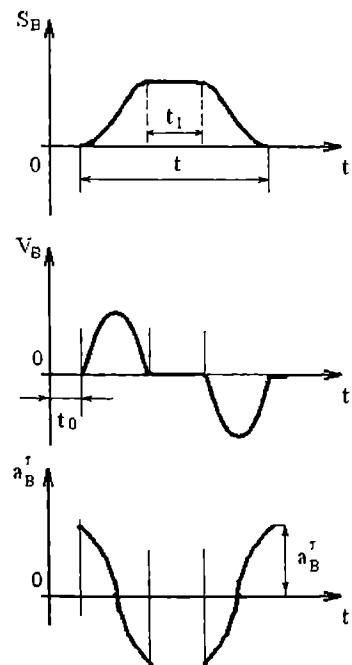


Рис. 2. Симметричный импульс кинематического возбуждения
 t_p , t_1 – время одностороннего контакта
 $t - t_1$ – время двойной прямой и обратной двойной перекладки зазора

равна нулю (это происходит при достижении максимального прогиба f основания), будет такой:

$$A = mg(H + f). \quad (8)$$

Именно эта работа перейдет в потенциальную энергию деформации основания системы, т.е.

$$mg(H + f) = C \frac{f^2}{2}$$

$$\text{или } 2mgH + 2mgf = Cf^2,$$

$$\text{откуда } f^2 - 2 \frac{mg}{C} f - 2 \frac{mg}{C} H = 0,$$

а решение

$$f = \frac{mg}{C} \pm \sqrt{\left(\frac{mg}{C}\right)^2 - \frac{2mg}{C} H}. \quad (9)$$

Знак «-» перед корнем относится к фазе отскока, если обозначить статический прогиб $f_{\text{ст}} = \frac{G}{C} = \frac{mg}{C}$, то отношение динамического прогиба к статическому составит:

$$\mu = \frac{f}{f_{\text{ст}}} + \sqrt{1 - \frac{2H}{f_{\text{ст}}}}. \quad (10)$$

Положив в (10) $H = 0$, получим $\mu = 2$, т.е. при простом опускании поддерживаемого груза он нагрузит основание двойным весом, следовательно, даже в беззазорном соединении при изменении направления кинетостатической реакции на противоположное ее реальное значение следует удвоить.

Перекладка зазоров представляет собой ударный процесс – достаточно сложное явление, получившее отражение в обширной литературе по моделированию этого явления [4-14]. В настоящее время распространены модели, построенные на фундаментальных законах аналитической механики с использованием закономерностей энергетических преобразований в механической системе под воздействием ударных импульсов с учетом свойств связей системы, а также модели, учитывающие контактные деформации тел и волновые процессы передачи энергии ударного взаимодействия тел, образующих систему.

Обратимся в первом приближении к представлению о неупругом ударе, когда коэффициент K восстановления, выражающий отношение скорости отскока к скорости соударения, $K = 0$. Этот случай характерен тем, что удар будет иметь только одну фазу деформации контактирующих тел, а восстановление их формы носит неударный характер и происходит в промежутках времени между соударениями. Иное представление абсолютно неупругого удара состоит в том, что скорость ударника после удара направлена по касательной к поверхности ударного взаимодействия.

В самом деле конструкция амортизатора представляет собой связанную систему тел, совершающих плоское движение, причем реально шток и втулка до соударения имеют разные по модулю и направлению векторы скоростей поверхностей соударения, т.е. удар, в общем случае, будет косым. Поскольку нас интересует в первую очередь величина силы ударного импульса, то физическую модель первого приближения можно упростить до взаимодействия ударника приведенной массы $m_{\text{пп}}$ с неподвиж-

ным упором, т.е. вместо абсолютных скоростей тел до их соударения используем относительную скорость тел по нормали к поверхности соударения.

В качестве приведенной подвижной массы m_{np} примем приведенную к зоне втулки (рис. 1) массу штока. Обозначив расстояние от точки С до центра втулки r_3 , получим:

$$m_{np}r_3^2 = J_{S3} + m_3CS_3^2$$

или

$$m_{np} = \frac{J_{S3} + m_3CS_3^2}{r_3^2}. \quad (11)$$

Скорость приведенной массы до соударения примем $V = \omega_{a3}r_3$, после соударения $U = 0$, тогда

$$m_{np}V - m_{np}U = S,$$

где $S = \int_0^1 R dt$ – ударный импульс, следовательно:

$$m_{np}V = \int_0^1 R dt, \quad (12)$$

а в конечных приращениях при $R = \text{const}$, т.е. приняв силовой импульс прямоугольной формы, получим

$$m_{np}V = R\Delta t.$$

В разных источниках время ударного импульса оценивается по-разному, например в [5], время удара реальных коротких тел принимается $\Delta t = \tau = 10^{-3} \div 10^{-5}$ с.

Окончательно

$$R = \frac{m_{np}V}{\tau}. \quad (13)$$

Приняв в качестве примера $V = 10,5$ м/с, $m_{np} = 1,61$ кг, $\tau = 10^{-5}$, получим $R = 1690500$ Н.

Отметим, что значение реакции R при перекладке зазора кратно больше R_{max} , полученной по результатам анализа кинетостатической модели механизма подвески.

Реально силовой импульс имеет отличную от прямоугольной форму, следовательно, модуль реакции будет еще больше, т.е. соединение штока с направляющей втулкой является высоконагруженным, что объясняет в том числе его прогрессивный износ и даресурсный выход амортизатора с угловым движением из эксплуатации.

Основным выводом проведенного исследования является необходимость внесения конструктивных изменений в механизм подвески, содержащей гидравлический амортизатор, установленный с большим углом давления. Если схема не допускает иного

расположения амортизатора, то имеет перспективу и разработка разгружающего устройства для ослабления динамической реакции в проблемном соединении.

Библиографический список

1. Балакин П.Д., Кузнецов Э.А., Денисенко В.И., Алферов С.В., Князькин О.Н. Предельные режимы движения многоцелевой гусеничной машины по критерию полного использования возможностей подвески. Омский научный вестник. № 7. 2006. С. 96-98.
2. Балакин П.Д., Кузнецов Э.А., Денисенко В.И., Князькин О.Н. Предельные скорости движения многоцелевой гусеничной машины в условиях естественных трасс по критериям энергоемкости подвески. Материалы научно-технической конференции «Броня-2006». Многоцелевые гусеничные и колесные машины: разработка, производство, модернизация и эксплуатация. Омск. 2006. С. 64-68.
3. Поновко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. Изд-е 3-е, доп. и перераб. М., Машиностроение. 1976. – 320 С. С ил.
4. Бидерман В.А. Теория удара. Машгиз. 1952.
5. Кобринский А.Е., Кобринский А.А. Виброударные системы. Наука, 1973.
6. Бабицкий В.И. Теория виброударных систем. М., Наука, 1978. – 320 с.
7. Крылов Н.М., Боголюбов Н.Н. Введение в нелинейную механику. Изд. АН УССР, Киев. 1937.
8. Бабаков И.М. Теория колебаний. Наука. 1968.
9. Тарасов В.Н. и др. Теория удара в строительстве и машиностроении. М. Научное издание. Издательство ассоциации строительных вузов. 2006. – 336 с.
10. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. Наука. 1969.
11. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. Наука. 1967.
12. Вибрации в технике. Справочник в 6-ти томах. Под ред. В.Н. Челомея. М. Машиностроение. 1981-1983 гг.
13. Быховский И.И. Основы теории вибрационной техники. М: Машиностроение. 1969. – 363 с.
14. Бабицкий В.И., Коловский М.З. К теории виброударных систем. Машиноведение, 1970, № 1.

БАЛАКИН Павел Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории механизмов и машин ОмГТУ.

КУЗНЕЦОВ Эрнст Андреевич, кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики ОТИИ.

ЛОБОВ Владимир Анатольевич, аспирант ОмГТУ.
ПРОЗОРОВ Павел Александрович, аспирант ОмГТУ.

Статья поступила в редакцию 10.10.06 г.

© Балакин П.Д., Кузнецов Э.А., Лобов В.А., Прозоров П.А.

КНИЖНАЯ ПОЛКА

Технология машиностроения: Сборник задачи и упражнений: Учебное пособие. – 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.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ ПРОЦЕССА УДАРНО-АКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

В статье рассмотрены вопросы определения режимов процесса ударно-акустической обработки в зависимости от параметров ультразвукового инструмента, станка и обрабатываемой заготовки, а также взаимного расположения пятен контакта инструмента и заготовки (лунок).

При ударно-акустической обработке может существовать множество вариантов взаимного расположения пятен контакта (лунок) инструмента и заготовки. Их взаимное расположение будет зависеть как от величины подачи в продольном направлении, так и от частоты вращения заготовки. Из множества вариантов рассмотрим в качестве примера три основных варианта: когда соседние лунки не перекрываются друг другом (рис. 1 (a)), перекрываются наполовину (рис. 1 (b)), перекрываются на три четверти (рис. 1 (в)). Обработанная поверхность будет иметь свойства регулярного микрорельефа [1].

Для представленных трех вариантов регулярного микрорельефа необходимо вычислить величину подачи и частоту вращения заготовки. После определения расчетных величин подачи и частоты вращения необходимо привести их в соответствие с существующими подачами и числами оборотов, имеющимися на станке. Исходя из заданных вариантов взаимного расположения лунок, возможно провести обработку заготовки на соответствующих режимах и выяснить, какой из вариантов обеспечивает повышенные антифрикционные свойства детали.

Вначале определим величину подачи. На рис. 1 показаны расчетные схемы для определения величины подачи для трех вариантов взаимного расположения лунок.

Из рис. 1(а) видно, что при расположении лунок, когда они не перекрывают друг друга, подача будет равна:

$$S=2a, \quad (1)$$

где a — малая полуось пятна контакта.

Из рис. 1 (б) видно, что при расположении лунок, когда они перекрывают друг друга наполовину, подача вычисляется как:

$$S=a. \quad (2)$$

При взаимном расположении лунок, когда они перекрывают друг друга на три четверти, подача будет равна:

$$S=a/2. \quad (3)$$

Получим общую формулу для определения подачи при любых вариантах взаимного расположения лунок. Для этого нужно ввести величину коэффициента перекрытия лунок K_n . Коэффициент перекрытия в направлении подачи вычисляется по формуле:

$$K_n = 1 - S/2a. \quad (4)$$

Данный коэффициент показывает, какая часть лунки в направлении подачи перекрывается сосед-

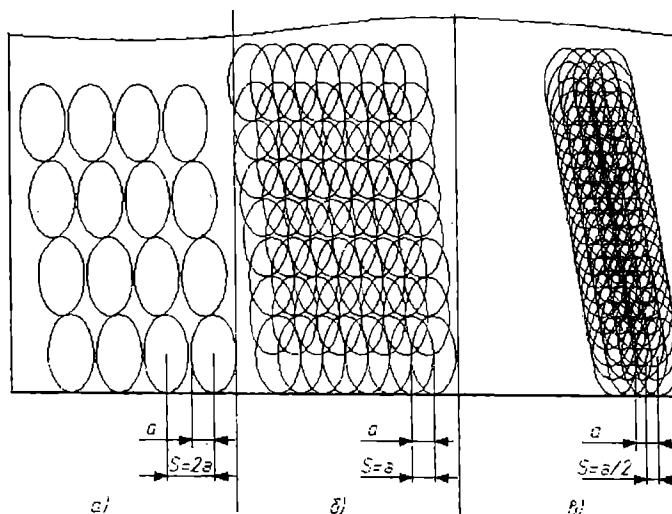


Рис. 1. Расчетные схемы для определения величины подачи при расположении лунок:
а — без перекрытия; б — перекрытие наполовину; в — перекрытие на три четверти.

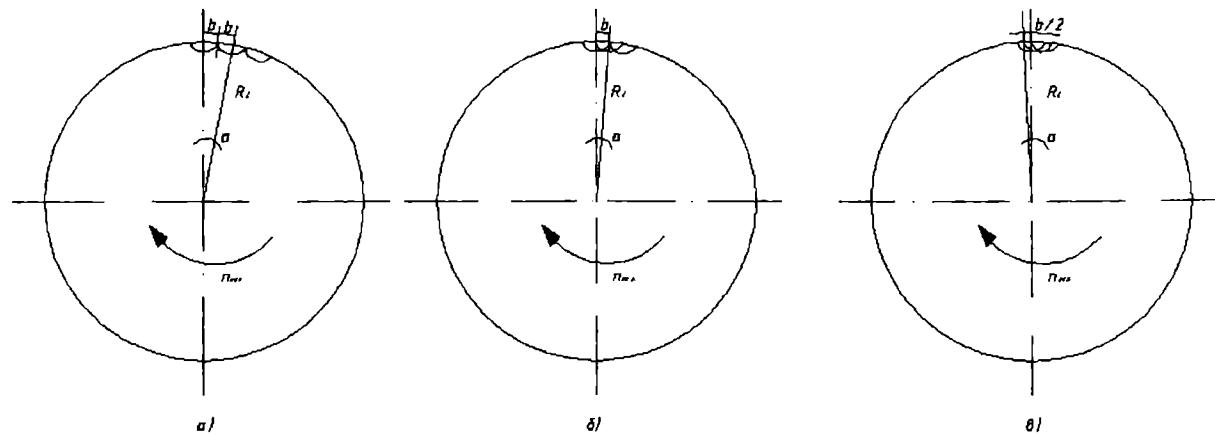


Рис. 2. Расчетные схемы для определения частоты вращения заготовки при расположении лунок:
а – без перекрытия; б – перекрытие наполовину; в – перекрытие на три четверти.

ней лункой. Из формулы (4) видно, что для варианта, представленного на рис. 1 (а), $K_n^s=0$; для варианта на рис. 1 (б) $K_n^s=1/2$; для варианта на рис. 1 (в) $K_n^s=3/4$. Тогда общая формула для определения подачи для всех вариантов расположения лунок будет иметь вид:

$$S=2a(1-K_n^s). \quad (5)$$

Согласно проведенным ранее исследованиям, величина a определяется по следующей формуле:

$$a=\sqrt{2R_1h}, \quad (6)$$

где R_1 – радиус сферы цилиндрического сегмента ультразвукового инструмента, мм;
 h – глубина внедрения инструмента в поверхности заготовки, мм.

Тогда формула (5) будет иметь вид:

$$S_{\text{расч.}}=2\sqrt{2R_1h}\cdot\left[1-K_n^s\right]. \quad (7)$$

Необходимо отметить, что по формуле (7) определяется расчетная величина подачи. Расчетную величину следует согласовать с имеющимися величинами подач на станке. В результате, подставив реальную величину подачи, получим действительное значение коэффициента перекрытия:

$$K_{n,\text{действ.}}^s=1-\frac{S_{\text{станка}}}{2\sqrt{2R_1h}}. \quad (8)$$

Таким образом, получена расчетная величина подачи инструмента для всех возможных вариантов взаимного расположения лунок в направлении продольной подачи, а также выведена формула для определения действительного коэффициента перекрытия в зависимости от имеющихся на станке подач.

Частоту вращения заготовки будем определять для тех же трех вариантов взаимного расположения лунок в окружном направлении обрабатываемой заготовки. На рис. 2 показаны три варианта взаимного расположения лунок: без перекрытия (рис. 2 а); с перекрытием на половину лунки (рис. 2 б); с перекрытием на три четверти лунки (рис. 2 в).

Из представленных схем видно, что заготовка в промежутке между двумя соударениями поворачивается на угол \pm . Зная этот угол, можно вычислить, какое количество лунок образуется за один оборот заготовки. Выведем общую формулу для определения частоты вращения. Необходимо ввести величи-

ну коэффициента перекрытия в окружном направлении K_n^n . Данный коэффициент перекрытия можно вычислить как:

$$K_n^n=1-\frac{R_2\alpha}{2b}, \quad (9)$$

где R_2 – радиус обрабатываемой заготовки, мм;
 α – угол поворота заготовки между двумя соударениями, рад;

b – большая полуось пятна контакта, мм.

Коэффициент перекрытия в окружном направлении показывает, какая часть лунки по окружности заготовки перекрывается соседней лункой. Из данной формулы видно, что для варианта, представленного на рис. 2 а, $K_n^n=0$; для варианта на рис. 2 б $K_n^n=1/2$; для варианта на рис. 2 в $K_n^n=3/4$.

Выразим из формулы (8) угол α :

$$\alpha=\frac{\left(1-K_n^n\right)\cdot 2b}{R_2}. \quad (10)$$

Зная угол α , можно вычислить, какое количество лунок образуется за один оборот заготовки:

$$n_{\text{лунок}}=\frac{2\pi}{\alpha}=\frac{2\pi}{\left(1-K_n^n\right)\cdot 2b}=\frac{\pi R_2}{\left(1-K_n^n\right)\cdot b}. \quad (11)$$

Согласно проведенным исследованиям, величина b определяется как:

$$b=\sqrt{R_2h}, \quad (12)$$

где R_2 – радиус обрабатываемой заготовки, мм; h – глубина внедрения инструмента в поверхность заготовки, мм.

Тогда выражение (12) будет иметь вид:

$$n_{\text{лунок}}=\frac{\pi R_2}{\left(1-K_n^n\right)\cdot\sqrt{2R_2h}}=\frac{\pi}{\left(1-K_n^n\right)}\sqrt{\frac{R_2}{2h}}. \quad (13)$$

Количество лунок за один оборот заготовки можно также вычислить по формуле:

$$n_{\text{лунок}}=\frac{60f}{n_{\text{заг}}}, \quad (14)$$

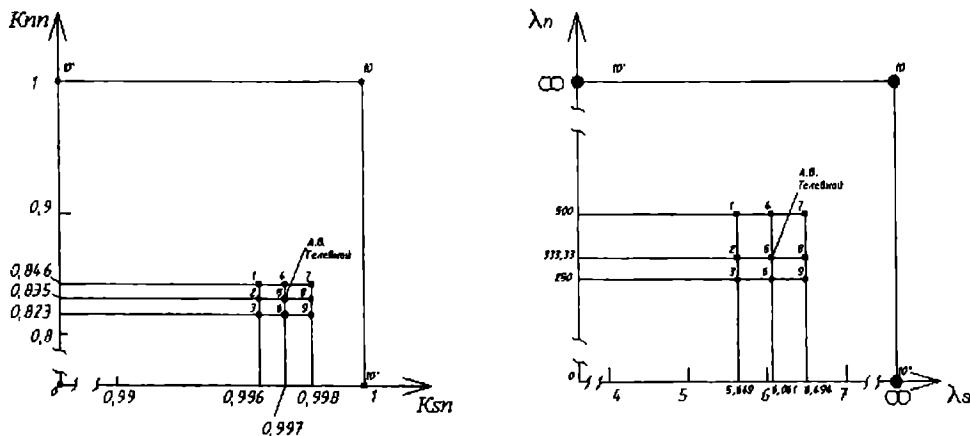


Рис. 3. Графики коэффициентов: а) перекрытия; б) обработанности

где f – число полных циклов колебаний ультразвукового инструмента за одну секунду, Гц; $n_{заг.}$ – частота вращения заготовки, об/мин.

Приравняв правые части уравнений (13) и (14), мы получим выражение:

$$\frac{60f}{n_{заг.}} = \frac{\pi}{(1 - K_n^n)} \sqrt{\frac{R_2}{2h}}. \quad (15)$$

Из выражения (15) можно вычислить расчетную частоту вращения заготовки:

$$n_{заг.расч.} = \frac{60f \cdot (1 - K_n^n)}{\pi} \sqrt{\frac{2h}{R_2}}. \quad (16)$$

Расчетную частоту вращения заготовки необходимо согласовать с имеющимися числами оборотов на станке. Затем, зная реальную частоту вращения заготовки, можно определить действительный коэффициент перекрытия $K_{n.действ.}^n$:

$$K_{n.действ.}^n = 1 - \frac{n_{станка} \cdot \pi}{60f} \sqrt{\frac{R_2}{2h}}. \quad (17)$$

Таким образом, получено выражение для расчетной величины частоты вращения заготовки для всех возможных вариантов взаимного расположения лунок, а также выведена формула для определения действительного коэффициента перекрытия в окружном направлении в зависимости от имеющихся на станке частот вращения.

Однако следует заметить, что коэффициенты перекрытия не имеют ярко выраженного физического смысла. Поэтому от коэффициента перекрытия необходимо перейти к обратному коэффициенту – коэффициенту обработанности. Коэффициент обработанности в направлении продольной подачи λ_s выражается формулой:

$$\lambda_s = \frac{1}{1 - K_n^n}. \quad (18)$$

Данный коэффициент показывает, какое количество ударов инструмента в среднем приходится на единицу поверхности детали в продольном направлении.

Выражение для определения расчетного значения величины подачи будет иметь вид:

$$S_{расч.} = \frac{2\sqrt{2R_1h}}{\lambda_s}. \quad (19)$$

Коэффициент обработанности в окружном направлении λ_n выражается формулой:

$$\lambda_n = \frac{1}{1 - K_n^n}. \quad (20)$$

Этот коэффициент отображает количество ударов инструмента, в среднем приходящееся на единицу поверхности детали в окружном направлении.

Выражение для определения расчетного значения частоты вращения заготовки будет иметь вид:

$$n_{заг.расч.} = \frac{60f}{\lambda_n \cdot \pi} \sqrt{\frac{2h}{R_2}}. \quad (21)$$

Общий коэффициент обработанности можно записать в виде:

$$\lambda_{ns} = \lambda_s \cdot \lambda_n. \quad (22)$$

И теперь, подставив формулы (16) и (18), можно записать:

$$\lambda_{ns} = \frac{1}{(1 - K_n^n)(1 - K_s^n)}. \quad (23)$$

Полученный общий коэффициент обработанности будет отражать общее количество ударов инструмента, приходящееся на единицу поверхности детали.

Вычислим значения приведенных выше коэффициентов в зависимости от реальных параметров процесса ударно-акустической обработки. Согласно источнику [2] были проведены экспериментальные исследования с использованием следующих режимов: усилие подачи 100 Н, мощность выходная 4 кВт, частота выходная 18 кГц, частота вращения шпинделя 50 об/мин, продольная подача 0,14 мм/об, время обработки (основное) 30 мин, суспензия дисульфида молибдена в керосине (1:7). Определим для данных режимов, а также для ближайших к ним режимов,

Таблица 1
Расчет коэффициентов перекрытия K_s и K_n

S			n		
$K_{n, \text{действ.}}^s = 1 - \frac{S_{\text{станка}}}{2\sqrt{2R_1h}}$			$K_{n, \text{действ.}}^n = 1 - \frac{n_{\text{станка}} \cdot \pi R_2}{60f \cdot \sqrt{Dh}}$		
$S=0,13 \text{ мм/об}$	$S=0,14 \text{ мм/об}$	$S=0,15 \text{ мм/об}$	$n=40 \text{ об/мин}$	$n=50 \text{ об/мин}$	$n=63 \text{ об/мин}$
$K_{n, \text{действ.}}^s = 0,846$	$K_{n, \text{действ.}}^s = 0,835$	$K_{n, \text{действ.}}^s = 0,823$	$K_{n, \text{действ.}}^n = 0,998$	$K_{n, \text{действ.}}^n = 0,997$	$K_{n, \text{действ.}}^n = 0,996$

Таблица 2

Расчет коэффициентов обработанности λ_s и λ_n

S			n		
$\lambda_s = \frac{1}{1 - K_s}$			$\lambda_n = \frac{1}{1 - K_n}$		
$K_s = 0,846$	$K_s = 0,835$	$K_s = 0,823$	$K_n = 0,998$	$K_n = 0,997$	$K_n = 0,996$
$\lambda_s = 6,494$	$\lambda_s = 6,061$	$\lambda_s = 5,649$	$\lambda_n = 500$	$\lambda_n = 333,33$	$\lambda_n = 250$

имеющихся на станке, коэффициенты перекрытий K_s и K_n , учитывая, что $R_1=25 \text{ мм}$, $R_2=3 \text{ мм}$, $h=0,03 \text{ мм}$. Результаты определения искомых параметров приведены в таблице 1.

Результаты расчетов можно представить в графическом виде (рис. 3 а). На данном рисунке по оси x откладываются значения коэффициента перекрытия в направлении подачи K_s , а по оси y — значения коэффициента перекрытия по длине окружности K_n . Откладывая действительные значения коэффициентов перекрытий, полученные по результатам расчетов (таблица 1), мы получим точки, которые будут являться результатом комбинаций этих коэффициентов (точки 1—9). Комбинации коэффициентов, полученных для режимов обработки $n=50 \text{ об/мин}$; $S=0,14 \text{ мм/об}$; $R_1=3 \text{ мм}$, $R_2=25 \text{ мм}$, $h=0,03 \text{ мм}$, $f=18 \text{ кГц}$, приведенных в источнике [2], соответствует точка 5. Очень важной задачей является определение оптимальной комбинации коэффициентов, при которой антифрикционные свойства обрабатываемой детали будут наилучшими.

Точка 10 графика является комбинацией коэффициентов $K_s^s = 1$ и $K_n^n = 1$. Т.е. $n=0 \text{ об/мин}$ и $S=0 \text{ мм/об}$ — заготовка находится в неподвижном состоянии и не происходит продольной подачи инструмента, удар производится в одну и ту же точку. Можно сказать, что эта точка будет являться граничной точкой процесса ударно-акустической обработки. Её разновидностями будут являться точки 10' и 10''. Точка 10' показывает, что деталь не вращается, а происходит только продольная подача инструмента, а в точке 10'' — наоборот, не происходит продольной подачи, а только вращение заготовки. Коэффициенты K_s и K_n могут быть отрицательными. Знак «минус» перед этими коэффициентами показывает, что получаемые в результате обработки лунки не только не перекрываются друг другом, но и между ними образуется некоторый зазор, т.е. необработанная поверхность.

Произведем расчет коэффициентов обработанности в зависимости от коэффициентов перекрытия, представленных в таблице 1 (формулы (18) и (20)).

Результаты расчетов сведены в таблицу 2. По результатам расчетов построим точки, координатами которых будут являться коэффициенты обработанности (рис. 3, б).

По осях откладываются значения коэффициента обработанности λ_s , а по оси y откладываются значения коэффициента обработанности λ_n . Нумерация точек, полученных на этом графике, соответствует нумерации точек на рис. 1. Так, например, точка 10 графика имеет координаты (∞, ∞) . Это значит, что не происходит вращение заготовки, не происходит продольной подачи инструмента, а производится бесконечное количество ударов в одну и ту же точку. Дальнейшая задача состоит в том, чтобы экспериментально выяснить, в какой из точек прямоугольной области $(0, 10, 10', 10'')$ достигаются наилучшие результаты в отношении повышения антифрикционных свойств поверхности детали.

Полученные аналитические зависимости режимов обработки от параметров станка, инструмента и заготовки отражают кинематические зависимости ударно-акустической обработки и позволяют управлять данным процессом.

Библиографический список

1. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. — 248 с., ил.

2. Телевной А.В., Телевной В.А. Технологические процессы повышения конструкционной прочности деталей машин: Учеб. пособие / ОмГТУ. Омск, 1993, 122 с. ISBN 5-230-13788-6.

МАСЯГИН Василий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения.

СКОБЕЛЕВ Станислав Борисович, аспирант кафедры технологии машиностроения..

Статья поступила в редакцию 15.11.06 г.

© Масягин В. Б., Скобелев С. Б.

РАСПОЗНАВАНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

По результатам моделирования процесса формирования значения концентрации продуктов изнашивания в моторном масле тепловозного дизеля разработана модель распознавания катастрофического изнашивания контролируемых деталей.

Анализ надежности работы узлов тепловоза позволяет выделить дизель как наименее надежный. На его долю приходится более 40 % неплановых ремонтов. Именно дизель является лимитирующим узлом при назначении крупных видов ремонта. Детали цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ) в процессе работы подвергаются значительным температурным и динамическим нагрузкам, приводящим к интенсивному изнашиванию. В связи с этим одной из основных задач при организации диагностирования тепловозного дизеля является контроль степени изнашивания этих деталей в процессе эксплуатации.

Для оценки степени изнашивания деталей дизеля применяется ряд методов. Одним из них является метод, основанный на контроле значения концентрации продуктов изнашивания в моторном масле. К достоинствам этого метода следует отнести возможность безразборного контроля без отвлечения локомотива из эксплуатации, что является важным моментом с точки зрения экономических затрат.

В процессе работы дизеля происходит изнашивание поверхностей трения, в результате чего мельчайшие частички металла отрываются от поверхности детали и попадают в моторное масло. В процессе маскообмена продуктов изнашивания и моторного масла формируется уровень концентрации элементов, характерных для контролируемых деталей.

Для определения значения концентрации элементов применяется эмиссионный спектральный анализ. Сжигание пробы моторного масла в электрической дуге и анализ спектра излучения позволяет определять содержание элементов с концен-

трацией $10^{-6} - 10^{-7} \text{ %}$ и с относительной погрешностью до 5 %.

Методика оценки степени изнашивания реализуется следующим образом. В процессе эксплуатации тепловозного дизеля периодически отбираются пробы моторного масла и проводится спектральный анализ, в результате чего устанавливаются значения концентрации характерных элементов продуктов изнашивания, поступающих с контролируемыми деталями. По модели накопления продуктов изнашивания рассчитывается количество изношенного с деталей металла на момент контроля. Это количество изношенного металла разделяется по группам контролируемых деталей [1, 2]. Таким образом, на момент контроля (отбора пробы моторного масла) известны начальные размеры деталей дизеля, с которыми он вышел в эксплуатацию, и количество изношенного с них металла. Для оценки текущих геометрических характеристик контролируемых деталей получены модели изнашивания, позволяющие связать текущие геометрические характеристики детали с количеством изношенного металла. Периодичность действия сил и моментов в деталях дизеля, определяемых силой давления газов и силами инерции, формируют характерную для данной группы деталей форму изнашивания. Применение разработанной методики позволяет безразборным способом по результатам контроля косвенных параметров оценить степень изнашивания (текущие геометрические характеристики) деталей цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма дизеля.

Детали тепловозного дизеля изготавливаются из материалов, имеющих различный химический

Таблица 1
Содержание элементов в деталях ЦПГ и КШМ дизеля 10Д100

Наименование детали	Элементы														
	Fe	S	P	Mn	Si	C	Sn	Pb	Na	Mg	Ca	Cr	Ni	Cu	Mo
Шейки коленчатого вала	+	+	+	+	+	+									
Заливка вкладышей							+	+	+	+	+				
Цилиндровая втулка	+	+	+	+	+	+						+	+	+	+
Поршневой палец	+			+	+	+						+	+		
Поршень							+					+			
Бронзовые втулки			+				+							+	
Поршневые кольца	+	+	+		+	+	+		+		+	+	+	+	

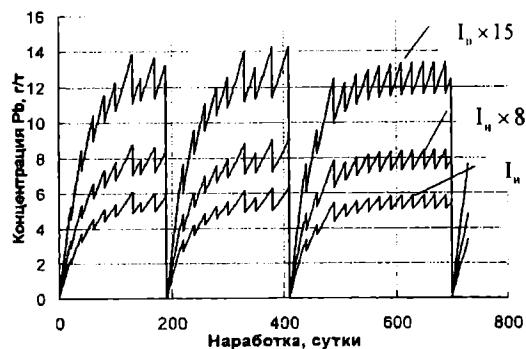


Рис. 1. Динамика концентрации свинца при различных интенсивностях изнашивания вкладышей
 I_n – при нормальной интенсивности изнашивания

состав (табл. 1). Так, например, железо поступает в моторное масло сразу с четырех групп деталей: шеек коленчатого вала, цилиндровых втулок, поршневых пальцев, компрессионных и маслосрезывающих колец. Алгоритм разделения общего объема изношенного металла по группам контролируемых деталей основывается на выборе комплекса контролируемых элементов индивидуально для каждого типа дизеля.

Так, для тепловозного дизеля типа 10Д100 установленный набор элементов включает: железо, медь, свинец, олово, хром, магний, никель, молибден. При реализации алгоритма разделения объема изношенного металла по группам контролируемых деталей устанавливается соответствие между геометрическими размерами группы однотипных деталей и объемом изношенного с них металла. То есть весь объем изношенного с группы деталей металла равномерно распределяется по всем деталям этой группы. Разделить объем изношенного металла по отдельным деталям одной группы невозможно, так как с них поступает одинаковый набор элементов. При реализации методики в диагностическую модель введены параметры изнашивания деталей в зависимости от их местоположения. Это позволяет повысить точность оценки степени изнашивания деталей.

Одной из задач при реализации разработанной методики является установление факта катастрофического изнашивания отдельной детали. В процессе эксплуатации возможны ситуации, когда одна или несколько деталей одной группы подвергаются повышенному изнашиванию, например в результате неправильной установки. При поступлении металла с этой детали весь объем металла при реализации методики будет распределяться по всем деталям этой группы, в результате чего невозможно будет установить факт катастрофического изнашивания. Для решения этой задачи разработана модель функционирования масляной системы тепловоза и выполнены модельные расчеты процесса формирования концентрации продуктов изнашивания в моторном масле при различных вариантах скоростей изнашивания деталей (рис. 1, 2). При катастрофическом изнашивании скорость изнашивания может возрасти в десятки раз. В результате расчетов установлены скорости нарастания концентрации элементов продуктов изнашивания в моторном масле при катастрофическом изнашивании деталей различных групп на фоне нормального изнашивания остальных деталей.

Для идентификации катастрофического изнашивания отдельных деталей применена модель, разработанная с использованием аппарата теории ней-

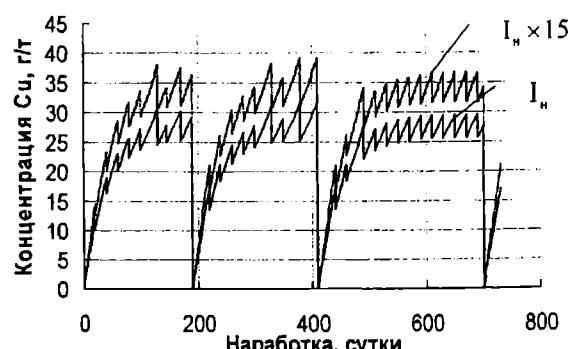


Рис. 2. Динамика концентрации меди при различных скоростях изнашивания компрессионных колец

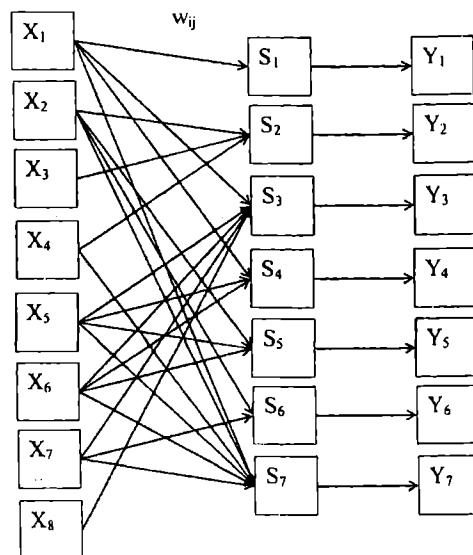


Рис. 3. Однослойный персептрон нейронной сети

ронных сетей. На рис. 3 приведен однослойный персептрон, где в качестве сигналов, поступающих на слой нейронов, использована скорость нарастания концентрации элементов продуктов изнашивания. В результате моделирования работы масляной системы дизеля типа 10Д100 при различных скоростях изнашивания деталей ЦПГ и КШМ получены скорости нарастания концентрации контролируемых элементов продуктов изнашивания. Результаты моделирования приведены в табл. 2. Для повышения разрешающей способности модели значения сигналов X_{ij} должны попадать в установленный интервал $[a, b]$. Для этого необходимо произвести масштабирование сигнала по формуле:

$$X' = \frac{(X - X_{\min})(a - b)}{X_{\max} - X_{\min}} + a$$

В качестве аксона принятая сигмоидальная функция вида

$$Y = \frac{1}{1 + e^{-\alpha S}}$$

где a – коэффициент крутизны функции,
 S – состояние нейрона.

Состояние нейрона рассчитывается по формуле:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} X_{ij}$$

Таблица 2

Соотношение скорости нарастания концентрации элементов продуктов изнашивания при увеличении скорости изнашивания детали

Элемент	Начальная скорость	Скорость изнашивания увеличена в пятнадцать раз					
		1	2	3	4	5	6
Fe	1	1,035	1,020	1,216	1,322	1,119	1,020
Cu	1	1,012	1,164	1,012	1,012	1,264	1,012
Pb	1	1,023	1,023	1,023	1,023	2,324	1,023
Sn	1	1,015	1,088	1,015	1,015	1,018	1,271
Cr	1	1	1	1	1	1,142	1
Ni	1	1,142	1	1	1	1,428	1
Mg	1	1	1	1	1	1,333	1,166
Mo	1	1	1	1	1	1	2,0

Примечание: 1 – поршневой палец; 2 – бронзовая втулка; 3 – шатунная шейка;
 4 – коренная шейка; 5 – компрессионное кольцо; 6 – вкладыш коленчатого вала;
 7 – цилиндровая втулка.

где n – число входов нейрона;

X_{ij} – значение i -го входа нейрона;

w_{ij} – вес i -го синапса.

В результате анализа схемы формирования сигналов получены уравнения, позволяющие рассчитать состояние соответствующего нейрона:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_1 = w_{11}X_{11}; \\ S_2 = w_{22}X_{22} + w_{32}X_{32} + w_{42}X_{42}; \\ S_3 = w_{13}X_{13} + w_{53}X_{53} + w_{63}X_{63} + w_{73}X_{73} + w_{83}X_{83}; \\ S_4 = w_{14}X_{14} + w_{54}X_{54} + w_{64}X_{64}; \\ S_5 = w_{25}X_{25} + w_{55}X_{55} + w_{65}X_{65}; \\ S_6 = w_{26}X_{26} + w_{76}X_{76}; \\ S_7 = w_{17}X_{17} + w_{27}X_{27} + w_{47}X_{47} + w_{57}X_{57} + w_{67}X_{67} + w_{77}X_{77}. \end{array} \right.$$

Начальные значения весов w_{ij} приняты как отношение скоростей нарастания концентрации контролируемых элементов при катастрофическом к скорости при нормальном изнашивании (табл. 2):

$$w_{ij} = \frac{I_{ij}^{(k)}}{I_{ij}^{(n)}},$$

где $I_{ij}^{(k)}$ – скорость нарастания концентрации i -го элемента при катастрофическом изнашивании j -й детали;

$I_{ij}^{(n)}$ – скорость нарастания концентрации i -го элемента при нормальном изнашивании j -й детали.

Процесс обучения нейронной сети реализуется по «дельта-правилу». Персептрон обучают, подавая множество образов по одному на его вход и подстраивая веса до тех пор, пока для всех образов не будет достигнут требуемый выход. Обучающая выборка получена по результатам моделирования динамики концентрации контролируемых элементов при изменении скорости изнашивания отдельных деталей дизеля в диапазоне от нормального изнашивания до катастрофического. Для обучения сети образ X подается на вход и вычисляется выход Y . Если Y правильен, то ничего не меняется. Если выход неправильен, то веса, присоединенные к входам, усиливающим ошибочный результат, модифицируются, чтобы уменьшить ошибку. Этот метод может быть представлен следующей последовательностью шагов:

1. Подать входной образ и вычислить Y ;
2. а. Если выход правильный, то перейти на шаг 1;
- б. Если выход неправильный и равен нулю, то добавить все входы к соответствующим им весам;

с. Если выход неправильный и равен единице, то вычесть каждый вход из соответствующего ему веса;

3. Перейти на шаг 1.

«Дельта-правило» реализуется с помощью введения величины $delta$, которая равна разности между требуемым или целевым выходом T и реальным выходом Y :

$$delta = T - Y.$$

Случай, когда $delta = 0$, соответствует шагу 2a. Шаг 2b соответствует случаю $delta > 0$, а шаг 2c случаю $delta < 0$. В любом из этих случаев персептронный алгоритм обучения сохраняется, если $delta$ умножается на величину каждого входа X_i и это произведение добавляется к соответствующему весу. С целью обобщения вводится коэффициент «скорости обучения» n , который умножается на $delta$ X_i , что позволяет управлять средней величиной изменения весов. В алгебраической форме записи

$$D_i = n \cdot delta \cdot X_i$$

$$w(n+1) = w(n) + D_i,$$

где D_i – коррекция, связанная с i -м входом X_i ;
 $w(n+1)$ – значение веса i после коррекции;
 $w(n)$ – значение веса i до коррекции.

Библиографический список

1. Блюденов П.Я. Оценка технического состояния деталей шатунно-поршневой группы дизелей типа 10Д100 по результатам спектрального анализа картерного масла / П.Я. Блюденов, Е.И. Сквородников, Н.Т. Тригубов, С.М. Овчаренко; Омский ин-т инж. ж.-д. транспорта. Омск. 1988. – 30 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 20.10.88. № 4448.

2. Пат. 2246716 Россия, МКИ G01N3/56. Способ контроля степени износа деталей двигателя внутреннего сгорания, работающих в присутствии смазочного материала / С.М. Овчаренко, Е.И. Сквородников (Россия). – № 2003108158/28; Заявлено 24.03.2003; Опубл. 20.02.2005. Бюл. № 5.

ОВЧАРЕНКО Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Локомотивы».

Статья поступила в редакцию 28.08.06 г.

© Овчаренко С.М.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА С ГАЗОВОЙ ПОДДЕРЖКОЙ ПОРШНЯ И КОМБИНИРОВАННЫМ МЕХАНИЗМОМ ПРИВОДА

В статье рассмотрена целесообразность применения упругой конструкции кулисы в компрессоре с комбинированным механизмом привода. Сам механизм представляет собой комбинацию кривошипно-кулисного и двухвального приводов и теоретически обеспечивает отсутствие как боковых сил на поршне, так и сил инерции, вызывающих колебания конструкции. Исследования проведены на математической модели, описывающей термодинамические процессы, протекающие в контрольных объемах компрессора, и силовые процессы в механизме привода.

Установлено, что применение упругой кулисы позволяет существенно расширить допуски на изготовление и сборку машины.

Ресурс работы и экономичность поршневых машин существенно зависят от величины боковых усилий, действующих в цилиндропоршневой группе (ЦПГ). Кроме того, отрицательное воздействие на элементы ЦПГ оказывает вибрация, возникающая от неуравновешенных элементов компрессора, которую пытаются уменьшить также и из экологических соображений [1, 2].

Снижение боковых сил в ЦПГ поршневых машин достигается различными методами. Наиболее простой из них – применение крейцкопфа в направляющем поршень механизме. Это техническое решение было использовано еще в 30-х годах прошлого столетия специалистами фирмы «Gerbruder – Sulzer» (Швейцария) для бесмазочных лабиринтных компрессоров, сжимающих чистые газы [3], и продолжает предлагаться в различных вариантах для

внедрения унаследовавшей этот принцип фирмой «Maschinenfabrik Sulzer-Burckhardt AG» [4-6].

Другим методом является применение 1-образных механизмов рычажного типа (например, кривошипно-кулисных [7], наиболее современная интерпретация подобного механизма предложена фирмой «Бауэр» [8]), двухвальных приводов и орбитального механизма С. С. Баландина [9]. Последний был успешно реализован в крупных холодильных компрессорах. Однако в этих машинах в связи с неизбежной погрешностью изготовления сложного коленчатого вала так и не удалось осуществить полного спрямления траектории движения поршней [10, 11]. Известны также попытки применения линейных двигателей (электромагнитных, пневматических и гидравлических). Однако в силу многочисленных широко известных сложностей, связанных

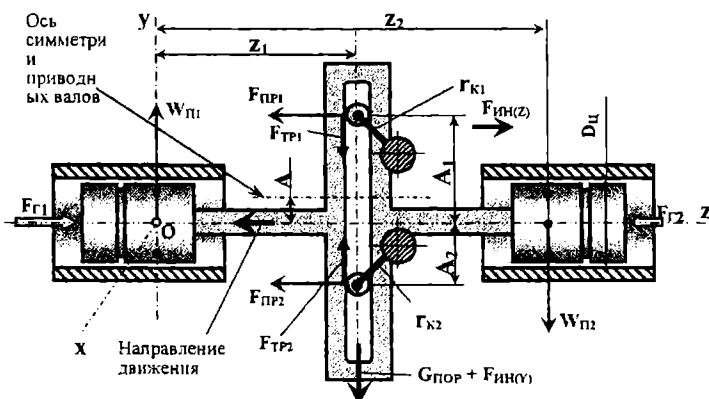


Рис. 1. Полуконструктивная схема поршневого с газовым подвесом поршня и оппозитными поршнями и силы, действующие на подвижные элементы:

$F_{\text{ин}(z)}$ – сила инерции, возникающая от неравномерного движения блока поршней;

$F_{\text{г}}$ – газовая сила от давления в цилиндре, $W_{\text{п}}$ – реакция газовой опоры поршня; $F_{\text{тр}}$ – сила трения,

$G_{\text{пор}}$ – вес блока поршней, $F_{\text{ин}(y)}$ – сила инерции, возникающая при вибрации насоса в вертикальной плоскости,

$F_{\text{рп}}$ – сила со стороны механизма привода, r_k – радиус кривошипа,

A – несовпадение оси симметрии привода и общей оси цилиндров

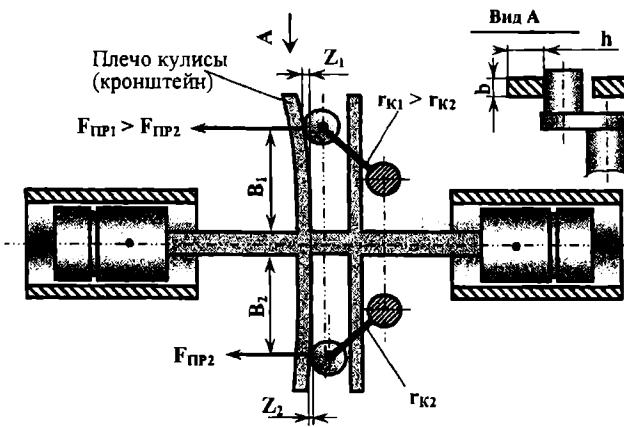


Рис. 2. Схема механизма привода с разновеликими радиусами кривошипов и повышенными упругими свойствами кулисы

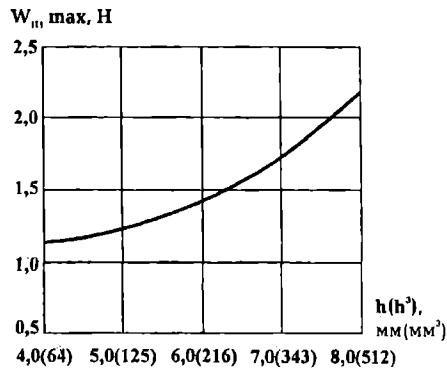


Рис. 3. Расчетная зависимость максимальной боковой нагрузки на поршень W_{pp} max от жесткости рычагов кулисы при $b = 4$ мм при согласованных характеристиках приводных электродвигателей, $A = 2$ мм и одинаковых радиусах кривошипов

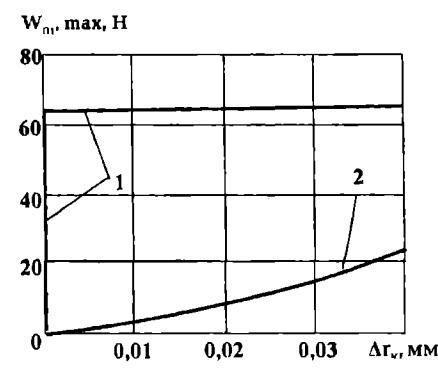


Рис. 4. Зависимость максимального бокового усилия W_{pp} max на поршне от разности радиусов кривошипов Δr_k для жесткой кулисы (линия 1) и для упругой кулисы (линия 2) при $A = 0$, согласованных характеристиках электродвигателей и $b = h = 6$ мм

с использованием таких конструкций в приводах компрессорных машин, их применение чрезвычайно ограничено.

Снижение вибрационных нагрузок на поршневые машины производят за счет оптимального распределения масс в элементах конструкции и введения дополнительных противовесов и виброгасящих устройств, однако это требует значительного усложнения конструкции [12].

Одновременное решение проблем исключения боковых усилий в ЦПГ и вибрации со стороны неуравновешенных масс возможно в схеме поршневой машины с комбинированным приводом [13], в которой действующие силы и моменты инерции движущихся масс теоретически полностью уравновешены. Впервые попытки анализа работы этой конструкции на основе математической модели, учитывающей термодинамику рабочих процессов и динамику механизма привода, описаны в [14, 16]. В частности, было установлено заметное влияние точности изготавления и сборки механизма привода на боковые усилия, действующие на поршень. При этом выявлено, что наибольшее влияние оказывает разность радиусов кривошипов приводных валов r_{k1} и r_{k2} (рис. 1) и несколько меньшее – несовпадение оси валов приводов и оси блока цилиндров.

При расчетах полагалось, что оба приводных вала вращаются независимо и один относительно

другого (соединены с двумя идентичными по характеристикам электродвигателями) в противоположном направлении. Даже незначительное различие в радиусах кривошипов в предположении об отсутствии упругих перемещений кулисы приводит к появлению боковых усилий, аналогичных при использовании обычного кривошипно-шатунного механизма.

В связи с этим представляет большой интерес анализ работы механизма привода с разомкнутой конструкцией кулисы, которая обладает соответствующей размерам (поперечное сечение, длина) упругостью (рис. 2).

Полагая в этом случае, что свободное плечо кулисы представляет собой защемленную балку, ее прогиб определяется по формуле:

$$Z_{1,2} = \frac{4 \cdot F_{pp1,2} \cdot B_{1,2}^3}{E \cdot b \cdot h^3}$$

Для детального анализа влияния жесткости кулисы на боковую нагрузку на поршень был проведен численный эксперимент, в котором жесткость кулисы изменялась путем варьирования статического момента инерции сечения свободных рычагов кулисы (изменяется размер h при $b = \text{const}$). Исследовался проект микрорасходного компрессора с диаметром поршней 21 мм и ходом 14 мм. Результаты

расчетов приведены на рис. 3 и 4. При проведении численного анализа полагалось, что оба приводных электродвигателя имеют абсолютно одинаковые характеристики, вращаются с частотой 25 Гц. Давление нагнетания равно 0,3 МПа.

Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что использование в конструкции механизма привода компрессора упругой кулисы позволяет существенно снизить боковые усилия на поршне даже при значительных отклонениях геометрических размеров, получаемых при изготовлении и сборке компрессора.

Библиографический список

1. Большянский А.П., Щерба В.Е. Особенности проектирования бессмазочного поршневого вакуумного насоса// Вакуумная техника и технология. – 1999, Т. 9, № 2. – С. 31-36.
2. Большянский А.П., Щерба В.Е. The influence of the accuracy of fabrication of main geometric parameters on features of piston for vacuum pump with gas support of piston// Вакуумные технологии и оборудование. Сб. докл. 4-го Междунар. симпозиума «Вакуумные технологии и оборудование». – Харьков, 2001. – С. 222-224.
3. Angst R. A. The labyrinth piston compressor// S. Afr. Mech. Eng.. – 1979. – 29, № 8. – Р. 262-270.
4. Пат. 674399 Швейцария, МКИ⁴ F 04 B 39/04. Поршневой несмазываемый газовый компрессор = Kolbenkompressor zum olfreien Verdichten eines Gases/ Muller E.; Maschinenfabrik Sulzer-Burckhardt AG; - № 1175/88; Заявлено 28.03.88; Опубл. 31.05.90.
5. Пат. 674550 Швейцария, МКИ⁵ F 04 B 39/04. Компрессор с тронковым поршнем = Tauchkolbenkompressor/ Muller E.; Maschinenfabrik Sulzer-Burckhardt AG. - № 1312/88; Заявл. 08.04.88; Опубл. 15.06.90.
6. Пат. 674664 Швейцария, МКИ⁵ F 04 B 39/04. Компрессор с тронковым поршнем = Tauchkolbenkompressor/ Muller E.; Maschinenfabrik Sulzer-Burckhardt AG. - № 1312/88; Заявл. 08.04.88; Опубл. 29.06.90.
7. Геронимус Я.Л. Очерки о работах корифеев русской механики. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1952. – 519 с.
8. Kompressorenbau mit Gelenk-Gerade-ausführung// Metallhandwerk + Technik. – 1980, № 2. – С. 124-129.
9. А.с. 118471 СССР, МКИ⁴ F 01 В 9/02. Двигатель внутреннего сгорания с бесшатунным механизмом/ С. С. Баландин. - № 591328/24-06; Заявлено 4.11.58; Опубл. 10.12.73, Бюл. № 47.
10. Линдберг А. Ф. Голиков Ф. Д., Федулов С. И. Эффективность применения холодильных компрессоров без смазки// Рыбное хозяйство. – 1981. – № 7. – С. 66-68.
11. Линдберг А. Ф., Путилин С. А., Семенов А. Е. Характеристики бесшатунного холодильного компрессора// Интенсификация производства и применения искусственного холода: Тез. докл. Всесоюз. науч.-практич. конф. – Л., 1986. – С. 10.
12. Пластиин П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет. – М.: Колос, 2000. – 456 с.
13. Патент РФ № 2098662, МКИ⁶ F 04 B 25/00, 35/00. Бесконтактный компрессор/ А.П. Большянский, В.Е. Щерба; Омский государственный технический университет. – № 95114243/06; Заявл. 08.08.1995; Опубл. 10.12.1997. – Бюл. № 34.
14. Большянский А.П., Щерба В.Е., Лысенко Е.А. Поршневой насос с комбинированным приводом./ Современное состояние и перспективы развития гидромашиностроения в XXI веке. Труды международной НТК: СПб, 2003. – С. 386-388.
15. Большянский А.П., Лысенко Е.А., Щерба В.Е. Влияние погрешности изготовления кривошипов на динамические характеристики поршневого форвакуумного насоса с комбинированным приводом/ Вакуумная техника и технология. Материалы XIII науч.-технич. конф. с заруб. участием. М.: МГИЭМ, 2006. – С. 110-114.
16. Большянский А.П., Щерба В.Е., Лысенко Е.А. Поршневая машина объемного действия с уравновешенным механизмом привода / Гидрагазодинамика, гидравлические машины и гидропневмосистемы. Труды междунар. научно-технич. и научно-методич. конференции. М.: Изд-во МЭИ, 2006. – С. 153-156.

ЛЫСЕНКО Евгений Алексеевич, старший преподаватель кафедры ГМиТЭ.

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.

© Лысенко Е. А.

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 металлоконтактного сырья. Разработан технологический процесс и его аппаратурное оформление. Проанализирован процесс восстановления нанокристаллического металлоконтактного 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 специалистов в области материаловедения и биологов, работающих в сельскохозяйственных отраслях агропромышленности.

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ РОТАЦИОННЫХ КОМПРЕССОРОВ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ

В статье рассмотрены два варианта компрессоров с катящимся ротором и внутренним источником давления жидкости – объемным и динамическим. Последний организован путем использования гидродиодов в гидравлической линии охлаждения. Численный и натурный эксперименты показали возможность и полезность применения рассмотренных конструктивных вариантов для реального использования при проектировании новых машин.

Работа компрессора объемного действия основана на сжатии газообразной среды от давления всасывания до давления потребителя. При этом отношение давлений в одной ступени может достигать восьми, десяти и более. В связи с этим схема компрессора должна обеспечивать хорошее охлаждение газа в процессе его сжатия с целью как снижения работы процесса, так и обеспечения работоспособности конструкции в целом. С учетом этого обстоятельства следует стремиться использовать такие технические решения, которые обеспечивают максимальное отношение поверхности теплопередающих поверхностей рабочей камеры к ее объему.

К таким конструкциям относятся ротационные машины с катящимся ротором, нашедшие широкое применение в холодильной и микрокриогенной технике, в которых широко используется регенеративный и смесительный теплообмен.

Смесительный теплообмен организуется впрыском мелкодисперсной охлаждающей жидкости во всасывающий патрубок или непосредственно в камеру машины. При этом происходит охлаждение сжимаемого газа, уплотнение зазоров рабочих поверхностей, смазка трущихся деталей. Однако одновременно велика вероятность попадания масляной аэрозоли потребителю, что очень часто является недопустимым явлением.

Регенеративный теплообмен наиболее эффективен при отводе теплоты сжатия через стенку рабочей камеры к охлаждающей жидкости, однако он требует установки отдельного источника давления жидкости, усложняет конструкцию машины и не исключает

необходимость подачи смазочной жидкости к трущимся деталям и для уплотнения зазоров. Последнее особенно актуально для ротационных машин с катящимся ротором. Очевидно, что наибольшее влияние на перетечки газа, снижающие КПД работы машины, оказывают зазоры между разделительной пластиной и ротором, между пластиной и боковыми поверхностями цилиндра.

Таким образом, для наиболее эффективного охлаждения ротационной машины с катящимся ротором необходимо решить две конструктивные задачи:

1. Обеспечить хорошее уплотнение в зоне действия разделительной пластины.

2. Наиболее органично ввести в конструкцию машины жидкостный насос для смазки трущихся частей.

В работах [1, 2] предложены возможные варианты конструкции компрессоров, обладающих вышеуказанными свойствами.

В первом варианте [1] конструкция может работать в режиме только компрессора, только жидкостного насоса или и насоса, и компрессора одновременно. Общая схема конструкции приведена на рис. 1, в табл. 1 приведены положения вентилей K1 – K5 при различных вариантах работы машины.

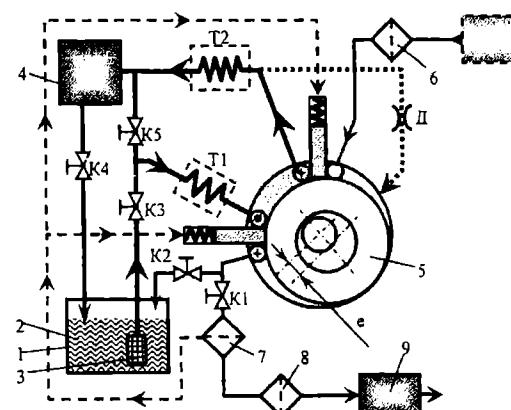


Рис. 1. Пневмогидравлическая схема компрессора:
1. Источник жидкости. 2. Жидкость. 3. Приемный фильтр.
4. Потребитель давления жидкости. 5. Компрессор.
6. Всасывающий газовый фильтр.
7. Фильтр грубой очистки масла. 8. Газовый фильтр.
9. Потребитель сжатого газа. 10. Источник газа.
К – кран (вентиль), Т – теплообменник, Д – дроссель

Таблица 1
Положения вентилей K1–K5
при различных вариантах работы машины

Наименование вентиля на схеме рис. 1	Работа в режиме жидкостного насоса	Работа в режиме компрессора	Работа в режиме насос-компрессора
K1	Закрыт	Открыт	Открыт
K2	Открыт	Закрыт	Закрыт
K3	Открыт	Закрыт/Открыт	Открыт
K4	Открыт	Закрыт/Открыт	Открыт
K5	Закрыт	Открыт/Закрыт	Закрыт

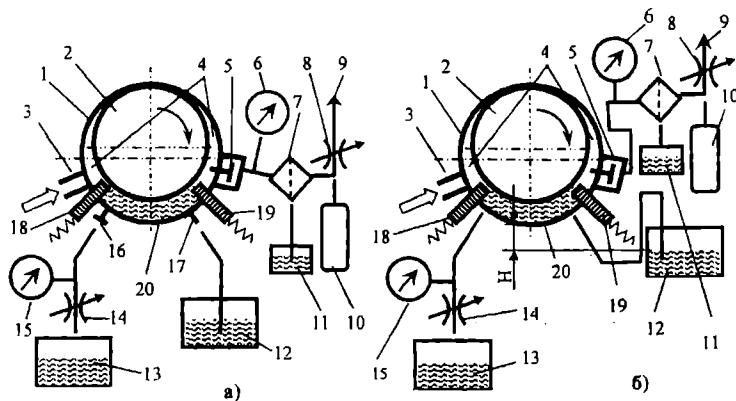


Рис. 2. Схема установки для испытания насоса

а – при наличии, б – при отсутствии обратных клапанов в полости жидкостного насоса:

1. Цилиндр. 2. Ротор. 3. Впускное окно. 4. Нагнетательный газовый клапан. 6. Газовый манометр.
7. Фильтр-маслоотделитель. 8. Регулятор давления газа. 9. Подвод к газовому расходомеру. 10. Газовый ресивер.
- 11, 12, 13. Мерные жидкостные емкости. 14. Регулятор давления жидкости. 15. Жидкостный манометр.
16. Жидкостный нагнетательный клапан. 17. Жидкостный всасывающий клапан.
- 18, 19. Подпружиненные разделительные пластины. 20. Полость жидкостного насоса

Особенностью работы такой конструкции является априори практически полная отсечка впускного газового окна от нагнетательного газового клапана. Эту функцию выполняет насосная полость, играющая в данном случае роль гидрозатвора. Просачивающаяся из этой полости через зазоры между пластинами и торцовыми поверхностями цилиндра жидкость под давлением необходима для смазки трущихся поверхностей деталей машины. Теплообменник Т1 может находиться в рубашке корпуса насоса.

С целью опытной проверки основных особенностей работы насоса был изготовлен модельный образец с диаметром ротора 60 мм, его толщиной 16 мм и эксцентрикитетом приводного кривошипа – 4 мм. Две разделительные подпружиненные пластины толщиной 8 мм расположены под углом 90°. Рабочая жидкость – масло И-20. Зазоры в сопряжениях, ограничивающих рабочую камеру, – 10–20 мкм. Привод насоса осуществляется от электродвигателя переменного тока через клиноременную передачу со сменными шкивами, обеспечивающими следующий набор частот вращения ротора: 500, 750, 1000, 1500 мин⁻¹.

Исследовалось два варианта работы в режиме насос-компрессора. В первом варианте схема практически не отличалась от изображенной на рис. 1 (см. также рис. 2а). Во втором варианте из жидкостного насоса были удалены обратные самодействующие клапаны, и жидкость из насосной полости вытеснялась только за счет изменения объема серповидного пространства (рис. 2б).

На первом этапе были проведены эксперименты по схеме «а», их результаты показаны на рис. 3. На втором этапе были проведены эксперименты по схеме «б», их результаты показаны на рис. 4.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы.

1. Перетечки жидкости из полости жидкостного насоса в газовую полость существенно зависят от давления в последней, а точнее – от перепада давления между этими полостями. Причем с увеличением частоты вращения ротора разность между перетечками при сравнительно низкой и сравнительно высокой разностью давлений между полостями становится меньше. Последнее, очевидно, связано с тем, что при повышении частоты вращения неоди-

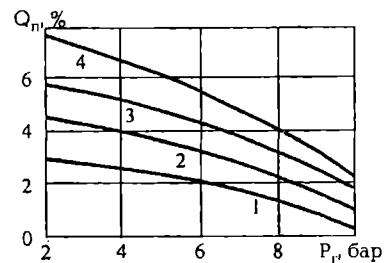


Рис. 3. Зависимость перетечек Q_n из жидкостной полости в газовую и далее в емкость 11 (в процентах от теоретической объемной производительности жидкостного насоса) от давления P_g нагнетания газовой полости при давлении нагнетания жидкости 6 бар и частоте вращения ротора (мин⁻¹):

1. 1500. 2. 1000. 3. 750. 4. 500

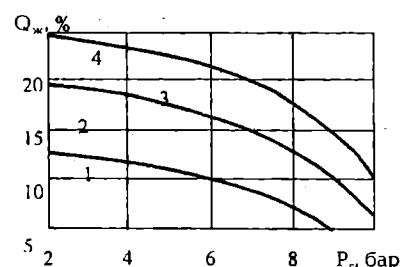


Рис. 4. Зависимость производительности $Q_ж$ бесклапанного жидкостного насоса (в процентах от его теоретической объемной производительности) от давления P_g нагнетания газовой полости при разном уровне H жидкости в емкости 12 относительно среднего уровня полости насоса (частота вращения ротора – 1500 мин⁻¹, вентиль 14 полностью открыт):

1. $H = 0,05$ м. 2. $H = 0,02$ м. 3. $H = 0,01$ м. 4. $H = 0$

ково возрастают потери в нагнетательных клапанах газовой и жидкостной полостях, а также увеличиваются силы инерции, препятствующие проходу жидкости через микрозазор между торцами разделительной пластины и боковыми стенками цилиндра и между пластиной и ротором.

2. При отсутствии клапанов в жидкостной полости насоса можно обеспечить прокачку жидкости в режиме охлаждения при небольшом сопротивлении системы теплообменников и условии, что источник охлаждения жидкости будет находиться примерно на одном уровне с сечением жидкостной полости насоса.

Проведенные наблюдения показывают, что при проектировании конструкции такой машины значительное внимание следует уделять сопротивлению клапанов газовой и жидкостной полости (очевидно, параметры клапанов подлежат оптимизации), а также величине зазоров в сопряжениях, ограничивающих рабочие камеры.

Второй способ интенсификации теплообмена в компрессоре с катящимся ротором связан с использованием в качестве распределительных устройств, организующих направленное проталкивание жидкости через систему охлаждения, гидродиодов, не имеющих подвижных частей. В качестве гидродиодов на первом этапе освоения конструкции выбраны наиболее простые — сопловый и диффузорный. Расчет этих элементов, находящихся в стационарном потоке жидкости, может быть проведен по методике, описанной в [3, 4].

В работе [2] приведена методика расчета гидравлической системы такого насоса, общая и гидравлическая схема которого приведены на рис. 5 и 6.

Построенная на уравнениях [2] математическая модель теоретически дала положительный прогноз возможности использовать гидродиоды для одностороннего проталкивания жидкости через систему охлаждения. Однако для подтверждения теоретических предпосылок перед началом проектирования необходимо экспериментально подтвердить основные положения расчетных формул для определения гидравлического сопротивления и диодности гидравлических ветвей конструкции.

Целью данного исследования было проведение опытов по установлению поправочных коэффициентов, позволяющих применять известные зависимости для расчета. Кроме того, необходимо выяснить, на какой дистанции можно устанавливать последовательно диоды для увеличения сопротивления диодной части гидролинии, что должно улучшить ее характеристики, т.к. желательно, чтобы сопротивление диодной части гидролинии было сопоставимо, а желательно и больше, чем сопротивление подводящих трубопроводов.

Для проведения экспериментов была спроектирована и изготовлена установка для проливки диодов диафрагменного типа (рис. 7).

Эксперименты проводились при установке стальных пластин 3 толщиной 1 мм под разными углами б ($30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$) и с разными размерами ω при $\Omega = 20$ мм при разных давлениях подачи и при разном количестве диодов (один и два).

В качестве рабочей жидкости использовалась водопроводная вода при контроле ее температуры. Фиксировались такие параметры, как перепад давления на гидролинии (показания дифференциального манометра 5), давление подачи жидкости (манометр 11), расход жидкости (расходомер 9, секундомер). В конце каждого опыта в поток жидкости впрыскивалось подкрашивающее вещество, и на видеокамеру фиксировалось распределение этого вещества в потоке. Последнее проводилось с целью выяснения расстояния, через которое поток, пройдя диод, приходит в исходное состояние, т.е. в состояние, в котором он был до диода. Некоторые результаты опытов показаны на рис. 8 – 13.

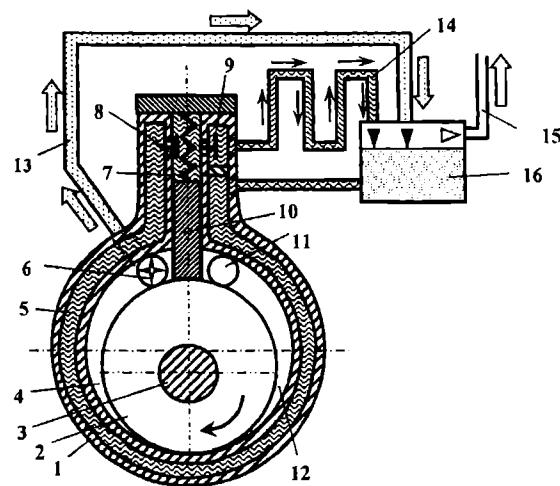


Рис. 5. Схема компрессора с питанием системы охлаждения внутренним жидкостным насосом:

1. Цилиндр.
2. Ротор.
3. Приводной вал.
4. Полость сжатия-нагнетания.
5. Жидкостная рубашка.
6. Воздушный нагнетательный клапан.
7. Пружина.
8. Всасывающий жидкостный клапан.
9. Нагнетательный клапан.
10. Пластина.
11. Всасывающее окно.
12. Полость всасывания.
13. Нагнетательный канал.
14. Теплообменник.
15. Линия нагнетания газа.
16. Отделитель жидкости

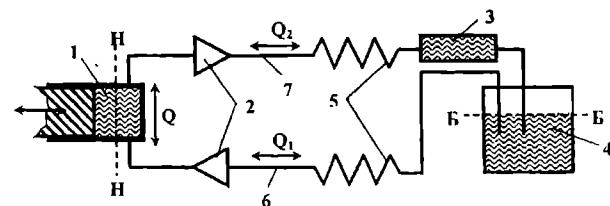


Рис. 6. Гидравлическая схема системы охлаждения:

1. Насосная полость.
 2. Гидродиоды.
 3. Полости рубашки охлаждения цилиндра.
 4. Бак.
 5. Теплообменники.
 6. Всасывающая ветвь.
 7. Нагнетательная ветвь.
- Q – суммарный расход;
 Q_1 – расход во всасывающей ветви;
 Q_2 – расход в нагнетательной ветви

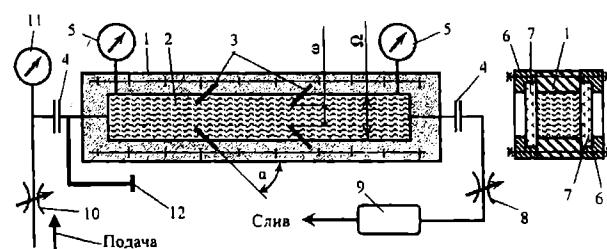


Рис. 7. Конструктивная схема установки для испытания гидродиодов:

1. Корпус.
2. Паз.
3. Пластины.
4. Соединительные муфты.
5. Дифференциальный манометр.
6. Герметизирующие крышки.
7. Стеклянные стенки.
8. Дроссель слива.
9. Расходомер.
10. Дроссель подачи.
11. Манометр.
12. Устройство для ввода подкрашивающего вещества

Из рассмотрения показанных на этих рисунках графиков можно сделать следующие выводы.

1. В целом характер экспериментальных и расчетных зависимостей проявляет определенную идентичность. Вполне вероятно, что расхождение вызвано

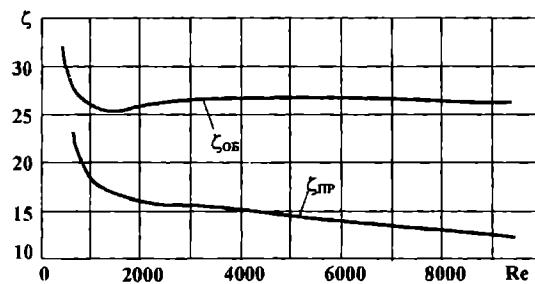


Рис. 8. Экспериментальная зависимость коэффициентов сопротивления прямого ($\zeta_{пр}$) и обратного ($\zeta_{об}$) потоков от числа Рейнольдса Re при угле $\alpha = 45^\circ$ и $\omega = 4$ мм

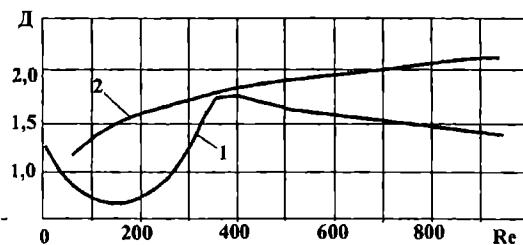


Рис. 9. Зависимость диодности Δ от числа Рейнольдса Re при угле $\alpha = 45^\circ$ и $\omega = 4$ мм: 1. Расчет. 2. Эксперимент

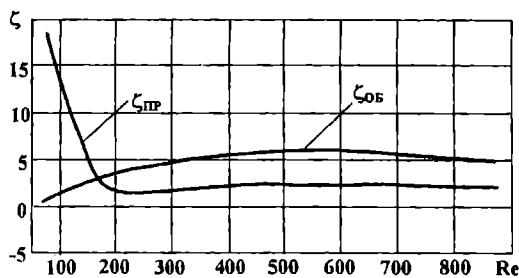


Рис. 10. Зависимость коэффициентов сопротивления прямого ($\zeta_{пр}$) и обратного ($\zeta_{об}$) потоков от числа Рейнольдса Re при угле $\alpha = 45^\circ$ и $\omega = 10$ мм

отличием проходных сечений каналов (в эксперименте — прямоугольное сечение, а приведенные в литературе формулы справедливы для круглых сечений).

2. Как и следовало ожидать, разность между сопротивлениями прямого и обратного потока снижается при увеличении относительного проходного сечения диодов (отношение ω/Ω).

3. Наиболее устойчивые характеристики диодности лежат в зоне турбулентного режима.

Наблюдения за распределением частиц подкрашенной жидкости в зоне действия диодов показали, что в условиях данного эксперимента при турбулентном режиме движения жидкости характеристики потока по длине восстанавливаются через 6–8 максимальных размеров (в данном случае — диагоналей) сечения свободной от диодов части гидравлической линии.

Полученные выводы могут стать основой для разработки модельного образца гидравлической линии (рис. 6) с целью физического моделирования протекающих в ней процессов.

Заключение

Рассмотренные схемы компрессоров с катящимся ротором имеют определенные преимущества по сравнению с известными и могут стать основой для

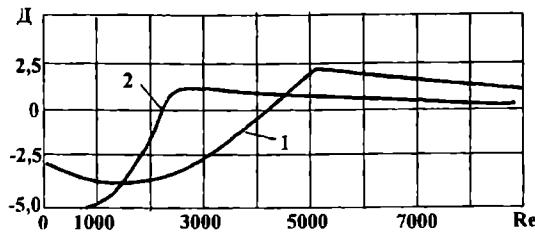


Рис. 11. Зависимость диодности Δ от числа Рейнольдса Re при $\alpha = 45^\circ$ и $\omega = 10$ мм: 1. Расчет. 2. Эксперимент

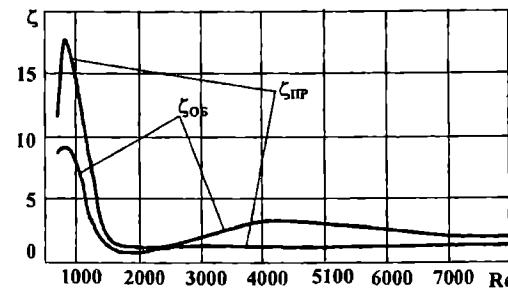


Рис. 12. Зависимость коэффициентов сопротивления прямого ($\zeta_{пр}$) и обратного ($\zeta_{об}$) потоков от числа Рейнольдса Re при $\alpha = 45^\circ$ и $\omega = 16$ мм

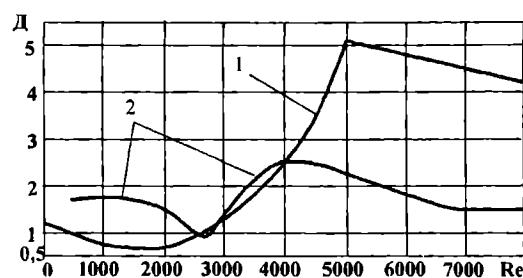


Рис. 13. Зависимость диодности Δ от числа Рейнольдса Re при $\alpha = 45^\circ$ и $\omega = 16$ мм: 1. Расчет. 2. Эксперимент

проектирования реальных конструкций, обладающих повышенными термодинамическими характеристиками.

Библиографический список

- Щерба В.Е., Большянский А.П., Павлюченко Е.А. Форвакуумный насос-компрессор с интенсивным охлаждением// Вакуумная техника и технология. Материалы XIII науч.-технич. конф. с заруб. участием. М.: МГИЭМ, 2006. С.119-122.
- Щерба В.Е., Носов Е.Ю., Большянский А.П. Применение гидродиодов в системе охлаждения форвакуум-насоса с катящимся ротором// Вакуумная техника и технология. Материалы XIII науч.-технич. конф. с заруб. участием. М.: МГИЭМ, 2006. С.114-118.
- Лебедев И. В., Трекунов С. Л., Яковенко В. С. Элементы струйной автоматики. М.: Машиностроение, 1973. — 360 с.
- Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. — 464 с.

НОСОВ Евгений Юрьевич, старший преподаватель кафедры ГМиТЭ.

ПАВЛЮЧЕНКО Евгений Александрович, старший преподаватель кафедры ГМиТЭ.

Статья поступила в редакцию 04.12.06 г.

© Носов Е. Ю., Павлюченко Е. А.

ПРОГНОЗ ПОДПЕРТОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ИЗ ОЧАГА ПОДТОПЛЕНИЯ В СУХОЙ ГРУНТ

В статье рассматривается решение одной из задач подземной гидравлики для случая плоскопараллельной фильтрации. Полученное решение сравнивается с результатами, полученными ранее другими исследователями, и с результатами, полученными авторами опытным путем.

В настоящее время в ходе строительства осваиваются прибрежные территории, часто на строительных площадках делается гидронамыв. Гидронамыв, как правило, делается на грунты с плохими фильтрационными свойствами (т.е. коэффициент фильтрации такого грунта близок к нулю), такие грунты можно считать водоупорными. Намытый песчаный слой подвергается подтоплению со стороны водоема, в результате чего вымывается песок и подтапливается застраиваемая территория. Чтобы своевременно избежать этой ситуации и принять меры защиты от подтопления, необходим прогноз подтопления данной территории.

Целью данной задачи является определение длины языка подтопления в песчаной подсыпке от очага подтопления с постоянным уровнем воды. На рис. 1 показан типичный для данной задачи случай: водами водоема подтапливается песчаная подсыпка, и необходимо определить зону действия языка подтопления $L_{яз}$ с течением времени T . Решим эту задачу.

Первоначально нам известны следующие данные:

H_0 — постоянный напор в водоеме [м];
 k — коэффициент фильтрации грунта [м/сут];
 m — недостаток насыщения грунта;
 T — время фильтрации [сут].

Исходное нелинейное гидравлическое дифференциальное уравнение нестационарной фильтрации языка подтопления при плоскопараллельном движении воды в частных производных по Буссинеску имеет вид [1]

$$\frac{k}{\mu} \frac{\partial}{\partial x} \left(H \frac{\partial H}{\partial x} \right) = \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (1)$$

Зададим граничными условиями:

— граничное условие слева при $x = 0$ (см. рис. 1) выражает напор в вытянутом источнике подтопления:

$$H(0, t) = H_0;$$

— граничное условие с постоянным нулевым напором ставим на движущемся фронте языка подтопления справа при $x = L_{яз}$ (см. рис. 1) в виде

$$H(L_{яз}, t) = 0;$$

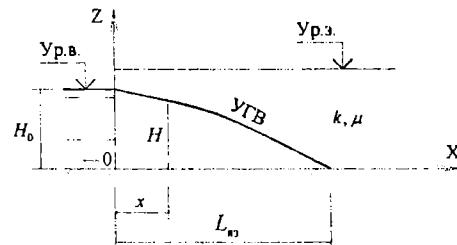


Рис. 1. Язык подтопления при плоскопараллельной фильтрации

— первая производная по x от $H(L_{яз}, t)$ будет равна нулю, т.е.

$$\frac{\partial H(L_{яз}, t)}{\partial x} = 0.$$

Умножим исходное уравнение (1) на ∂x и проинтегрируем в пределах от 0 до $L_{яз}$, получим:

$$\frac{k}{\mu} \cdot \partial \left(H \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right) = \frac{\partial H}{\partial t} \cdot \partial x \quad (2)$$

$$\frac{k}{\mu} \cdot \left(H(L_{яз}, t) \cdot \frac{\partial H(L_{яз}, t)}{\partial x} - H(0, t) \cdot \frac{\partial H(0, t)}{\partial x} \right) =$$

$$= \frac{\partial}{\partial t} \cdot \left(\int_0^{L_{яз}} H(x, t) \cdot \partial x \right).$$

Решение функции $H(x, t)$ ищем в виде многочлена:

$$H(x, t) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2, \quad (3)$$

где a_0, a_1, a_2 — коэффициенты, зависящие от времени.

Для нахождения коэффициентов подставим в уравнение граничные условия:

$$a_0 + a_1 \cdot 0 + a_2 \cdot 0^2 = H_0$$

$$a_0 + a_1 \cdot L_{яз} + a_2 \cdot L_{яз}^2 = 0$$

$$a_1 + 2 \cdot a_2 \cdot L_{яз} = 0,$$

Таблица 1

Результаты сравнения расчетных и опытных данных

Опытные данные		Длина языка подтопления L , см		
H_0 , см	T , сек	по результатам опыта	по формуле П.Я. Полубариновой-Кочиной	по нашей формуле (4)
7,5	32	8,1	5	7,6
5	90	10,9	6,8	10,4
7,5	36	8,5	5,3	8
5	100	11	7,2	10,9

откуда найдем коэффициенты

$$a_0 = H_0, a_1 = -\frac{2 \cdot H_0}{L}, a_2 = \frac{H_0}{L^2}.$$

Затем решение (3) перепишем в виде:

$$H(x, t) = H_0 - \frac{2 \cdot H_0}{L} \cdot x + \frac{H_0}{L^2} \cdot x^2$$

и проинтегрируем выражение в правой части уравнения (2), в результате получим:

$$\begin{aligned} & \int_0^L \left(H_0 - \frac{2 \cdot H_0}{L} \cdot x + \frac{H_0}{L^2} \cdot x^2 \right) \cdot dx = \\ & = \left(H_0 \cdot x - \frac{H_0}{L} \cdot x^2 + \frac{H_0}{3 \cdot L^2} \cdot x^3 \right) \Big|_0^L = \frac{H_0 \cdot L}{3}. \end{aligned}$$

Затем упростим выражение в скобках в левой части уравнения (2):

$$\begin{aligned} & H(L_{яз}, t) \cdot \frac{\partial H(L_{яз}, t)}{\partial x} - H(0, t) \cdot \frac{\partial H(0, t)}{\partial x} = \\ & = \left(H_0 - \frac{2 \cdot H_0}{L} \cdot L + \frac{H_0}{L^2} \cdot L^2 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot H_0}{L^2} \cdot L - \frac{2 \cdot H_0}{L} \right) - \\ & - \left(H_0 - \frac{2 \cdot H_0}{L} \cdot 0 + \frac{H_0}{L^2} \cdot 0 \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot H_0}{L^2} \cdot 0 - \frac{2 \cdot H_0}{L} \right) = \\ & = \frac{2 \cdot H_0^2}{L_{яз}}. \end{aligned}$$

Перепишем уравнение (2) с учетом сделанных упрощений в виде:

$$\frac{k}{\mu} \cdot \frac{2 \cdot H_0^2}{L_{яз}} \cdot \partial t = \frac{H_0 \cdot L_{яз}}{3}.$$

Затем, проинтегрировав левую часть уравнения по ∂t , получим:

$$\frac{k}{\mu} \cdot \frac{2 \cdot H_0^2}{L_{яз}} \cdot T = \frac{H_0 \cdot L_{яз}}{3}.$$

Из полученного уравнения выражаем $L_{яз}$, в результате получаем окончательное уравнение для определения языка подтопления при нелинейной одномерной плоскопараллельной фильтрации в сухой грунте в виде:

$$L_{яз} = \sqrt{\frac{6 \cdot k \cdot H_0 \cdot T}{\mu}}, [м]. \quad (4)$$

Впервые такую задачу поставил Н.Н. Веригин в 1951 г. с особым условием на фронте языка подтопления, приравняв скорость фильтрации по закону Дарси скорости движения фронта, умноженному на недостаток (дефицит) насыщения грунта t [2].

Точное решение этой задачи при нелинейной плоскопараллельной одномерной фильтрации со свободной поверхностью получено П.Я. Полубариновой-Кочиной в 1952 г. для длины языка подтопления [3, 4]:

$$L_{яз} = 1,616 (kH_0 t / m)^{1/2}.$$

Нами был проведен ряд опытов, моделирующих плоскопараллельную фильтрацию. Для наглядности приведен результат одного из них:

Исходные данные для начала опыта:

$$\begin{aligned} k &= 10,45 \text{ м/сут}; \\ m &= 0,3029. \end{aligned}$$

Суть опыта заключалась в том, что при известных параметрах грунта и переменном уровне напора в водоеме H_0 (напор уменьшался за определенное время T) измерялась длина языка подтопления $L_{яз}$.

Как видно из сравнения данных, полученных в результате опыта на грунте и по формулам, результаты, полученные по нашей зависимости (4), более близки к опытным данным. Погрешность между опытными данными и данными, полученными по нашей формуле, можно отнести на счет капиллярных явлений, возникающих в грунте.

Библиографический список

- Гавич И.К. Гидрогеодинамика. — М.: Недра, 1988. — 349 с.
- Веригин Н.Н. О неустановившемся движении грунтовых вод вблизи водохранилищ // Доклады Академии наук СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1949. — Том 66, № 6. — С. 1067-1070.
- Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. — М.: Наука, 1977. — 664 с.
- Полубаринова-Кочина П.Я. О перемещении языка грунтовых вод при фильтрации из канала // Доклады Академии наук СССР. — М.: Изд-во АН СССР, 1952. — Том 82, № 6. — С. 853-855.

СОЛОГАЕВ Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственного водоснабжения.

КРАВЦЕВ Константин Александрович, аспирант кафедры сельскохозяйственного водоснабжения.

Статья поступила в редакцию 23.11.06 г.

© Сологаев В. И., Кравцев К. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ КРАСКОПОДАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА ТРАФАРЕТНОГО ПЕЧАТНОГО УСТРОЙСТВА С РАКЕЛЕМ ВАЛКОВОГО ТИПА

Приводится математическая модель течения жидкости в краскоподающем механизме разрабатываемого трафаретного печатного устройства. Рассматривается течение идеальной жидкости. Модель течения основывается на теории функции комплексного переменного и теории конформных отображений. Получена функция тока и построены линии тока для некоторых параметров течения, позволяющие качественно оценить изучаемое течение.

Одним из важнейших элементов предложенного устройства [1] является механизм регулирования подачи краски на валик-ракель. Основная задача такого механизма (рис. 1), в отличие от подобных устройств, применяемых в машинах офсетной и высокой печати, заключается в том, что на поверхности валик-ракеля имеется упругая покрышка, выполненная из эластомеров (фотополимера, резины и т. п.).

Гидродинамическое давление, возникающее в зоне течения при работе механизма, воздействует на упругую оболочку, деформируя её. Поскольку жесткость эластомеров значительно ниже жесткости стального ракеля, то деформация упругой оболочки может достигать недопустимо больших значений. Поэтому для проектирования таких устройств необходимо разработать математическую модель, позволяющую моделировать движение жидкости в зоне течения.

Для моделирования таких течений традиционно используются два подхода: применение схемы движения вязкой жидкости с решением уравнения Навье-Стокса и построение моделей на основе схемы движения идеальной жидкости с решением уравнения Эйлера. Не останавливаясь на известных недостатках первого подхода, отметим основные преимущества второго. Во-первых, более простое решение из-за отсутствия «вязкого» слагаемого. Это позволяет получить аналитические выражения, определяющие основные параметры течения. Во-вторых, возможность получения картины обтекания тел поступательным потоком, что дает возможность качественной оценки полученного решения. В-третьих, схожесть течения вязкой и невязкой жидкости вне тонкого пограничного слоя. Сказанное позволяет сделать вывод в пользу модели течения невязкой жидкости.

Для построения модели рассмотрим течение краски в пространстве между плоским ракелем и цилиндром. В данном случае цилиндр имеет принудительное вращение. Под его действием краска, прилипая к движущейся поверхности, затягивается в пространство между валиком и плоским ракелем. Поскольку в ячейках на поверхности упругой покрышки из зоны течения выносится малое количест-

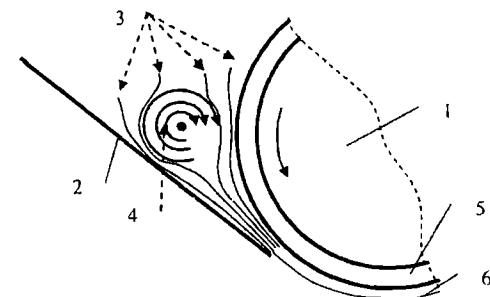


Рис. 1. Схематичное изображение движения краски в механизме регулирования подачи краски:
1 – валик-ракель; 2 – металлический ракель;
3 – линии тока краски; 4 – циркуляция краски;
5 – упругая покрышка; 6 – слой краски

во краски, то основная часть краски поворачивает и движется в обратном направлении. При этом образуется циркуляционное движение краски, обозначенное на рис. 1 цифрой 4. Плоский ракель можно считать абсолютно жестким. При работе такого устройства под действием гидродинамического давления происходит отжатие не плоского ракеля, как в классическом механизме, а упругой покрышки валик-ракеля. Наиболее важными при разработке рекомендаций по проектированию таких устройств являются параметры механизма, обеспечивающие снятие излишков краски с поверхности упругой покрышки и надежное заполнение краской ячеек. При этом необходимо определить давление в пространстве, образованном плоским ракелем, и поверхностью валик-ракеля. Сделаем следующие замечания.

1. Красочный ящик имеет значительную протяженность вдоль оси цилиндра. По этой причине можно рассматривать течение, которое происходит между двумя сечениями, перпендикулярными оси цилиндра и расположенными на малом расстоянии друг от друга.

2. Основную часть рабочего хода данное устройство движется с постоянной скоростью, что позволяет считать движение установившимся.

3. Диапазон скоростей, используемый плоской трафаретной печатью, позволяет считать жидкость несжимаемой.

Использование теории движения невязкой жидкости позволяет применить для создания математической модели теорию функций комплексного переменного и конформные отображения. Для этого воспользуемся возможностью моделирования сложных потоков путем сложения элементарных потоков. Так как моделируется течение идеальной жидкости, в которой невозможно вихреобразование, для выполнения условия потенциальности течения устрим радиус вихря к нулю, а скорость вращения — к бесконечности, с тем чтобы интенсивность вихря оставалась постоянной. В этом случае вихрь переходит в вихревую нить, которая индуцирует потенциальное течение везде, кроме своего центра. Далее везде под словом «вихрь» понимается вихревая нить, если не оговорено иное.

Расчетная схема потока показана на рис. 2, на котором отмечены элементарные потоки, принимаемые во внимание при моделировании течения. Знаки в выражениях комплексных потенциалов приняты в соответствии с традиционной системой — положительным считается вращение вихря против часовой стрелки. Индексация принята в соответствии с индексом комплексного потенциала [3].

1. Поступательный поток жидкости, имеющей на бесконечности скорость V_∞ и направленный к горизонтали под углом α . Комплексный потенциал такого течения имеет вид:

$$W_1(z) = V_\infty z e^{-i\alpha}, \quad (1)$$

где z — комплексная переменная.

2. Цилиндр радиуса r_2 с циркуляцией, с помощью которого будет моделироваться плоский ракель. Этот цилиндр для простоты поместим в начало координат комплексной плоскости z . Комплексный потенциал такого течения имеет вид:

$$W_2(z) = -\frac{V_\infty e^{i\alpha} r_2^2}{z} - iG_2 \ln(z), \quad (2)$$

где r_2 — радиус цилиндра; G_2 — интенсивность вихря, помещенного в центр цилиндра и создающего вокруг него циркуляцию.

3. Цилиндр радиуса r_3 с циркуляцией, с помощью которого будет моделироваться валик-ракель. Он расположен в точке z_3 . Его комплексный потенциал имеет вид:

$$W_3(z) = -\frac{V_\infty e^{-i\alpha} r_3^2}{z - z_3} + iG_3 \ln(z - z_3), \quad (3)$$

где r_3, G_3 — радиус и интенсивность данного элементарного течения соответственно; z_3 — координата цилиндра на комплексной плоскости.

4. Вихрь, индуцируемый вращением валик-ракеля (обозначен на рис. 1 цифрой 4). Комплексный потенциал такого потока имеет вид:

$$W_4(z) = -iG_4 \ln(z - z_4), \quad (4)$$

где G_4, z_4 — интенсивность и координата расположения вихря. В реальном устройстве цилиндр индуцирует вихрь в красочном ящике. Этот вихрь вращается с некоторым опозданием относительно цилиндра за счет трения в жидкости. Отсюда следует условие $|G_4| \leq |G_3|$.

5. Система вихрей, отраженных от цилиндра, расположенного в точке z_2 комплексной плоскости в результате действия вихря G_4 , расположенного в точке z_4 . С учетом того, что точка z_2 расположена в начале координат, согласно теореме об окружности [2], имеем:

$$W_5(z) = iG_4 \ln\left(\frac{r_2^2}{z} - \bar{z}_4\right). \quad (5)$$

Система отраженных вихрей состоит из двух вихрей, один из которых находится в точке, сопряженной с данной относительно окружности $z = |r_2|$, а другой располагается в центре этой окружности.

6. Система вихрей, отраженных от цилиндра, расположенного в точке z_3 комплексной плоскости в результате действия вихря G_4

$$W_6(z) = iG_4 \ln\left(\frac{r_3^2}{z - z_3} - (\bar{z}_4 - z_3)\right). \quad (6)$$

Таким образом, комплексный потенциал течения, показанного на рис. 2, имеет вид:

$$W_\Sigma(z) = \sum_{i=1}^6 W_i(z). \quad (7)$$

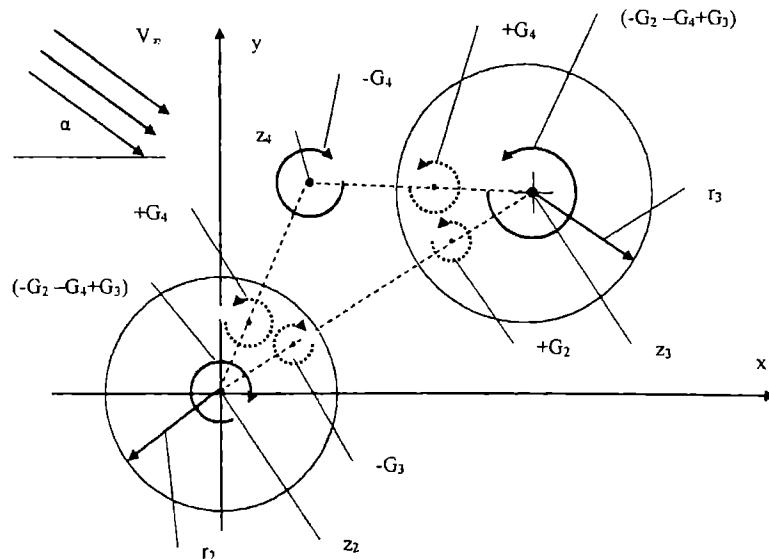


Рис. 2. Расчетная схема для разработки модели течения

В связи с замечанием, сделанным относительно системы отраженных вихрей, в центрах цилиндров образуется вихрь, состоящий из суммы трех вихрей ($-G_2 - G_4 + G_3$) (рис. 2).

Для получения течения, отвечающего схеме устройства, показанного на рис. 1, необходимо конформно отобразить вспомогательную область на комплексной плоскости z на область течения, расположенную в комплексной плоскости Z . Для этого воспользуемся выражением для обратного преобразования Жуковского, которое имеет вид:

$$z = Z + \sqrt{Z^2 - c^2}, \quad (8)$$

где: $c^2 = a^2 - b^2$; a, b – соответственно большой и малый диаметр эллипса.

Знак плюс перед корнем в выражении (8) показывает, что осуществляется отображение внешности круга на внешность эллипса. Тогда в параметрической форме комплексный потенциал течения представляется в виде системы уравнений (7) и (8).

Сделаем следующее замечание. Согласно [2, с. 350, 351] вихревая нить при конформном отображении переходит в вихревую нить, которая имеет в центре бесконечную скорость вращения. Это создает особенность в поле течения. Для того чтобы избежать особенностей, воспользуемся тем, что при вращении вязкой жидкости образуется область, которая вращается без перемешивания, то есть как твердое тело. Радиус такой области определяется выражением

$$R_i = \sqrt{\frac{G_i^2 \rho}{2 P_{\text{атм}}}}, \text{ где } i \text{ – номер вихря; } G_i \text{ – интенсивность}$$

i -того вихря; ρ – плотность жидкости; $P_{\text{атм}}$ – давление на границе вихря, в данном случае атмосферное давление. В этом случае вихревая нить носит название «кольцевой вихрь». При конформном отображении кольцевой вихрь отображается в эллиптический вихрь. При этом необходимо учитывать то, что в нашем случае кольцевые вихри имеют разные радиусы, так как имеют разные интенсивности. Исключив из системы (7), (8) параметр z , проведя несложные, но громоздкие преобразования и сохранив принятую индексацию, получим выражение для комплексного потенциала течения в плоскости Z :

$$\omega_{\Sigma}(Z) = \sum_{i=1}^6 \omega_i(Z), \quad (9)$$

где $\omega_i(Z)$ – комплексные потенциалы течений, отображенных на комплексную область Z . Разделив полученные выражения на действительные и мнимые части, получим выражение для функции тока искомого течения:

$$\psi_{\Sigma}(Z) = \sum_{i=1}^6 \psi_i(Z), \quad (10)$$

где $\psi_i(Z)$ – функции тока для элементарных потоков, отображенных на комплексную (Z) плоскость Z .

Для сплошного равномерного потока отображенная функция тока имеет вид:

$$\psi_i(Z) = -\sin \alpha + R \sin \beta,$$

где α – угол, под которым сплошной поток направлен к горизонтальной оси;

$$M = \sqrt{(x^2 - y^2 - c^2) + (2xy)^2}, \quad \beta = \frac{\Theta}{n} - \frac{2\pi k}{n},$$

$$\Theta = \operatorname{arctg} \frac{2xy}{x^2 - y^2 - c^2},$$

где n – степень корня, который извлекается из комплексного числа (в данном случае $n=2$); k – номер периода комплексного числа.

Для цилиндра с циркуляцией, расположенного в точке Z_2 , функция тока имеет вид:

$$\psi_2(Z) = V_{\infty} r_2^2 \frac{\cos \alpha (y + M \sin \beta) - \sin \alpha (x + M \cos \beta)}{(x + M \cos \beta)^2 + (y + M \sin \beta)^2} - G_2 \ln \sqrt{\frac{(x + M \cos \beta)^2 + (y + M \sin \beta)^2}{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2}}.$$

Для цилиндра с циркуляцией, расположенного в точке Z_3 , функция тока имеет вид:

$$\psi_3(Z) = V_{\infty} r_3^2 \frac{\cos \alpha ((y - y_3) + R \sin \beta) - \sin \alpha ((x - x_3) + R \cos \beta)}{((x - x_3) + R \cos \beta)^2 + ((y - y_3) + R \sin \beta)^2} - G_3 \ln \sqrt{((x - x_3) + R \cos \beta)^2 + ((y - y_3) + R \sin \beta)^2}$$

Это выражение аналогично предыдущему, но отличается от него наличием слагаемого, определяющего сдвиг центра цилиндра относительно начала координат.

Для вихря, условно индуцируемого цилиндром, расположенным в точке Z_3 , функция тока имеет вид:

$$\psi_4(Z) = -G_4 \ln \sqrt{\frac{\frac{r^2 (x + R \cos \beta)^2}{(x + R \cos \beta)^2 + (y + R \sin \beta)^2} - x_4^2}{\frac{r^2 (y + R \sin \beta)^2}{(x + R \cos \beta)^2 + (y + R \sin \beta)^2} + y_4^2}}$$

Для системы отраженных вихрей, полученных отражением вихря G_4 , расположенного в точке Z_4 от цилиндра, расположенного в точке Z_2 , выражение функции тока имеет вид:

$$\psi_5(Z) = G_4 \ln \sqrt{\frac{\frac{r_2^2 (x + R \cos \beta)^2}{(x + R \cos \beta)^2 + (y + R \sin \beta)^2} - x_4^2}{\frac{r_2^2 (y + R \sin \beta)^2}{(x + R \cos \beta)^2 + (y + R \sin \beta)^2} + y_4^2}}$$

Для системы отраженных вихрей, полученных отражением вихря G_4 , расположенного в точке Z_4 от цилиндра, расположенного в точке Z_3 , выражение функции тока имеет вид:

$$\psi_6(Z) = G_4 \ln \sqrt{\frac{\frac{r_3^2 ((x - x_3) + R \cos \beta)^2}{((x - x_3) + R \cos \beta)^2 + ((y - y_3) + R \sin \beta)^2} - (x_4 - x_3)^2}{\frac{r_3^2 ((y - y_3) + R \sin \beta)^2}{((x - x_3) + R \cos \beta)^2 + ((y - y_3) + R \sin \beta)^2} + (y_4 - y_3)^2}}$$

В этом выражении присутствует дополнительное слагаемое y_3 , которое определяет сдвиг цилиндра относительно начала координат.

Для расчета линий тока в плоскости Z согласно полученным выражениям разработана программа «Линии тока» для пакета MathCad. Для примера на рис. 3 показаны линии тока обтекания тонкой пластиинки с циркуляцией. Эволюция линий тока в зависимости от интенсивности циркуляции вокруг вали-ракеля (цилиндра, расположенного в точке Z_3), показана на рис. 4.



Рис. 3. Пример линий тока обтекания пластинки с циркуляцией, расположенной в начале координат, сплошным равномерным потоком, направленным под углом 25° к горизонтали

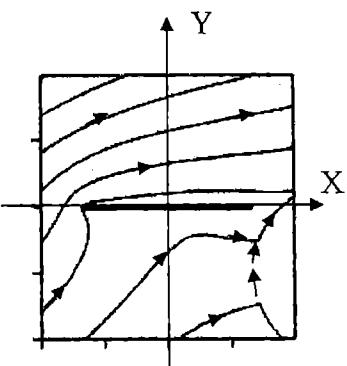


Рис. 4. $G_2=5$; $G_3=1$;
 $G_4=0.8$ $\Gamma_j=2.5$

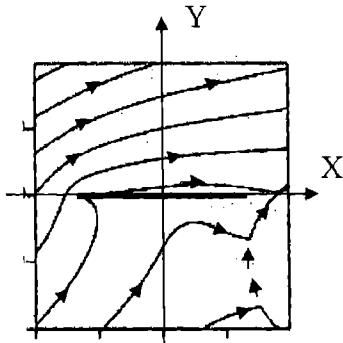


Рис. 5. $G_2=5$; $G_3=2$;
 $G_4=0.8$ $\Gamma_j=2.5$

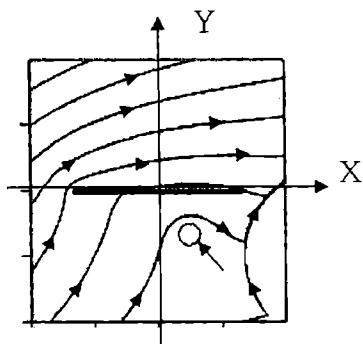


Рис. 6. $G_2=5$; $G_3=3$;
 $G_4=0.8$ $\Gamma_j=2.5$

Введение циркуляции вокруг пластинки в выражение для комплексного потенциала вызвано тем, что на концах пластинки скорость течения равна бесконечности, что не соответствует реальному потоку. Однако если задать циркуляцию вокруг пластинки, можно добиться того, что на одном конце пластинки скорость будет конечной и равной скорости сплошного потока на бесконечности (V_∞).

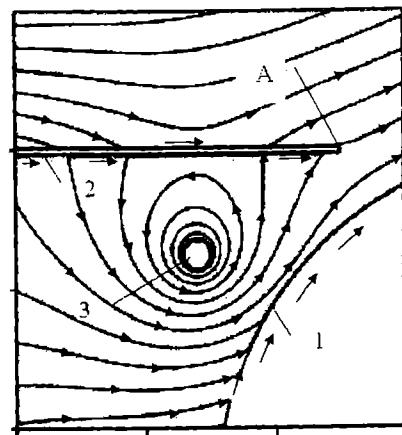


Рис. 7. Линии тока в окрестности конца пластинки, расположенного около цилиндра:
1 – цилиндр; 2 – пластинка;
3 – вихрь, условно индуцируемый цилиндром

На рис. 6 видна область, в которой происходит движение жидкости без перемешивания (обозначено стрелкой).

На рис. 7 показан увеличенный фрагмент течения в окрестности конца пластинки, расположенного ближе к цилиндуру (рис. 7). Стрелками обозначены направления линий тока.

Индуцируемый вихрь (обозначен цифрой 3 на рис. 7) имеет область, не заполненную жидкостью. Это явление можно наблюдать в любом краскоподавящем механизме подобного типа, например в офсетных печатных машинах. На непроницаемых границах (цилиндр 1, пластинка 2) функция тока равна нулю (исходя из граничных условий), поэтому линия тока совпадает с границей. В точке А происходит сход потока. Согласно постулату Жуковского-Чаплыгина существует циркуляция, при которой скорость потока в точке схода А имеет конечную величину. Однако решение задачи определения такой циркуляции затруднено тем, что в потоке присутствуют цилиндр с циркуляцией и индуцируемый вихрь.

Полученная модель позволяет рассчитать линии тока в зависимости от циркуляции вокруг валик-ракеля, расстояния между валик-ракелем и пластинкой, а также в зависимости от их взаимного расположения. Картина линий тока позволяет произвести качественную оценку изучаемого течения.

Основным преимуществом полученной модели является аналитическое выражение для функции тока, которое связано со скоростью условием Коши-Римана $u = \frac{\partial \psi}{\partial y}$, $v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$. Проведя дифференцирование, можно получить выражения для проекции u на ось X и для проекции v на ось Y вектора скорости.

Далее подстановкой в уравнение Эйлера получается распределение давления в зоне течения. Следующим шагом в развитии математической модели изучаемого течения является определение скоростей потока и распределения давления в зоне течения, что позволит перейти к стадии конструкторской проработки проектирования ракельных устройств валкового типа.

Библиографический список

- Литунов С.Н. Красочный аппарат трафаретной печати. Уведомление о поступлении и регистрации заявки. Регистр. № 2006107089 от 06.03.2006 г.

2. Л.М. Милин-Томсон. Теоретическая гидродинамика. М.: Изд-во «Мир», 1964. С. 178
3. Лавреньев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. Изд. 2-е. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», М., 1977, 408 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. — 7-е изд., испр. — М.: «Дрофа», 2003. — 804 с. ISBN 5-7107-6327-6.

ЛИТУНОВ Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Дизайн, реклама и технология полиграфического производства».

Статья поступила в редакцию 20.11.06 г.

© Литунов С. Н.

УДК 516:621.87

**В. С. ЩЕРБАКОВ
А. М. МИНИТАЕВА**

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

Омский государственный
технический университет

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГИДРОПРИВОДОВ

В данной статье предложена методика описания математических моделей гидроприводов в виде гидравлических многополюсников (ГМП), что позволяет формализовать и автоматизировать процесс составления математических моделей гидроприводов.

В настоящее время практически все землеройно-транспортные машины (ЗТМ) оснащены гидроприводом рабочего органа (ГП РО). Несмотря на многообразие схем гидроприводов, количество гидроэлементов, входящих в них, не так велико: гидронасос, гидромотор, гидроцилиндр, гидродроссель, гидролиния, гидораспределитель, гидроклапан (обратный, предохранительный, редукционный) и др. [1, 2, 3, 4, 5].

Теоретические исследования ГП базируются на математических моделях. Процесс составления математических моделей ГП достаточно трудоемкий. В связи с этим как у нас в стране, так и за рубежом ведутся работы, направленные на формализацию процесса составления математических моделей ГП с целью дальнейшей автоматизации этого процесса.

В данной работе гидроэлементы и ГП в целом представлены в виде гидравлических многополюсников (ГМП), что позволяет формализовать и автоматизировать процесс составления математических моделей ГП.

При составлении математических моделей были приняты следующие допущения:

Гидронасос с регулируемой подачей

Схема гидронасоса представлена на рис. 1 а, где $Q_{\text{н}}$ — подача насоса; $q_{\text{н}}$ — рабочий объем насоса; $q_{\text{нм}}$ — максимальный рабочий объем насоса; $e_{\text{н}} = q_{\text{н}}/q_{\text{нм}}$ — параметр регулирования; $\omega_{\text{н}}$ — угловая скорость вала насоса; $M_{\text{н}}$ — крутящий момент на валу насоса; P_1, P_2 — давления соответственно на входе и выходе; $\eta_{\text{он}}, \eta_{\text{мн}}$ — КПД насоса соответственно объемный и гидромеханический.

Принятые допущения позволяют принять математическую модель гидронасоса регулируемой подачи

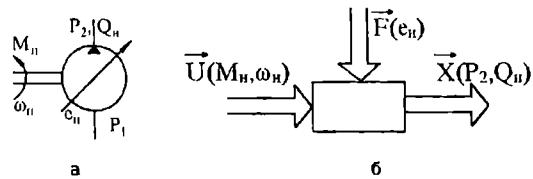


Рис. 1. Гидронасос регулируемой подачи:
а) — расчетная схема;
б) — гидравлический многополюсник (ГМП)

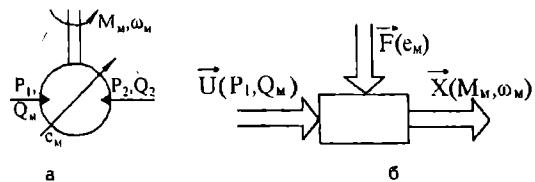


Рис. 2. Гидромотор с регулируемым рабочим объемом:
а) — расчетная схема;
б) — гидравлический многополюсник (ГМП)

$$P_2 = P_1 + M_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{мн}} / (q_{\text{нм}} \cdot e_{\text{н}}); \quad (1)$$

$$Q_{\text{н}} = q_{\text{нм}} \cdot e_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{он}}. \quad (2)$$

Гидромотор с регулируемым рабочим объемом

На рис. 2 а представлена схема гидромотора, где $Q_{\text{н}}$ — расход гидромотора; $q_{\text{н}}$ — рабочий объем гидромотора; $q_{\text{нм}}$ — максимальный рабочий объем гидромотора; $e_{\text{н}} = q_{\text{н}}/q_{\text{нм}}$ — параметр регулирования; $\omega_{\text{н}}$ — угловая скорость вала гидромотора; $J_{\text{н}}$ — момент инерции вращающихся масс, приведенный к

валу гидромотора; M_n – крутящий момент на валу гидромотора; P_1, P_2 – давления соответственно на входе и выходе; η_{on}, η_{mm} – КПД гидромотора соответственно объемный и гидромеханический.

Математическая модель гидромотора в соответствии с принятыми допущениями имеет вид:

$$M_n = \eta_{mm} \cdot e_{mm} \cdot (P_1 - P_2) \cdot \eta_{on} - J_m \cdot \dot{\omega}_m; \quad (3)$$

$$\dot{\omega}_m = Q_m \cdot \eta_{on} / (e_{mm} \cdot \eta_{on}). \quad (4)$$

Гидроцилиндр

На рис. 3 а представлена схема гидроцилиндра, где P_1, P_2 – давления соответственно на входе и выходе гидроцилиндра; Q_1, Q_2 – расходы жидкости соответственно на входе и выходе гидроцилиндра; $S_{ш}, S_n$ – площади соответственно штоковой и поршневой полостей гидроцилиндра; V_u – скорость штока гидроцилиндра; R_u – усилие на штоке гидроцилиндра; k_u – коэффициент вязкого трения в гидроцилиндре; m_u – подвижная масса, приведенная к штоку гидроцилиндра; $k_{ш}, k_n$ – коэффициенты упругости полостей с жидкостью соответственно штоковой и поршневой; s – оператор Лапласа.

Принятые допущения позволяют принять следующую математическую модель гидроцилиндра:

$$F_u = P_1 \cdot S_n - P_2 \cdot S_{ш} - (m_u \cdot s + k_u) \cdot V_u; \quad (5)$$

$$V_u = -\frac{k_u}{S_n} \cdot \dot{P}_1 + \frac{1}{S_n} \cdot Q_1. \quad (6)$$

Гидролиния

На рис. 4 а представлена расчетная схема гидролинии, где P_1, P_2 – давления соответственно на входе и выходе гидролинии; Q_1, Q_2 – расходы жидкости соответственно на входе и выходе гидролинии; k_λ – коэффициент упругости гидролинии; λ_λ – коэффициент потерь давления по длине гидролинии; L_λ – длина гидролинии; d_λ – диаметр гидролинии; γ_λ – удельный вес рабочей жидкости.

Принятые допущения позволяют принять математическую модель гидролинии:

$$P_2 = P_1 - \lambda_\lambda \cdot \frac{8 \cdot \gamma_\lambda \cdot L_\lambda}{\pi^2 \cdot g \cdot d_\lambda^5} \cdot \left(\frac{Q_1 + Q_2}{2} \right)^2; \quad (7)$$

$$Q_2 = Q_1 - k_\lambda \cdot \dot{P}_1. \quad (8)$$

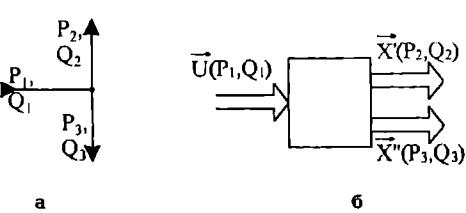
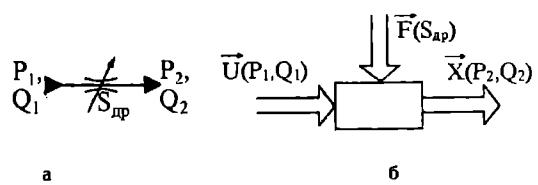
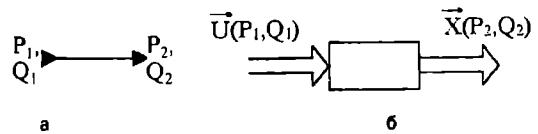
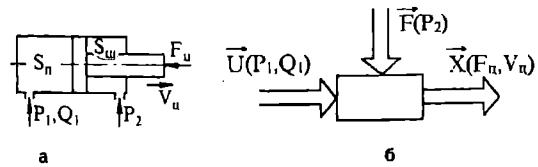
Дросселирующий элемент

На рис. 5 а изображена расчетная схема дросселирующего элемента (местного гидравлического сопротивления), где P_1, P_2 – давления соответственно на входе и выходе дросселя; Q_1, Q_2 – расходы жидкости соответственно на входе и выходе дросселя; S_{ap} – площадь проходного сечения дросселя; ζ_{ap} – коэффициент гидравлического сопротивления дросселя.

Принятые допущения позволяют принять математическую модель дросселя:

$$P_2 = P_1 - \frac{\gamma_\lambda \cdot \ell_{ap}}{g \cdot S_{ap}} \cdot \dot{Q}_1 - \frac{\zeta_{ap} \cdot \gamma_\lambda}{2 \cdot g \cdot S_{ap}^2} \cdot Q_1^2; \quad (9)$$

$$Q_2 = Q_1. \quad (10)$$



Разветвление гидролинии

На рис. 6 а изображена расчетная схема гидравлического разветвления (тройника), которая представляет собой два местных сопротивления в узлах тройника, где P_1, Q_1 – соответственно давление и расход жидкости на входе в тройник; P_2, Q_2, P_3, Q_3 – давления и расходы жидкости на выходах тройника; S_2, S_3 – площади проходных сечений выходных гидролиний тройника; ζ_2, ζ_3 – коэффициенты гидравлических сопротивлений.

Принятые допущения позволяют принять математическую модель гидравлического разветвления:

$$P_2 = P_1 - \frac{\zeta_2 \cdot \gamma_\lambda}{2 \cdot g \cdot S_2^2} \cdot Q_2^2; \quad (11)$$

$$P_3 = P_1 - \frac{\zeta_3 \cdot \gamma_\lambda}{2 \cdot g \cdot S_3^2} \cdot Q_3^2; \quad (12)$$

$$Q_2 = Q_1 - Q_3; \quad (13)$$

$$Q_3 = Q_1 - Q_4. \quad (14)$$

Соединение гидролиний

На рис. 7 а представлена расчетная схема соединения гидролиний (треугольника), где P_1, P_2 – давления жидкости входных гидролиний; Q_1, Q_2 – расходы жидкости входных гидролиний; P_3, Q_3 – соответственно давление и расход в выходной гидролинии; S_1, S_2 – площади проходных сечений входных гидролиний; ζ_1, ζ_2 – коэффициенты гидравлических сопротивлений гидролиний.

Принятые допущения позволяют принять математическую модель гидравлического соединительного тройника:

$$P_3 = \frac{1}{2} \cdot \left(P_1 + P_2 - \frac{\zeta_1 \cdot \gamma_c}{2 \cdot g \cdot S_1^2} \cdot Q_1^2 - \frac{\zeta_2 \cdot \gamma_c}{2 \cdot g \cdot S_2^2} \cdot Q_2^2 \right); \quad (15)$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2. \quad (16)$$

Предлагаемая методика составления математических моделей гидроприводов базируется на представлении схем гидроприводов и их отдельных элементов в виде многомерных динамических объектов, динамические свойства которых характеризуются их матричными передаточными функциями [5].

Гидропривод рассматривается как совокупность соединенных между собой гидроэлементов, которые, в зависимости от принятых допущений, описываются с требуемой степенью детализации [4, 5].

Отдельный гидроэлемент или участок гидросхемы можно представить в виде многомерного динамического объекта (рис. 8) с вектором выходных величин $\vec{X}_j = [x_1, \dots, x_n]^T$, вектором входных величин $\vec{U}_j = [u_1, \dots, u_m]^T$ и вектором возмущающих воздействий $\vec{F}_j = [f_1, \dots, f_k]^T$ [5].

Динамические свойства многомерного объекта полностью определяются его уравнениями движения. Линеаризованная система уравнений движения в векторно-матричной форме имеет вид:

$$A(s) \cdot \vec{X} = B(s) \cdot \vec{U} + C(s) \cdot \vec{F}, \quad (17)$$

где $A(s)$ – квадратная матрица размерности $n \times n$; $B(s)$ – прямоугольная матрица размерности $n \times m$; $C(s)$ – прямоугольная матрица размерности $n \times k$.

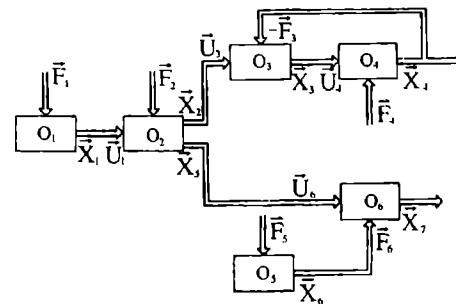
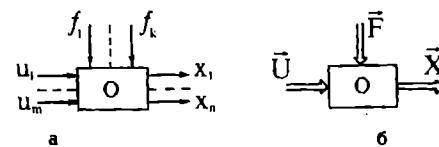
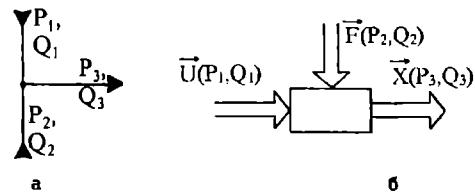
Линеаризованная математическая модель гидравлического многомерного объекта может рассматриваться как гидравлический многополосник (ГМП). Таким образом, гидропривод в целом можно рассматривать как результирующий, состоящий из соединенных между собой ГМП. При этом задача математического моделирования сводится к определению результирующих передаточных функций гидропривода. В этом случае модель гидропривода отражает зависимости только между векторами выходных величин и вектором внешних воздействий, исключая векторы, связывающие отдельные ГМП в единую гидросистему.

Способы соединения ГМП между собой представлены в таблице 1. Математические модели результирующих ГМП разрешены относительно векторов выходных величин:

$$\vec{X} = W_{xu} \cdot \vec{U} + W_{xf} \cdot \vec{F}; \quad (18)$$

$$W_{xu} = A^{-1}(s) \cdot B(s); \quad (19)$$

$$W_{xf} = A^{-1}(s) \cdot C(s), \quad (20)$$



где W_{xu} – матричная передаточная функция многомерного объекта «вход – выход»; W_x – матричная передаточная функция «воздействие – выход».

Правила преобразования связанных ГМП определяются способами их соединения. Таблица 1 позволяет при использовании матричных передаточных функций отдельных ГМП устанавливать аналитическую связь между внешними воздействиями и выходными величинами гидросистем. При этом нет необходимости вычислять величины векторов, связывающих ГМП между собой.

На рис. 9 в качестве примера представлена структурная схема ГП с двумя векторными выходами в виде ГМП, содержащая основные виды соединений. По уравнениям, приведенным в табл. 1 для схемы ГП, представленной на рис. 9, сформирована математическая модель

$$\begin{bmatrix} \vec{X}_4 \\ \vec{X}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1(s) & W_2(s) & W_3(s) & 0 \\ W_4(s) & W_5(s) & 0 & W_6(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{F}_1 \\ \vec{F}_2 \\ \vec{F}_4 \\ \vec{F}_5 \end{bmatrix}, \quad (21)$$

где $W_1(s) = (1 + W_{4xu} \cdot W_{3xf})^{-1} \cdot W_{4xu} \cdot W_{3xu} \cdot W_{2xu} \cdot W_{1xf}$;

$W_2(s) = (1 + W_{4xu} \cdot W_{3xf})^{-1} \cdot W_{4xu} \cdot W_{3xu} \cdot W_{2xf}$;

$W_3(s) = (1 + W_{4xu} \cdot W_{3xf})^{-1} \cdot W_{4xf}$;

$W_4(s) = W_{6xu} \cdot W_{2xf} \cdot W_{1xf}$;

$W_5(s) = W_{6xu} \cdot W_{2xf}$; $W_6(s) = W_{6xf} \cdot W_{5xf}$.

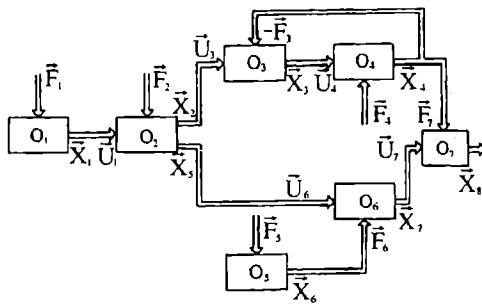


Рис. 10. Структурная схема гидропривода с одним выходом, представленная в виде гидравлических многополюсников

На рис. 10 в качестве примера приведена структурная схема ГП с одним выходом. Ее математическая модель имеет вид:

$$\ddot{X}_8 = W_{7xu} \cdot \ddot{X}_7 + W_{7xf} \cdot \ddot{X}_4. \quad (22)$$

С учетом (21) уравнение примет вид (23):

$$\ddot{X}_8 = [W'_1(s) \quad W'_2(s) \quad W'_4(s) \quad W'_5(s)] \begin{bmatrix} \ddot{F}_1 \\ \ddot{F}_2 \\ \ddot{F}_4 \\ \ddot{F}_5 \end{bmatrix} \quad (23)$$

где $W'_1(s) = W_{7xu} \cdot W_4(s) + W_{7xf} \cdot W_1(s)$;

$W'_2(s) = W_{7xu} \cdot W_5(s) + W_{7xf} \cdot W_2(s)$; $W'_4(s) = W_{7xf} \cdot W_3(s)$;

$W'_5(s) = W_{7xu} \cdot W_6(s)$.

При составлении математической модели ГП, отражающей зависимости не только между векторами

внешних воздействий и выходных величин, но и векторами входных и выходных величин элементов, представленных в виде ГМП, необходимо составить систему уравнений, решение которых позволило бы найти искомые величины. Для этого уравнения многомерного динамического объекта (рис. 9, 10) необходимо разрешить относительно векторов внешних воздействий:

$$W_{fx} \cdot \ddot{X} + W_{fu} \cdot \ddot{U} = \ddot{F}, \quad (24)$$

где $W_{fx} = C^{-1}(s) \cdot A(s)$; $W_{fu} = C^{-1}(s) \cdot [-B(s)]$.

При отсутствии у ГМП векторов внешних воздействий (компоненты вектора равны нулю) выражение (24) примет вид:

$$W_x \cdot \ddot{X} + W_u \cdot \ddot{U} = 0, \quad (25)$$

где $W_x = A(s)$; $W_u = -B(s)$.

Если ГМП выполняет роль многомерного сумматора или используется в замкнутой схеме (см. табл. 1), когда $\ddot{F}_i = \pm \ddot{X}_i$ и отсутствует вектор внешних воздействий, уравнения будут иметь вид:

$$W_x \cdot \ddot{X}_i + W_u \cdot \ddot{U} \mp W_i \cdot \ddot{X}_i = 0, \quad (26)$$

где $W_x = A(s)$; $W_u = -B(s)$; $W = -C(s)$.

Уравнения (24) – (26) позволяют составить математическую модель исследуемого ГП.

Методику составления математической модели целесообразно проиллюстрировать на примерах схем ГП, представленных на рис. 9, 10.

1. Гидросистема изображается в виде структурной схемы, на которой гидроэлементы или участки гидросхемы представляются в виде ГМП. (Например, ГП на рис. 9, 10, содержащие ГМП, соединенные различными способами).

Способы соединения ГМП

№ п/п	Способ соединения ГМП	Уравнения результирующего ГМП
1	Каскадное	$\ddot{X} = W_{2xu} \cdot W_{1xu} \cdot \ddot{U}_1 + W_{2xf} \cdot W_{1xf} \cdot \ddot{F}_1 + W_{2xf} \cdot W_{1xf} \cdot \ddot{F}_2.$
2	Многомерный сумматор	$\ddot{X} = W_{2xu} \cdot W_{1xu} \cdot \ddot{U}_1 + W_{2xf} \cdot W_{1xf} \cdot \ddot{F}_1 + W_{2xf} \cdot W_{3xf} \cdot \ddot{U}_3 + W_{2xf} \cdot W_{3xf} \cdot \ddot{F}_3.$
3	Замкнутая система	$\ddot{X} = [1 \pm W_{2xu} \cdot W_{1xf}]^{-1} \cdot W_{2xu} \cdot W_{1xf} \cdot \ddot{U}_1 + [1 \pm W_{2xf} \cdot W_{1xf}]^{-1} \cdot W_{2xf} \cdot W_{1xf} \cdot \ddot{F}_2.$
4	ГМП с выходами, представленными двумя векторами	$\ddot{X}_1 = W'_{xu} \cdot \ddot{U} + W'_{xf} \cdot \ddot{F};$ $\ddot{X}_2 = W'_{fu} \cdot \ddot{U} + W'_{xf} \cdot \ddot{F}$

2. Всем ГМП, входящим в гидросистему, присваиваются порядковые номера (O_1, \dots, O_6). Порядок нумерации может быть произвольным. Номера ГМП будут определять числовые индексы матричных передаточных функций. (Например, на рис. 9 нумерация ГМП проведена от O_1 до O_6 , а на рис. 10 от O_1 до O_7).

3. Нумеруются векторы входных и выходных величин, векторы внешних воздействий. Порядок нумерации может быть произвольный.

4. Уравнения ГМП записываются в виде (4.99) – (4.101). Например, для ГП, имеющего структурную схему, изображенную на рис. 9, уравнения ГМП ($O_1 \dots O_6$) будут иметь вид:

$$\begin{aligned} O_1 - W_{1/x} \cdot \bar{X}_1 &= \bar{F}_1; O_2 - W'_{2/x} \cdot \bar{X}_2 + W'_{2/u} \cdot \bar{U}_2 &= \bar{F}_2; \\ W''_{2/x} \cdot \bar{X}_5 + W''_{2/u} \cdot \bar{U}_2 &= \bar{F}_2; \\ O_3 - W_{3/x} \cdot \bar{X}_3 + W_{3/u} \cdot \bar{U}_3 - W_{3/f} \cdot \bar{X}_4 &= 0; \\ O_4 - W_{4/x} \cdot \bar{X}_4 + W_{4/u} \cdot \bar{U}_4 &= \bar{F}_4; O_5 - W_{5/x} \cdot \bar{X}_6 &= \bar{F}_5; \\ O_6 - W_{6/x} \cdot \bar{X}_7 + W_{6/u} \cdot \bar{U}_6 + W_{6/f} \cdot \bar{X}_6 &= 0, \end{aligned} \quad (27)$$

а для рис. 10 еще одно уравнение

$$O_7 - W_{7/x} \cdot \bar{X}_8 + W_{7/u} \cdot \bar{U}_7 + W_{7/f} \cdot \bar{X}_4 = 0.$$

5. Устанавливается соответствие между векторами входных и выходных величин, связывающих ГМП между собой. (Например, для рис. 9)

$$\bar{X}_1 = \bar{U}_2; \bar{X}_2 = \bar{U}_3; \bar{X}_3 = \bar{U}_4; \bar{X}_4 = \bar{F}_3; \bar{X}_5 = \bar{U}_6; \bar{X}_6 = \bar{F}_6. \quad (28)$$

Для рис. 10 дополнительно

$$\bar{X}_4 = \bar{F}_7; \bar{X}_7 = \bar{U}_7.$$

6. Уравнения ГМП заносятся в матричную таблицу.

7. В соответствии с матричной таблицей составляется математическая модель ГП

$$W(s) \cdot \bar{X} = \bar{F}, \quad (29)$$

где $W(s)$ – блочная матрица, блоками которой являются матричные передаточные функции ГМП;

\bar{X} – блочный вектор, состоящий из векторов связи; \bar{X}_i ; \bar{F} – блочный вектор внешних воздействий \bar{F}_i .

Для рассматриваемой структурной схемы (рис. 9) блочная матрица имеет вид:

$$\begin{bmatrix} W_{1/x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ W'_{2/u} & W_{2/x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{3/u} & W_{3/x} & W_{3/f} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{4/u} & W_{4/x} & 0 & 0 & 0 \\ W''_{2/u} & 0 & 0 & 0 & W_{2/x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{5/x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{6/u} & W_{6/f} & W_{6/x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \bar{X}_3 \\ \bar{X}_4 \\ \bar{X}_5 \\ \bar{X}_6 \\ \bar{X}_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{F}_1 \\ \bar{F}_2 \\ 0 \\ \bar{F}_4 \\ \bar{F}_2 \\ \bar{F}_5 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Для структурной схемы (рис. 10) блочная матрица имеет вид:

$$\begin{bmatrix} W_{1/x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ W'_{2/u} & W_{2/x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{3/u} & W_{3/x} & W_{3/f} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{4/u} & W_{4/x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ W''_{2/u} & 0 & 0 & 0 & W_{2/x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{5/x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{6/u} & W_{6/f} & W_{6/x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{7/x} & 0 & 0 & W_{7/u} & W_{7/f} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \\ \bar{X}_3 \\ \bar{X}_4 \\ \bar{X}_5 \\ \bar{X}_6 \\ \bar{X}_7 \\ \bar{X}_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{F}_1 \\ \bar{F}_2 \\ 0 \\ \bar{F}_4 \\ \bar{F}_2 \\ \bar{F}_5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (31)$$

8. Из системы уравнений (30) и (31) находится вектор исследуемых величин:

$$\bar{X} = W^{-1}(s) \cdot \bar{F}. \quad (32)$$

Предложенная методика составления математических моделей как многомерных динамических объектов позволяет, в зависимости от целей и задач исследования, формировать математические модели двух типов: модели, исключающие рассмотрение векторов величин, связывающих ГМП между собой; модели, позволяющие проводить исследование всех векторов гидросистемы.

Для применения метода математического описания гидроприводов как многомерных динамических объектов необходимо представить математические модели гидроэлементов в виде ГМП. В качестве примера математические модели гидроприводов после линеаризации представим в векторно-матричной форме, разрешенные относительно вектора выходных параметров.

Гидронасос регулируемой подачи

На рис. 1 б изображен гидронасос в виде ГМП. В линеаризованном виде математическая модель гидронасоса будет иметь вид:

$$\begin{bmatrix} P'_2 \\ Q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M' \\ \omega' \\ e' \end{bmatrix}, \quad (33)$$

$$\text{где } W_{11} = \frac{\eta_{..}}{q_{..} \cdot e}; \quad W_{12} = 0; \quad W_{13} = -\frac{M \cdot \eta_{..}}{q_{..} \cdot e^2}; \quad W_{21} = 0;$$

$$W_{22} = q_{..} \cdot e \cdot \eta_{..}; \quad W_{23} = q_{..} \cdot \omega \cdot \eta_{..}; \quad P'_2 \equiv dP_2; \quad Q' \equiv dQ; \quad$$

$$\omega_h \equiv d\omega_h; \quad e_h \equiv de_h.$$

Гидромотор с регулируемым рабочим объемом

На рис. 2 б представлен гидромотор в виде ГМП. В линеаризованном виде математическая модель гидромотора имеет вид:

$$\begin{bmatrix} M' \\ \omega' \\ e' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P'_1 \\ Q'_m \\ e'_m \end{bmatrix}, \quad (34)$$

$$\text{где } W_{11} = q_{MM} \cdot e_M \cdot \eta_{MM}; \quad W_{12} = -J_M \cdot s \cdot \eta / (q_{MM} \cdot e_M);$$

$$W_{13} = q_{MM} \cdot \eta_{MM} \cdot (P_1 - P_2) + J_M \cdot s \cdot Q_M \cdot \eta_{OM} / (q_{MM} \cdot e_M^2);$$

$$W_{21} = 0; \quad W_{22} = \eta_{OM} / (q_{MM} \cdot e_M); \quad W_{23} = -Q_M \cdot \eta_{OM} / (q_{MM} \cdot e_M^2);$$

$$s \equiv \frac{d}{dt}; \quad M'_M \equiv dM_M; \quad \omega'_M \equiv d\omega_M; \quad P'_1 \equiv dP_1; \quad Q'_M \equiv dQ_M;$$

$$e'_M \equiv de_M.$$

Гидроцилиндр

На рис. 3 б дана схема гидроцилиндра в виде ГМП. В линеаризованном виде математическая модель гидроцилиндра имеет вид:

$$\begin{bmatrix} F'_u \\ V'_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P'_1 \\ Q'_1 \\ P'_2 \end{bmatrix}, \quad (35)$$

$$\text{где } W_{11} = (m_u \cdot s^2 + k_u \cdot s) \frac{k}{S} + S; \quad W_{12} = (k_u - m_u \cdot s) \cdot \frac{1}{S};$$

$$W_{13} = -S_{\text{ш}}; W_{21} = -\frac{k_{\text{ш}}}{S_{\text{ш}}} \cdot s; W_{22} = \frac{1}{S_{\text{ш}}}; W_{23} = 0; s = \frac{d}{dt};$$

$$F'_{\text{u}} \equiv dP_{\text{u}}; V'_{\text{u}} \equiv dV_{\text{u}}; P'_{\text{1}} \equiv dP_{\text{1}}; Q'_{\text{1}} \equiv dQ_{\text{1}}; P'_{\text{2}} \equiv dP_{\text{2}}.$$

Гидролиния

На рис. 4 б гидролиния представлена в виде ГМП. В линеаризованном виде математическая модель гидролинии будет иметь вид:

$$\begin{bmatrix} P'_2 \\ Q'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ Q'_1 \end{bmatrix}, \quad (36)$$

$$\text{где } W_{11} = \left(-\frac{\lambda_{\text{A}} \cdot 4 \cdot \gamma_{\text{ж}} \cdot L_{\text{A}} \cdot k_{\text{A}}^2}{\pi^2 \cdot g \cdot d_{\text{A}}^5} \cdot P_1 \cdot s^2 + \right. \\ \left. + \frac{\lambda_{\text{A}} \cdot 8 \cdot \gamma_{\text{ж}} \cdot L_{\text{A}} \cdot k_{\text{A}}}{\pi^2 \cdot g \cdot d_{\text{A}}^5} \cdot Q_1 \cdot s + 1 \right); \\ W_{12} = \left(-\frac{\lambda_{\text{A}} \cdot 16 \cdot \gamma_{\text{ж}} \cdot L_{\text{A}}}{\pi^2 \cdot g \cdot d_{\text{A}}^5} \cdot Q_1 + \frac{\lambda_{\text{A}} \cdot 8 \cdot \gamma_{\text{ж}} \cdot L_{\text{A}} \cdot k_{\text{A}}}{\pi^2 \cdot g \cdot d_{\text{A}}^5} \cdot \dot{P}_1 \right);$$

$$W_{21} = -k_{\text{ш}} \cdot s; W_{22} = -k_{\text{ш}}; W_{23} = 1; s = \frac{d}{dt};$$

$$P'_1 \equiv dP_{\text{1}}; P'_2 \equiv dP_{\text{2}}; Q'_1 \equiv dQ_{\text{1}}; Q'_2 \equiv dQ_{\text{2}}.$$

Дросселирующий элемент

На рис. 5 б дросселирующий элемент представлен в виде ГМП. В линеаризованном виде математическая модель дросселя будет иметь вид:

$$\begin{bmatrix} P'_2 \\ Q'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ Q'_1 \\ S'_{\text{дп}} \end{bmatrix}, \quad (37)$$

$$\text{где } W_{11} = 1; W_{12} = -\frac{\gamma_{\text{ж}} \cdot \ell_{\text{дп}}}{g \cdot S_{\text{дп}}} \cdot s - \frac{\zeta_{\text{дп}} \cdot \gamma_{\text{ж}}}{g \cdot S_{\text{дп}}^2} \cdot Q_1;$$

$$W_{13} = \frac{\gamma_{\text{ж}} \cdot \ell_{\text{дп}}}{g \cdot S_{\text{дп}}^2} \cdot Q_1 + \frac{\zeta_{\text{дп}} \cdot \gamma_{\text{ж}} \cdot \ell_{\text{дп}}}{g \cdot S_{\text{дп}}^3} \cdot Q_1^2; W_{21} = 0;$$

$$W_{22} = 1; W_{23} = 0.$$

Разветвление гидролинии

На рис. 6 б представлен ГМП с двумя векторными выходами. В линеаризованном виде математическая модель разветвления будет иметь вид:

$$\begin{bmatrix} P'_2 \\ Q'_2 \\ P'_3 \\ Q'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \\ W_{31} & W_{32} \\ W_{41} & W_{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ Q'_1 \end{bmatrix}, \quad (38)$$

$$\text{где } W_{11} = 1; W_{12} = -\frac{\zeta_2 \cdot \gamma_{\text{ж}}}{g \cdot S_2^2} \cdot Q_2; W_{21} = 0; W_{22} = 1;$$

$$W_{31} = 1; W_{32} = -\frac{\zeta_3 \cdot \gamma_{\text{ж}}}{g \cdot S_3^2} \cdot Q_3; W_{41} = 0; W_{42} = 1; P'_1 \equiv dP_{\text{1}};$$

$$Q'_1 \equiv dQ_{\text{1}}; P'_2 \equiv dP_{\text{2}}; Q'_2 \equiv dQ_{\text{2}}; P'_3 \equiv dP_{\text{3}}; Q'_3 \equiv dQ_{\text{3}}.$$

Соединение гидролиний

На рис. 7 б представлена схема гидравлического соединения. В линеаризованном виде математическая модель гидравлического соединения будет иметь вид:

$$\begin{bmatrix} P'_3 \\ Q'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & W_{13} & W_{14} \\ W_{21} & W_{22} & W_{23} & W_{24} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P'_1 \\ Q'_1 \\ P'_2 \\ Q'_2 \end{bmatrix}, \quad (39)$$

$$\text{где } W_{11} = 0,5; W_{12} = -\frac{\zeta_1 \cdot \gamma_{\text{ж}}}{2 \cdot g \cdot S_1^2} \cdot Q_1; W_{13} = 0,5;$$

$$W_{14} = -\frac{\zeta_2 \cdot \gamma_{\text{ж}}}{2 \cdot g \cdot S_2^2} \cdot Q_2; W_{21} = 0,5; W_{22} = 0; W_{23} = 0,5;$$

$$W_{24} = 0; P'_1 \equiv dP_{\text{1}}; Q'_1 \equiv dQ_{\text{1}}; P'_2 \equiv dP_{\text{2}}; Q'_2 \equiv dQ_{\text{2}};$$

$$P'_3 \equiv dP_{\text{3}}; Q'_3 \equiv dQ_{\text{3}}.$$

Решение задач синтеза и анализа гидроприводов невозможно осуществлять без их математических моделей, которые необходимо составить для каждой новой системы. Процесс составления математических моделей гидроприводов является достаточно трудоемкой задачей, однако современная вычислительная техника позволяет формализовать этот процесс и возложить его на ЭВМ.

Библиографический список

1. Алексеева Т.В., Щербаков В.С., Воловиков Б.П. Математическое моделирование элементов гидроприводов строительных и дорожных машин. Методические указания // Омск: СибАДИ, 1986. – 34 с.

2. Беренгард Ю.Г., Гайцгори М.М. Синтез уравнений произвольных систем гидропривода на ЭВМ // Автоматизация расчетов строительных и дорожных машин. – М.: ВНИИстройдормаш, 1977. – № 75. – С. 14-29.

3. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 302 с.

4. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.

5. Щербаков В.С., Бирюков С.Т. Математическое описание гидроприводов как многомерных динамических объектов // Управляемые механические системы: Сб. науч. тр. – Иркутск: ИПИ, 1985. – С. 64-70.

ЩЕРБАКОВ Виталий Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация производственных процессов и электротехника», декан ТТМ Сибирской автомобильно-дорожной академии.

МИНИТАЕВА Алина Мажитовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информационные системы» Омского государственного технического университета.

Статья поступила в редакцию 04.12.06 г.

© Щербаков В. С., Минитаева А. М.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.9.048

Д. Н. КОРОТАЕВ
Ю. К. МАШКОВ

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬЮ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ

В настоящей работе приведены результаты исследований по управлению процессом электроискрового модифицирования путем создания оптимальных технологических условий обработки. Проанализирован процесс электроискрового легирования на базе функциональной модели IDEF0. Показано влияние газовой среды и материалов электродов на эксплуатационные свойства поверхностей трения.

В настоящее время наука и техника располагают значительным числом методов поверхностного упрочнения и модифицирования материалов, каждый из которых имеет свои оптимальные области применения. К их числу относится и метод электроискрового легирования (ЭИЛ), достоинством которого является высокая прочность сцепления легированного слоя и материала основы, возможность нанесения на упрочняемую поверхность любых токопроводящих материалов, в том числе тугоплавких металлов и соединений, низкая энергоемкость процесса, простота выполнения технологической операции [1].

Несмотря на неоспоримые достоинства ЭИЛ, широкое использование этого способа в машино-

строении сдерживается отсутствием справочных данных по оптимизации режимов упрочнения, выбору электродного материала, выбору межэлектродной среды и определения условий рациональной эксплуатации упрочненных поверхностей.

В настоящей работе проведен анализ степени управляемости процесса ЭИЛ с использованием методики функционального моделирования в нотации IDEF0 [2]. Графическая функциональная IDEF0-модель представляет собой многоуровневую иерархическую структуру функций от ТОР-диаграммы к диаграммам ее декомпозиции (рис. 1, 2). Эта структура пронизана сетью разнохарактерных связей (стрелок) между составляющими ее функциями, в



Рис. 1. Функциональная модель ЭИЛ (TOP-диаграмма)

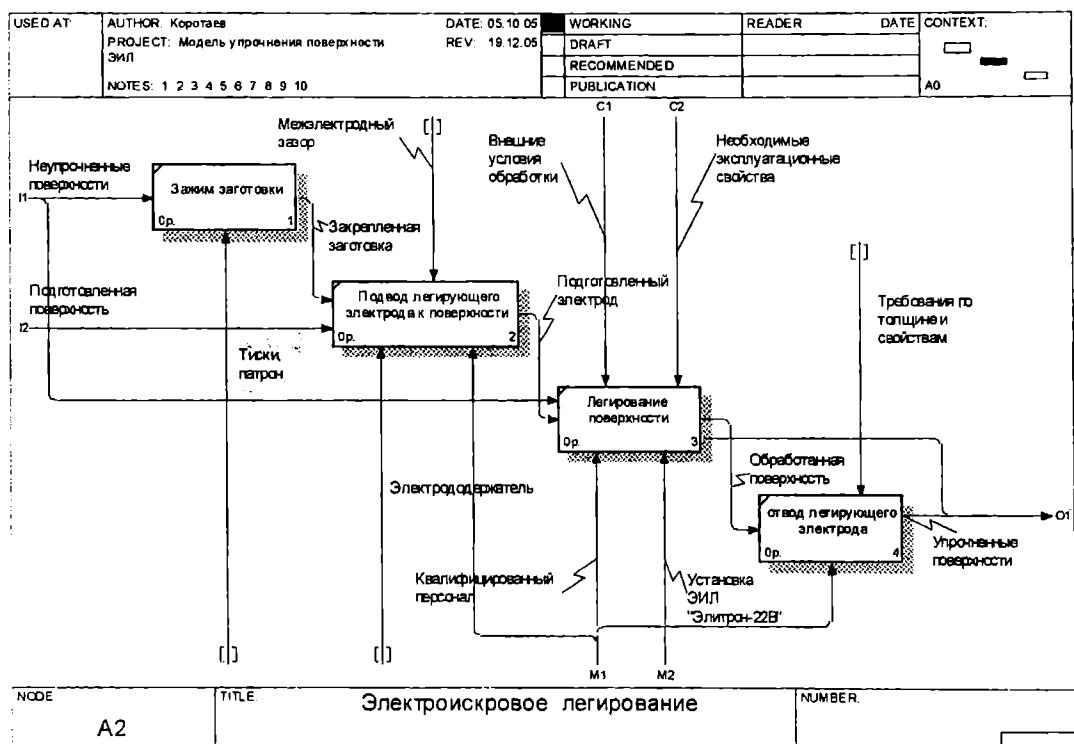


Рис. 2. Электроискровое легирование (диаграмма декомпозиции А2)

том числе обратными связями, а также между функциями системы и средой. Каждая функция (прямоугольный бокс) должна иметь стрелку входа INPUT (в функцию – слева), выхода OUTPUT (из функций – справа), управления CONTROL (функциями – сверху) и механизма MECHANISM (осуществления функций – снизу).

В соответствии с результатами анализа приведены экспериментальные результаты по управлению процессом электроискрового легирования с помощью технологических условий обработки, в том

числе влияние газовой среды и материалов электродов на эксплуатационные свойства поверхностей трения.

Методика и материалы

Метод электроискрового легирования основан на полярном переносе материала анода на катод (деталь) под действием электрического разряда [3].

Исследовались образцы из стали Р6М5, упрочненные электродами из ВК6М, Р6М5 и Т15К6 при раз-

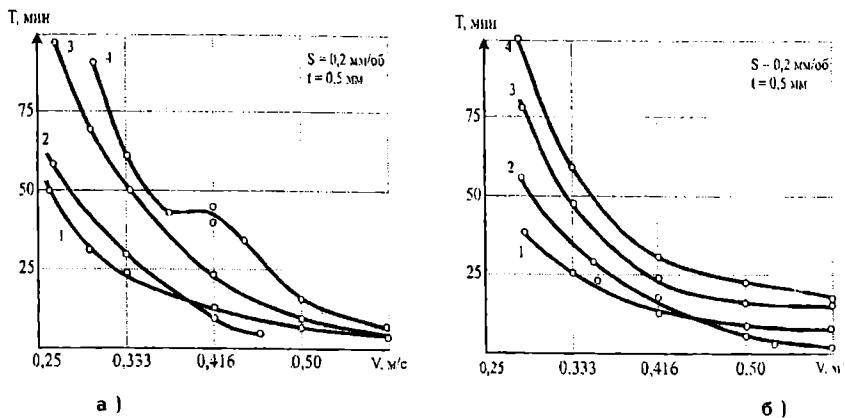


Рис. 3. Влияние скорости резания на стойкость резцов из P9K5 (а), P6M5(б) при точении стали 30ХНМФА(а), 12Х18Н10Т (б):
1 – обычный инструмент; 2 – электрод Р6М5; 3 – электрод ВК6М; 4 – электрод Т15К6

личных режимах легирования на установке «Эллитрон – 22В», в различных газовых средах.

Испытания на износостойкость (стойкость) проводились методом продольного и торцевого точения заготовок из стали 40Х, стали 12Х18Н10Т и сложнолегированного сплава 30ХНМФА на режимах чистового и получистового резания всухую. При этом упрочнению подвергались резцы из быстрорежущих сталей Р6М5, Р9К5 с геометрическими параметрами $\phi = \phi_1 = 45^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\gamma = l = 0^\circ$. Принятый критерий стойкости – продолжительность резания до получения фаски износа по задней поверхности $\eta = 0,8$ мм.

Результаты и обсуждение

Анализ функциональной модели (рис. 1, 2) позволил выявить следующее. Весь процесс обработки поверхности электроискровым легированием состоит из четырех этапов:

- закрепление обрабатываемой заготовки;
- подвод легирующего электрода к поверхности, которую необходимо упрочнить ЭИЛ;
- легирование (обработка) поверхности;
- отвод легирующего электрода после окончания обработки.

Согласно стандарту IDEF0 наиболее значимой функцией является та, которая обладает наибольшим количеством внутридиаграммных связей (стрелок). В нашем случае это функция «Легирование поверхности». Она имеет две стрелки входа (I1 и I2), стрелку выхода (O1), две стрелки механизма осуществления данной функции (M1 и M2) и два канала управления (C1 и C2). Рассмотрим возможности управления процессом ЭИЛ, формированием различных условий обработки (газовой среды и электродного материала) с целью повышения износостойкости поверхностных слоев на примере режущего инструмента.

Изнашивание твердых тел представляет сложную комбинацию различных механизмов адаптации и разрушения, поэтому рассмотрение крайних низкотемпературных вариантов потери работоспособности инструмента облегчает анализ процессов, за счет которых реализуется сопротивляемость контактной структуры внешним воздействиям. Учитывая изложенное, исследование износостойкости (стойкости) инструмента, упрочненного электроискровым легированием, осуществлялось путем испытаний в условиях резания на режимах с превалирующим адгезионным износом, а также в условиях разрушения в области температуры красной стойкости.

На рис. 3 представлены графики зависимости стойкости быстрорежущих резцов из Р9К6 и Р6М5, упрочненных ЭИЛ различными материалами, оцениваемой продолжительностью резания до критерия затупления. Из полученных графиков следует, что упрочнение быстрорежущим электродом Р6М5 дало минимальный эффект повышения стойкости (~ 50 %), который проявляется лишь на малых скоростях резания до 0,5 м/с. С повышением скорости резания стойкость упрочненного инструмента снижается и на скоростях выше 0,4...0,5 м/с принимает значения меньше исходной. Модифицирование твердосплавным электродом обеспечило стабильное повышение стойкости во всем рассмотренном диапазоне режимов резания, при этом с повышением скорости резания относительное увеличение стойкости возрастает. Большой эффект повышения износостойкости показало модифицирование твердым сплавом Т15К6 по сравнению с ВК6М, особенно в области скоростей резания 0,4...0,45 м/с, где кривая износа принимает слабый горбообразный характер. Представленные результаты позволяют заключить, что упрочнение твердосплавными электродами является более эффективным по сравнению с легированными сплавами. Полученные результаты согласуются с представлениями о том, что с повышением твердости материала анода упрочнение поверхности катода возрастает [3].

Влияние состава газовой межэлектродной среды на стойкость резца из Р6М5, подвергнутого электроискровому модифицированию материалами ВК6М (а) и Р6М5 (б), показано на рис. 4. Модифицирование с использованием различных газовых сред показало, что по степени эффективности, независимо от материала анода, газовые среды располагаются в следующем порядке. Наибольшее повышение стойкости инструмента достигается при модифицировании в кислороде, затем в воздухе, азоте и в углекислом газе. При точении стали 12Х18Н10Т различие последних трех газовых сред проявляется четко на скоростях резания, не превышающих $V \approx 0,45$ м/с, при обработке же стали 40Х различие в стойкости инструмента проявляется только до $V \approx 0,7$ м/с. С повышением скорости резания износостойкость контактной поверхности, сформированной в углекислом газе, возрастает, принимая наибольшее значение по сравнению с остальными вариантами упрочнения ($T \approx 25$ мин), а эффективность кислородной среды падает до исходного состояния ($T = 10 - 15$ мин). В аргоне получено минимальное повышение стойкости при легировании материалом ВК6М, а при обработке Р6М5 одинаковым электродом получен отрицательный эффект.

Выполненные исследования убедительно показали, что межэлектродная среда является активной компонентой процесса электроискрового легирования, правильный выбор которой может обеспечивать более чем двукратное повышение стойкости (например, применение кислорода) режущего инструмента.

Выводы

1. Установлены пути повышения эффективности электроискрового легирования путем целенаправленного выбора материала обрабатывающего электрода и газовой межэлектродной среды.

2. Экспериментальными исследованиями показано, что, изменяя состав газовой среды при электроискровом легировании, можно в широком диапазоне управлять износостойкостью режущего инструмента. При этом установлено, что материалы, упрочненные в среде углекислого газа и в среде азота, характеризуются лучшей износостойкостью на высоких скоростях резания, а поверхности, образованные в среде воздуха и кислорода, — на низких.

3. Результаты исследований рекомендуется использовать на машиностроительных предприятиях, применяющих обработку резанием, а также в ремон-

те для восстановления и упрочнения изнашивающихся поверхностей трения.

Библиографический список

1. Машков Ю.К., Полещенко К.Н., Поворознюк С.Н., Орлов П.В. Трение и модификация материалов трибосистем. — М.: Наука, 2000. — 280 с.
2. Р 50.1.028 — 2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования.
3. Верхутов А.Д. Формирование поверхностного слоя металлов при электроискровом легировании. — Владивосток: Дальнаука, 1995. — 323 с.
4. В.А. Ким, Д.Н. Коротаев. Газовая среда — фактор упрочнения при электроискровом легировании // Электронная обработка материалов. Кишинев. — 1998. — С. 37-43.

КОРОТАЕВ Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры физики.

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

Статья поступила в редакцию 28.04.06 г.

© Коротаев Д. Н., Машков Ю. К.

УДК 669.046:621.762

**В. В. АКИМОВ
М. В. АКИМОВ
С. Н. КУЛЬКОВ**

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия,
г. Омск

Институт физики прочности
и материаловедения СО РАН,
г. Томск

ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ TiC-TiNi С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФРАКТОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проанализирован на основе фрактографических исследований характер разрушения твердых сплавов на основе карбида титана со структурно-неустойчивой связующей матрицей TiNi.

В машиностроении широко применяются инструментальные композиционные материалы на основе неметаллических тугоплавких соединений. Сочетание высокой механической прочности и твердости, износостойкости, теплопемкости с достаточно низкими плотностью и стабильностью свойств в широком интервале температур позволяет использовать композиционные материалы в узлах деталей, подвергающихся статическому и динамическому нагружению при достаточно высоких температурах. Однако известно, что при температурах до 1000 °C безвольфрамовые твердые сплавы имеют хрупкий характер разрушения и невысокие значения вязкости разрушения [1].

Механизм разрушения твердых сплавов определяется особенностями их структуры, химическим составом, начальными очагами разрушения в виде пор и поровых каналов, несплошностями в межчастичных исходных границах и режимами спекания. В зависимости от соотношения пределов прочности металла матрицы, границ зерен, межчастичных границ, а также предела текучести материала в основном наблюдается три типа разрушения: внутризеренное, межзеренное и межчастичное. Эти типы разрушений могут протекать как по хрупкому, так и по вязко-пластическому механизмам.

Исследование характера разрушения сплавов TiC-TiNi определило роль связующей фазы и вли-

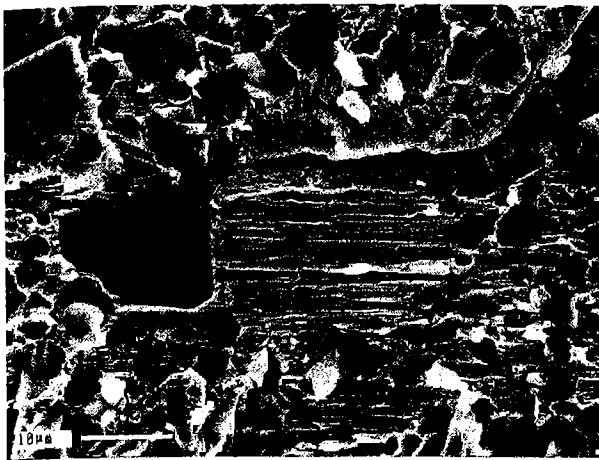


Рис. 1. Разрушение твёрдого сплава (50 TiC - 48 TiNi- 2B) об% при ударе X 4000

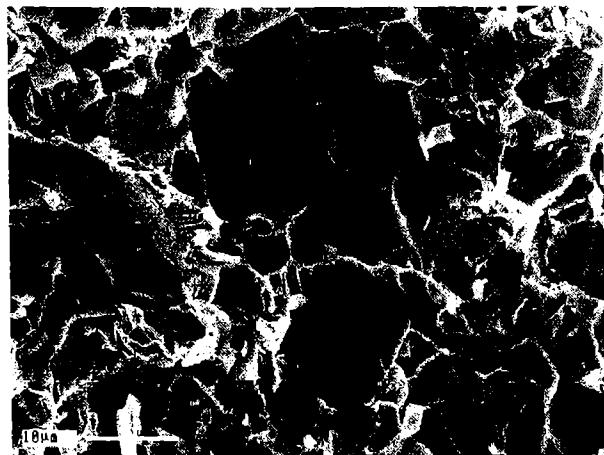


Рис. 2. Разрушение твёрдого сплава (50TiC-50TiNi) об% при ударе X 4000

яние небольших добавок на повышение стойкости материала при его разрушении. Фрактографические исследования показали, что в сплавах (60 TiC-40 TiNi) об %, (50 TiC-50 TiNi) об %, (50 TiC-48 TiNi-2B) об % существует разброс зерен по размеру в интервале от (3...8) мкм. Добавки бора в небольшом количестве, по нашему мнению, способствуют благоприятному взаимодействию интерметаллида с тугоплавким соединением, уменьшая размеры карбидных зерен, улучшая физико-механические характеристики композиционного материала [2].

На изменение характера разрушения твердых композиционных материалов оказывают влияние количество и толщина слоя связующей фазы, взаимодействие связующей фазы с карбидным зерном, размер карбидных зерен, наличие хрупкой фазы $TiNi_3$, образующейся в результате объединения по титану фазы $TiNi$ [3].

Введение в состав шихты до 8-10 об % свободного титана (Ti) подавляет процесс образования хрупкой фазы $TiNi_3$ и сдерживает рост карбидных зерен, что приводит к улучшению физико-механических свойств [4].

В твердых сплавах состава (50 TiC-48 TiNi-2B) об % с однородной мелкозернистой структурой с округлыми или призматическими зернами с размерами (3..6) мкм разрушение при нагрузке чаще происходит по связующей фазе и карбидным зернам, имея ручьистый узор (рис.1). Предел прочности на изгиб у такого твердого сплава достигает максимального значения до 1700 МПа.

В сплаве состава (50 TiC-50 TiNi) об % с достаточно высоким пределом прочности на изгиб 1500 МПа разрушение преимущественно происходит по границам карбид – связующая металлическая матрица с ручьистым узором (рис. 2). Наличие в данном сплаве хрупкой фазы $TiNi_3$ ухудшает незначительно прочностные характеристики и вязкость разрушения сплава. Из рис. 3 видно, что с увеличением концентрации связующей фазы $TiNi$ предел прочности на изгиб уменьшается, а вязкость разрушения в твердосплавных композиционных материалах (ТСКМ) возрастает.

Сплавы с содержанием карбида титана (более 60 об %) разрушаются хрупко, преимущественно по сросткам карбидных частиц или по карбидным частицам с характерными ямками отрыва (рис. 4).

Микрорентгеноспектральный анализ данных ТСКМ показал, что в данных материалах кроме со-

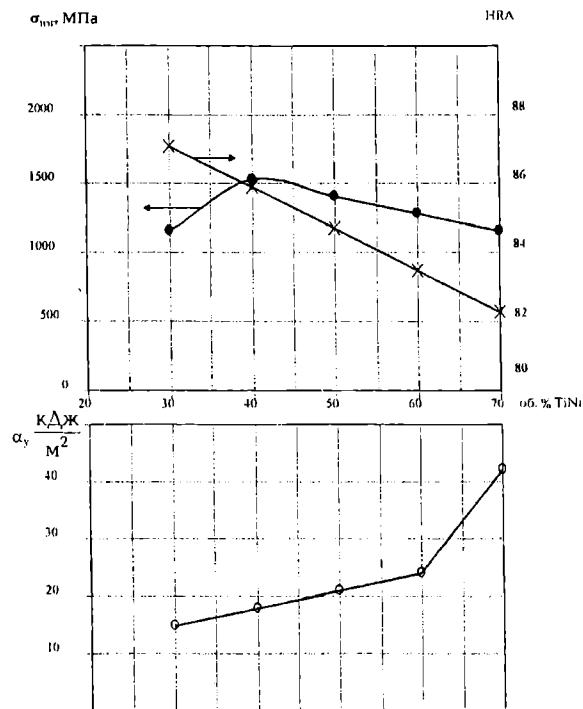


Рис. 3. Изменение предела прочности на изгиб Гизг, твёрдости HRA, вязкости разрушения α_y композиционных материалов от концентрации связующей фазы TiNi

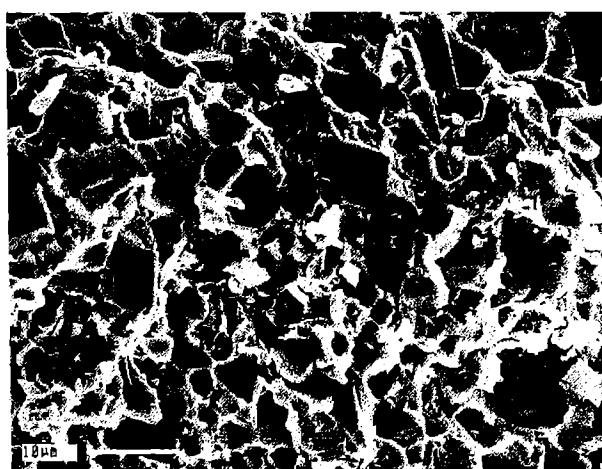


Рис. 4. Разрушение твёрдого сплава (60TiC-40 TiNi) об% при ударе X 4000

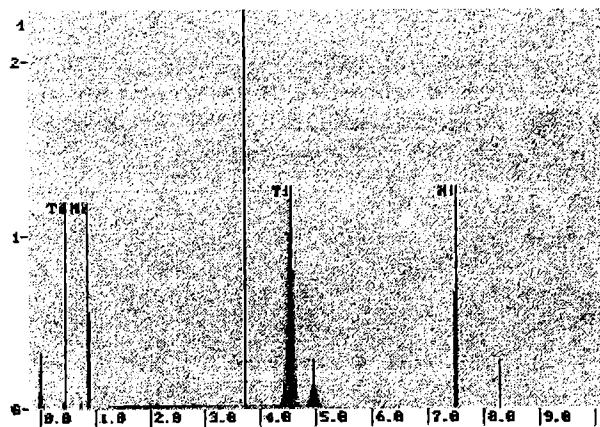


Рис. 5. Микрорентгеноспектральный анализ сплава (50TiC-50TiNi) об%

держания Ti и Ni никаких других примесей не существует (рис. 5).

Таким образом, экспериментальные исследования разрушения твердых сплавов на основе карбида титана со связующей матрицей TiNi показывают, что характер разрушения твердых сплавов зависит от содержания металлической связующей матрицы, от размеров карбидного зерна, а также от введения небольшого количества бора и титана в состав сплавов.

Библиографический список

1. Чичварина С.И., Чернышев В.В., Гончар Л.Ю. — В кн: Твердые сплавы и инструмент / Под ред. Н.А. Кудри. — М.: Металлургия, 1986. — С. 103–112.
2. Акимов В.В. Характер износа поверхности композиционных материалов карбид-никелида титана с добавками бора и титана при резании мерзлого грунта. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2005. — № 4. — С. 35–37.
3. Акимов В.В. Механизм жидкофазного спекания твердосплавных композитов TiC-TiNi. // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. — 2006. — № 6. — С. 33–35.
4. Акимов В.В., Иванов Н.А. Применение ультразвукового резонансного метода для определения упругих и пластических характеристик сплавов TiC-TiNi. // Прикладная механика и техническая физика. — 2002. — Т. 43. — С. 203–207.

АКИМОВ Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры КМиСТ Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.

АКИМОВ Марк Валерьевич, инженер-механик автомобильного транспорта, соискатель.

КУЛЬКОВ Сергей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор ИФПиМ г. Томска.

Статья поступила в редакцию 13.09.06 г.

© Акимов В. В., Акимов М. В., Кульков С. Н.

УДК 678.742.2:62-65

И. В. МОЗГОВОЙ
А. Г. НЕЛИН
Г. М. ДАВИДАН
Е. И. МОЗГОВОЙ
О. И. МОЗГОВОЙ

Омский государственный
 технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА ПОЛИЭТИЛЕН

Представлены результаты исследований влияния на прочностные показатели и долговечность полимерного материала различных энергетических полей — тепла, ультразвука и их комбинаций. Установлено, что тепловое воздействие на полиэтилен при температурах плавления и выше отрицательно влияет на прочность материала и его долговечность, что объясняется возникновением деструкционных процессов. Наиудобные результаты получаются, если тепловое воздействие сопровождается окислительными процессами. При воздействии на полимерный материал тепла без доступа кислорода и при температурах, соизмеримых с температурами плавления, отрицательное воздействие минимально, поэтому часто комбинируют различные источники энергии.

Полимерные материалы находят все более широкое применение в различных областях промышленности и в быту. Это обусловлено их высокой химической стойкостью, низкой плотностью, относительно высокой механической прочностью. Эти свойства дают возможность применять полимерные материалы в химической, машиностроительной, автомобильной и других отраслях промышленности. Более

48 % выпускаемых изделий из пластмасс получают путем соединения отдельных элементов методами теплового воздействия и комбинированных источников энергии.

Среди термопластичных полимерных материалов, характеризуемых способностью при нагреве переходить в вязкотекучее и далее в жидкотекучее состояние, по масштабам производства и многообра-

Таблица 1

Физико-механические свойства полиолефинов

Показатели	ПЭНП	ПЭВП	ПП	СЭП
Предел прочности при растяжении, σ , МПа	12...15	22...45	24...35	20...25
Относительное удлинение при растяжении, δ , %	150...600	200...900	250...700	200...800
Предел текучести, σ_t , МПа	8...12	18...32	18...26	15...20
Плотность, ρ , кг/м ³	920...930	930...950	900...920	930...950
Модуль упругости при изгибе, E , МПа	110...120	230...450	120...360	110...230
Температура плавления, °С	108...120	125...137	157...164	120...170
Температура хрупкости, t_{sp} , °С	≤ -70	≤ -70	≤ -80	≤ -70
Твердость по Шору	45...55	63...74	60...70	50...60
Теплостойкость по Вике, °С	60...70	80...100	125...150	80...120

нию областей применения ведущее место занимают полиолефины. В эту группу входят полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) и высокой (ПЭВП) плотности, полипропилен (ПП), сополимер полизобутилен (СЭП) и др. По темпам роста объема производства эти материалы превосходят все другие полимерные материалы, и в настоящее время в мировом производстве полиэтилен занимает первое место, а полипропилен – четвертое.

Широкое применение полиэтилена, полипропиlena и их сополимеров объясняется их высокой химической стойкостью в большинстве агрессивных сред и высокой механической прочностью при повышенных температурах. Диапазон рабочих температур ПЭ, ПП и их сополимеров очень широк: от -60 °С до +80 °С для ПЭ и от -80 °С до +140 °С для ПП. Благодаря низкой плотности этих термопластов (900 = 950 кг/м³) по сравнению с металлами и их сплавами, значительно снижается масса изготавляемых из них изделий, что имеет решающее значение во многих областях применения, позволяя облегчить конструкции и увеличить полезную нагрузку на них.

С целью получения информации для дальнейших исследований в таблице 1 приведены некоторые свойства пластмасс из группы полиолефинов.

Материалы из группы полиолефинов (табл. 1) имеют сравнительно невысокие модули упругости при растяжении и при изгибе ($E < 5 \cdot 10^3$ МПа), низкий предел текучести ($\sigma_t < 30$ МПа) и высокое относительное удлинение ($\delta = 150...700$ %). Поэтому их относят к группе мягких пластмасс [1].

В последние годы из пластмасс на основе полиолефинов начали изготавливать и широко применять ответственные изделия, которые в процессе эксплуатации подвергаются различным внешним воздействиям в течение длительного времени, т. е. всего срока их службы. Основными воздействиями являются температурные перепады, циклические механические воздействия, в т. ч. и знакопеременные, воздействия атмосферной среды: влага, ветер, солнце, низкие и высокие температуры, агрессивные среды и др.

К основным изделиям из полиолефинов относятся: в автопроме корпусные изделия – корпуса топливных и аккумуляторных баков, сопла, воздухо- и масляные фильтры; в машиностроении – корпуса редукторов, колеса вентиляторов и насосов и др.; в сельском хозяйстве – покрытия пленочных теплиц,

покрытия русел каналов для предотвращения фильтрации воды, пленочные покрытия гелиообъектов; в медицине – для создания различных конструкций; в авиа- и космической технике, в производстве различных упаковок, емкостей, детских жестких и мягких игрушек, посуды и т. д.

При изготовлении перечисленных изделий и большого количества неназванных, как правило, применяются различные виды энергии: тепловая, ток высокой частоты, ультразвуковая, листовая, механическая, ядерная и др. На базе этих видов энергии разработано большое количество способов и методов производства изделий. Например, различные виды литья, тепловая формовка, тепловое прессование, экструзия и шприцевание, сварка и т. д. Все названные способы и методы переработки пластмасс в изделия имеют широкое распространение, и при всех полимерных материалах в процессе изготовления из них изделий подвергаются существенному термическому воздействию до температур плавления, а часто и значительно больших. Особого внимания заслуживает метод получения пластмассовых изделий путем сварки. Различных способов сварки пластмасс существует более тысячи, и все они обеспечивают создание неразъемных соединений доведением материала в зоне шва до вязкотекучего или жидкого состояния для обеспечения коалесценции и необходимой полноты диффузионных и реологических процессов.

Отличительной особенностью полимеров, даже тех, которые наполнены различными стабилизаторами, антистарителями и антиокислителями, является их склонность к старению, то есть необратимому изменению механических и химических свойств материала в процессе эксплуатации под воздействием перечисленных выше факторов. Поэтому изучение влияния на эксплуатационные свойства пластмасс, подвергшихся тепловому или иному воздействию в процессе их переработки в изделия, является крайне важным.

Сварка пластмасс является наиболее распространенным технологическим процессом, в котором применяются: сварка газом-теплоносителем, нагретым элементом, экструдированной присадкой, ИК-излучением, трением, ультразвуком.

В таблице 2 приведены данные, характеризующие способы переработки пластмасс в изделия с точки зрения теплового воздействия энергетических полей, уровня этого воздействия и его влияния на

Таблица 2

Влияние способов переработки пластмасс в изделия на прочность шва

Способ переработки пластмасс	Температура в зоне воздействия, °C	Превышение над температурой плавления, °C	Относительная прочность материала шва, % к основному материалу
Литье	140...150	40...50	98...100
Тепловое формование	90...100	Превышения нет	100
Экструзия	90...100	Превышения нет	100
Сварка с газом-теплоносителем	220...255	110...145	60...90
Сварка нагретым элементом	200...220	108...118	80...98
Сварка экструдированной присадкой	210...260	108...150	60...90
Сварка ИК-излучением	180...200	78...98	75...85
Сварка трением	120...130	12...20	90...100
Сварка ультразвуком	140...180	38...70	90...100

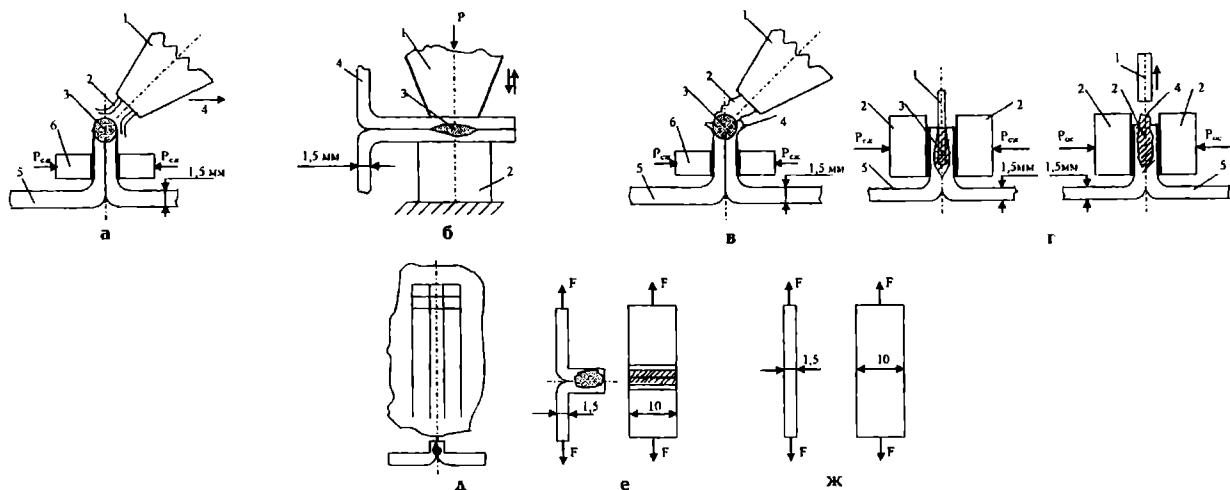


Рис. 1:

- а – схема сварки газом-теплоносителем: 1 – сопло горелки; 2 – нагретый газ-теплоноситель; 3 – зона расплавленного полимера (шов); 4 – направление сварки; 5 – соединяемые образцы; 6 – зажимные губки;
- б – схема ультразвуковой сварки: 1 – ультразвуковой сварочный инструмент; 2 – резонирующая опора; 3 – зона нагрева материала ультразвуковыми колебаниями; 4 – соединяемые образцы;
- в – схема сварки экструдированной присадкой: 1 – мундштук экструдера; 2 – экструдируемый полистилен; 3 – зона экструдируемого материала, уложенного в шов; 4 – оплавленная зона соединяемого материала; 5 – образцы полистирила; 6 – зажимные губки;
- г – схема сварки нагретым элементом с нагревом соединяемых поверхностей: 1 – нагретый элемент (теплоноситель); 2 – зажимные губки; 3 – зона нагрева полимерного материала; 4 – расплавленный материал, вытесненный из зоны шва; 5 – соединяемые образцы полистирила;
- д – часть изделия из ПЭНП (соединенные листы), помещаемого в АИП-1 для искусственного ускоренного старения;
- е – схема испытания на прочность на растяжение зоны материала (шва), подвергшегося тепловому воздействию;
- ж – схема испытания на прочность на растяжение исходного полистирила

прочностные показатели полимерного материала в зоне воздействия.

Из данных табл.2 следует, что прочность полимерного материала, подвергшегося тепловому воздействию, коррелирует с уровнем воздействия. В частности, чем выше температура нагрева, тем ниже прочность полимерного материала. Например, при сварке газом-теплоносителем прочность материала может снижаться до 60 % прочности исходного полимера. В то же время такие процессы, как литье, тепловое формование, экструзия, при которых температура воздействия лишь незначительно превышает температуру плавления полимера или даже ниже ее, прочность материала равна исходной. Следует также констатировать, что энергетические поля ряда способов переработки пластмасс в изделия крайне неравномерны. К ним относятся сварка газом-теп-

лоносителем, ИК-излучением, ультразвуком, что, вероятно, также отрицательно влияет на прочностные показатели.

В связи с тем, что многие изделия из полимеров находятся в работе длительное время, важно, чтобы материалы в зоне соединения сохраняли прочностные показатели на уровне, удовлетворяющем эксплуатационным требованиям. С этой точки зрения показательными являются испытания материала соединения в течение длительного эксплуатационного периода.

Проводились испытания на прочность полимерного материала зоны соединения (зоны теплового нагрева), подвергающегося в течение длительного воздействия в установке искусственной погоды (АИП-1) имитационному воздействию различных климатических факторов – температурным пе-

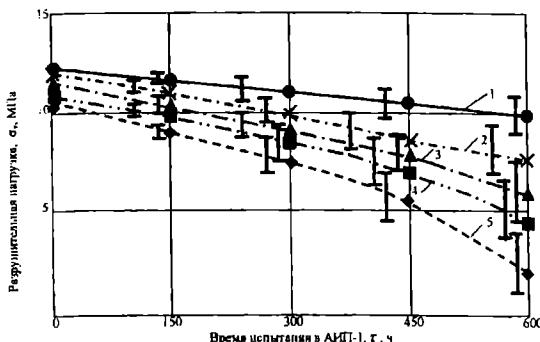


Рис. 2. Зависимость прочности материала ПЭНП от способа теплового воздействия и времени испытания:
1 – исходный ПЭНП; 2 – сварка ультразвуком;
3 – сварка экструдированной присадкой; 4 – сварка нагретым элементом; 5 – сварка газом-теплоносителем

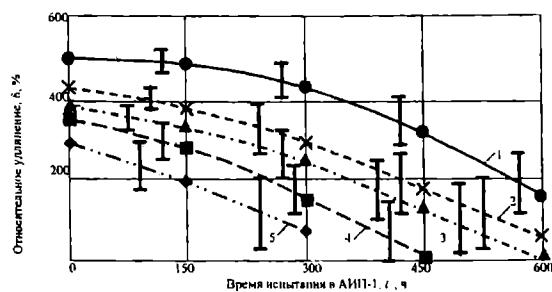


Рис. 3. Зависимость относительного удлинения материала ПЭНП от способа теплового воздействия и времени испытания:
1 – исходный ПЭНП; 2 – сварка ультразвуком; 3 – сварка экструдированной присадкой; 4 – сварка нагретым элементом; 5 – сварка газом-теплоносителем

Влияние длительности старения и способа термообработки (сварки) полиэтилена на его прочность

Способ термообработки (сварки) полиэтилена	Прочность, σ, МПа				
	перед испытанием	150 ч старения	300 ч старения	450 ч старения	600 ч старения
Исходный материал	112...125	119...123	111...119	102...112	93...102
Ультразвук	118...123	115...120	103...116	82...93	75...80
Экструдированная присадка	116...122	110...117	98...109	69...87	58...75
Нагретый элемент	107...118	100...106	82...94	63...83	36...65
Газ-теплоноситель	102...116	69...98	53...67	49...52	17...43

Влияние длительности старения и способа термообработки (сварки) полиэтилена на его относительное удлинение

Способ термообработки (сварки) полиэтилена	Относительное удлинение, δ, %				
	перед испытанием	150 ч старения	300 ч старения	450 ч старения	600 ч старения
Исходный материал	480...535	420...490	390...450	280...380	140...220
Ультразвук	380...410	340...400	210...340	120...180	20...110
Экструдированная присадка	290...390	280...350	210...320	110...220	0...95
Нагретый элемент	260...350	200...320	90...210	0...0	0...0
Газ-теплоноситель	210...320	180...290	70...200	0...0	0...0

репадам, влаги, ультрафиолетовому облучению и др. Испытаниям подвергались образцы изделий (участки соединений), выполненных на полиэтиленовой пленке (ПЭНП) различными способами теплового воздействия (различными способами сварки). Изделиями были сварные полотна из ПЭНП толщиной 1,5 мм, сваренные газом-теплоносителем, нагретым элементом, ультразвуком, экструдированной присадкой, и основной исходный материал.

На рис. 1 представлены схемы теплового воздействия (схемы различных способов сварки), из которых следует, что при способах сварки газом-теплоносителем и нагретым элементом происходит прямое воздействие на материал теплоносителей, нагретых значительно выше температуры плавления соединяемого материала, и в зоне нагрева присутствует воздух (агрессивная среда). При сварке ультразвуком зона нагрева закрыта, тепло генерируется в среде ПЭ в результате преобразования высокочастотной механической энергии в тепловую. При сварке экструдированной присадкой появляется возможность достаточно строго регламентировать заданные режимы нагрева струи полимера, выходя-

щего из мундштука экструдера, не допуская большого перегрева и длительного контактирования нагретого материала с воздухом.

Получали соединения листов полиэтилена с протяженностью швов до двух-трех метров. Из различных участков швов вырезали большие образцы (рис. 1д) длиной 30–50 см (до 10 образцов) и помещали в АИП-1, строго соблюдая режим испытаний, предписанный инструкцией АИП-1. Для сравнения в АИП-1 помещали и большие образцы исходного ПЭНП. После каждого контрольного времени (150, 300, 450 и 600 часов) из больших образцов вырезались в различных местах шва малые образцы (рис. 1е и 1ж) для выполнения прочностных испытаний на разрывной машине.

На рисунках 2 и 3 представлены зависимости прочности и относительного удлинения материала зоны соединения от способа теплового воздействия (сварки) и длительности ускоренного искусственно-го старения. Каждая точка на кривых является среднеарифметическим значением 4-х измерений.

Анализируя приведенные на рис. 2 и 3 зависимости, а также цифровые данные таблиц 3 и 4, можно

констатировать, что более интенсивно процессам старения, а отсюда и снижению прочности, подвержен тот полимерный материал, на который воздействовали теплом с повышенной температурой. Это способы с применением газа-теплоносителя, нагретого элемента и в меньшей мере экструдированной присадки. Исходный материал ПЭНП, вообще не подвергшийся тепловым нагрузкам, выступал в роли своеобразного эталона и за 600 часов старения снизил прочность только на 16–17 %. Материал шва, обработанный ультразвуком, снизил прочность на 28–33 %, экструдированной присадкой — на 40–50 %, нагретым элементом — на 40–67 %, газом-теплоносителем — на 60–84 %.

Анализ результатов испытаний, представленных на рис. 3 и в табл. 4, показал, что материал ПЭНП, подвергшийся тепловым нагрузкам (сварке), существенно чувствительнее к их действию по показателю «относительное удлинение», чем по показателю «прочность на растяжение». Значения относительного удлинения резко изменяются уже после тепловой обработки, т. е. после сварки до испытания в АИП-1, в частности, показатель удлинения изменяется после ультразвукового воздействия на 20,5–23 % в сторону уменьшения относительно исходного ПЭНП, после обработки экструдированной присадкой — на 21–40 %, после нагретого элемента — на 33,5–45,8 %, после газа-теплоносителя — на 40–56 %. Таким образом, имеет место явно выраженная корреляция показателя удлинения и режимов теплового воздействия на ПЭНП. При обработке газом-теплоносителем уже после 300 часов старения удлинение образцов при их растяжении практически не наблюдается, а при воздействии нагретым элементом нулевые показатели удлинения наблюдались при 450 часах старения. Даже при обработке экструдированной присадкой нулевые показатели удлинения возникают при старении 600 часов.

Обратили на себя внимание показатели разброса данных прочностных испытаний. Следует отметить, что одним из недостатков полимерных материалов является существенный по сравнению с металлами разброс различных показаний прочности [2, 3, 4]. В наших опытах также наблюдается значительный разброс данных при испытаниях на прочность при растяжении и особенно на относительное удлинение (рис. 2 и 3 и табл. 3 и 4).

В наших опытах по тепловому воздействию на полимерный материал использовались конкретные режимы существующих и широко используемых технологических процессов, в частности, сварочных процессов. При таких процессах, как правило, подбираются оптимальные режимы теплового воздействия, при которых достигаются оптимальные значения прочности швов, производительности и экономических показателей.

Все изделия из полимерных материалов можно условно разделить на изделия с длительным сроком эксплуатации и кратковременным, т. е. разового использования. К изделиям длительного срока эксплуатации относятся пластмассовые детали автомобильной, авиационной, машиностроительной, химической промышленности, а также изделия, используемые в сельском хозяйстве, медицине и т. д. К изделиям с кратковременной эксплуатацией относятся различные упаковки разового действия, детские игрушки, сезонные пленочные конструкции и др.

Исходя из назначения пластмассовых изделий создаются технологии их сварки и технологии их производства. При производстве ответственных кон-

струкций требуется, как правило, получать такие соединения, срок эксплуатации которых соизмерим со сроком функционирования всего изделия, то есть материал зоны соединения не должен отличаться по своим физическим, механическим и химическим свойствам от исходного материала. Из данных, приведенных в табл. 3 и 4 и рис. 2 и 3, следует, что наиболее приближенные к этим требованиям результаты позволяет получать ультразвуковая сварка.

Анализировали характер теплового воздействия на полимерный материал различных источников тепла (различных способов сварки). Как это было показано ранее (табл. 2), при тепловых способах сварки температура нагрева полимерного материала в зоне соединения существенно превышает температуру плавления полимера (на 70–120 °C). Такой нагрев неизбежно сопровождается деструкцией высокомолекулярного органического вещества, что подтверждается в работах [9, 10, 11]. При контактной сварке нагретым элементом для получения максимальной прочности сварного соединения температура нагревателя для большинства термопластов должна быть близкой [12], а иногда равной или даже выше температуры разложения термопласта, т. к. только в этом случае обеспечивается технологически необходимый прогрев соединяемых кромок на достаточную глубину. После удаления нагревателя (рис. 1 г) на поверхностях деталей, подлежащих соединению, будут находиться слои перегретого материала, в котором частично прошли процессы деструкции.

С целью исключения попадания деструктированного высокомолекулярного соединения в сварной шов на практике пользуются различными приемами. Например, применяют метод отрыва пленки, при котором соединяемые кромки (сварка встык труб и других изделий) прогревают дольше, чем требуется, что вызывает термодеструкцию и окисление слоя в контакте с инструментом. Этот контактируемый слой быстро теряет вязкость и при удалении инструмента остается на нем благодаря адгезии, и обнажаются слои, не подвергшиеся деструкции. При осуществлении процесса сварки с отрывом пленки рекомендуются различные тепловые режимы работы нагревателя. Среди них — нагрев до максимально допустимой для данного термопласта температуры или нагрев до нормальной температуры с последующим ее резким повышением, обеспечивающим получение слоя, претерпевшего термоокислительную деструкцию. При последующей осадке после отрыва пленки выбирают такие параметры процесса осадки, которые обеспечивали бы удаление из зоны контакта воздушной прослойки, а также материала, частично подвергшегося термоокислительной деструкции.

При сварке нагретым газом перегрев и деструкция материала соединяемых кромок, а также и присадочного прутка, если он применяется, возникают из-за повышенной температуры (табл. 2) газа, выходящего из сопел горелки и содержащего большое количество кислорода. Необходимость повышения температуры газа (эта температура во многих случаях близка к температуре разложения материала термопласта) диктуется также технологическими требованиями, т. к. только при таких условиях можно прогреть соединяемые кромки до требуемой для сварки температуры. При получении соединений нагретым газом с использованием присадочного прутка, который нагревают до температуры высокозластичного состояния и вдавливают в зону соединения (в разделку кромок). В этом случае перегрева-

ются и соединяемые кромки, и пруток диаметром 4–10 мм и более, т. к. при прогреве прутка по всей толщине до высокоэластичного состояния поверхностные слои перегреваются и деструктируют. С целью устранения этих недостатков применяют способы сварки экструдированной присадкой. При этом расплавленный присадочный материал, поступающий из экструдера, имеет достаточно низкую вязкость, что благоприятствует соединению его со свариваемыми кромками. Однако сами кромки имеют низкую температуру, и чтобы их прогреть, необходимо перегревать экструдируемый полимерный материал, чтобы он имел достаточный для оплавления кромок запас тепловой энергии – т. е. опять неизбежна деструкция. Эта проблема может быть решена путем использования комбинированных способов, сочетающих предварительный нагрев кромок, доведения материала до высокоэластичного состояния, не достигая деструкционного перегрева, а затем только вводить экструдированную присадку. Этот технологический прием позволяет получать наилучшие результаты в сравнении с другими тепловыми способами выполнения соединений, что подтверждается авторами работ [8, 13]. Однако этот процесс трудно управляемый и сложен в автоматизации, и также не исключает перегрев и деструкцию.

Хорошие показатели, как по прочности, так и по долговечности, достигаются при сварке трением. Прочность соединения при этом достигает 90 и даже 100 % от прочности основного (исходного) материала, а по долговечности материал соединений практически не уступает исходному материалу [14, 15]. Это качество достигается в результате вытеснения вращающимися деталями из зоны соединения жидкотекучей полимерной массы за зону шва. Однако способ сварки трением может быть применен только для соединения деталей, имеющих форму тела вращения. Корпусные конструкции сложной формы соединения, а также пленочные и листовые изделия этим способом соединить практически невозможно.

Ультразвуковая сварка также позволяет получать сварные соединения, прочность которых достигает 90–100 % от прочности основного материала, и преимущество этого вида источника энергии перед другими в ряде случаев неоспоримо [16, 17]. Этот способ успешно применяется при упаковке пищевых продуктов в полиэтиленовые емкости, для соединения синтетических тканей, для герметизации полиэтиленовых мешков, при изготовлении игрушек [18]. Однако, как это показано в ряде работ [19, 20], при ультразвуковой сварке наблюдается существенная нестабильность прочности, что прослеживается даже на одном изделии при вырезании образцов для испытаний шириной 10 мм. Прочность при этом различных участков шва колеблется в пределах от 50 до 100 % прочности основного материала. Это объясняется сложными волновыми процессами при распространении ультразвука в свариваемых пластмассовых деталях.

Подводя итог изложенному выше, следует констатировать, что все существующие способы воздействия на полимерные материалы с целью производства из них изделий имеют в своей основе тепловую нагрузку и всегда приводят к изменению физико-механического состояния материала, чаще всего в худшую сторону. Уровень теплового воздействия следует разбить на две части: докритическое и послекритическое. Докритическое температурное воздействие не связано с доведением материала до жидкотекучего состояния. Критическое и послекрити-

ческое воздействие предусматривает нагрев пластмассы до жидкотекучего состояния и далее до температур деструкции. Таким образом, любое тепловое воздействие на полимерные системы является нежелательным.

Оптимизация теплового воздействия на высокомолекулярные органические вещества достигается путем усложнения процесса, как это оговаривалось выше для экструдированной присадки, что позволяет свести к минимуму отрицательные эффекты.

Приведем результаты исследований предложенного комбинированного способа воздействия на полиэтилен, в частности температуры и ультразвука.

Как уже упоминалось ранее, режимы теплового воздействия и иные побочные факторы имеют первостепенное влияние на состояние полимерного материала. Существенными параметрами при этом следует считать уровень температуры и длительность ее воздействия, доступ к нагретому материалу химически активных веществ и уровень силовых механических полей.

Путем изменения режимов любого из сварочных процессов можно усиливать или ослаблять действие на превращения в полимерной среде каждого параметра. Однако необходимость обеспечения регламентированных механических характеристик материала в зоне обработки (сварки) вынуждает усиливать отдельные параметры режима воздействия, что приводит к конкурентным явлениям. Действительно, для обеспечения оптимальной коалесценции соединяемых поверхностей необходимо в полном объеме обеспечить диффузию [21]. Для этого материал должен быть нагрет до жидкотекучего состояния идержан при температуре этого состояния определенное время. Длительная термическая выдержка приводит к вредным для полимера химическим превращениям. Поэтому для получения качественного соединения оптимизируют как способы сварки применительно к тому или иному полимерному материалу, так и режимы каждого из способов. В этой связи изучение влияния различных параметров режима сварки на уровнях изменений в полимерах в зоне воздействия и влияние этих изменений и превращений на свойства полимерного материала является актуальным.

Были выполнены исследования результатов управляемого воздействия тепла и ультразвука на полиэтилен. Схема воздействия приведена на рис. 4. Обработке подвергались образцы полиэтилена толщиной 1 мм. Регулируемые параметры – температура и время пребывания материала при различных температурах. При тепловых способах обработки задавалась температура источника нагрева, а при ультразвуковой обработке тепловая обстановка в зоне

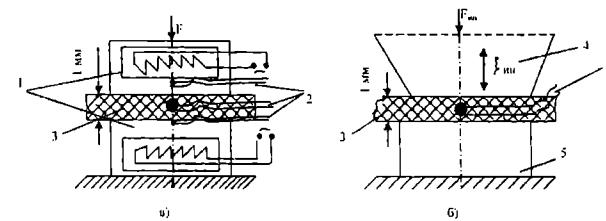


Рис. 4. Схемы воздействия на пластмассовые образцы теплом (а) и ультразвуком (б):
 1 – нагревательные элементы; 2 – термопары, контролирующие температуру нагревателей и полимерного образца;
 3 – обрабатываемый полиэтиленовый образец;
 4 – ультразвуковой инструмент; 5 – опора

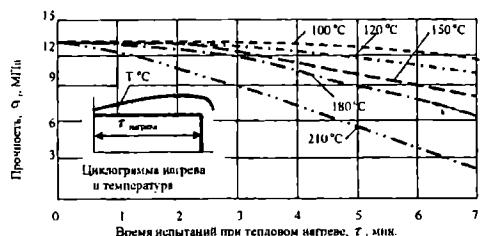


Рис. 5: а – влияние температуры нагрева и времени воздействия тепла на прочность полиэтиленовой пленки толщиной 1 мм при тепловом нагреве;

б – влияние температуры нагрева и времени воздействия ультразвуком на прочность полиэтиленовой пленки толщиной 1 мм при ультразвуковом нагреве

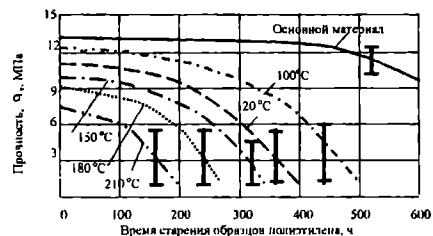
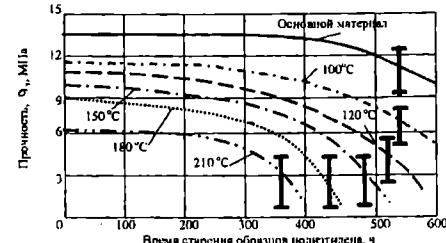


Рис. 6: а – влияние уровня химических превращений (различная температура при времени обработки 5 мин.) нагретым элементом на прочность полиэтилена толщиной 1 мм при старении в АИП-1 после обработки нагретым элементом;

б – влияние уровня химических превращений (различная температура при времени обработки 5 мин.) нагретым элементом на прочность ПЭ толщиной 1 мм при старении в АИП-1 после обработки ультразвуком



нагрева управлялась путем изменения амплитуды колебания ультразвукового инструмента и длительности включения ультразвуковых колебаний. Термостабильность обстановка управлялась с помощью терморегуляторов, датчиками которых служили хромель-копелевые термопары. При ультразвуковой обработке стабилизация температуры производилась путем импульсного включения ультразвуковых колебаний (см. циклограммы на рис. 5). Амплитуда колебаний рабочего торца ультразвукового инструмента составляла 35–40 мкм. Обработанные образцы полиэтилена толщиной 1 мм подвергались послесварочным испытаниям на прочность (рис. 5) и закладывались для ускоренного искусственного старения в АИП-1. Результаты прочностных испытаний образцов, подвергшихся старению, представлены на рис. 6.

Анализируя результаты испытаний, можно сделать вывод, что послесварочная прочность полиэтилена, обработанного теплом при разных температурах (рис. 5а), выше, чем при ультразвуковой обработке (рис. 5б). Это явление можно объяснить тем, что при ультразвуковой обработке на полимерный материал действуют и высокочастотные механические колебания, и тепловое поле, возникающее при трансформации колебаний в тепло в среде полимера в течение более длительного времени, т. к. он более жесткий источник. Процессы старения полиэтилена в АИП-1 после тепловой и ультразвуковой обработки протекали по-разному и представлены на рис. 6. Хотя исходная прочность полиэтилена, помещенного в АИП-1, была различной после 5-минутной обработки (при тепловой выше, а ультразвуковой – ниже), но динамика ее изменения в процессе старения существенно изменялась. Образцы, обработанные ультразвуком (рис. 6б) более длительное время (в 1,5–2 раза), сохраняли исходную прочность, находясь в АИП-1, в сравнении с образцами, обработанными теплом, хотя исходная прочность образцов с тепловой обработкой была выше. Это объясняется

тем, что при тепловой обработке поверхность образцов подвергалась воздействию более высокой температуры при свободном доступе кислорода. Это рождало протекание окислительных процессов на поверхности более интенсивно, чем внутри материала при ультразвуковой обработке, что и создает предпосылки для более умеренного протекания деструкции и большего снижения прочности.

Из полученных данных следует, что энергия ультразвука является более щадящей в отношении полимерного материала в сравнении с другими источниками сварочной энергии.

Определяли влияние на прочностные показатели соединений различных параметров режима ультразвукового воздействия на образцы из полiamида П-6 и винипласти. Переменными параметрами были амплитуда рабочего торца инструмента и длительность воздействия ультразвуковых колебаний. Сварочное давление выбиралось оптимальным.

Было установлено, что при сварке П-6 оптимальная послесварочная прочность швов достигалась при амплитуде колебаний рабочего торца ультразвукового инструмента $\xi_{\text{ин.}} = 40–50$ мкм и времени сварки (длительность действия ультразвуком) $t = 2,5$ с (рис. 7). Увеличение как времени сварки, так и амплитуды ультразвуковых колебаний, неизменно приводило к снижению прочности соединений. Аналогичная закономерность наблюдалась и при ультразвуковой сварке образцов из винипласти (рис. 8), с той разницей, что для получения оптимальной прочности требовалось меньше времени включения ультразвукового инструмента. Сварочное давление торца ультразвукового инструмента составляло для полiamида 5 МПа, а для винипласти 3 МПа.

Из анализа результатов исследования следует, что режимы ультразвуковой сварки существенно влияют на прочность сварных соединений, т. к. от жесткости режима зависит уровень химических превращений в полимерном материале. Заложенные в процессе сварки предпосылки ускоряют де-

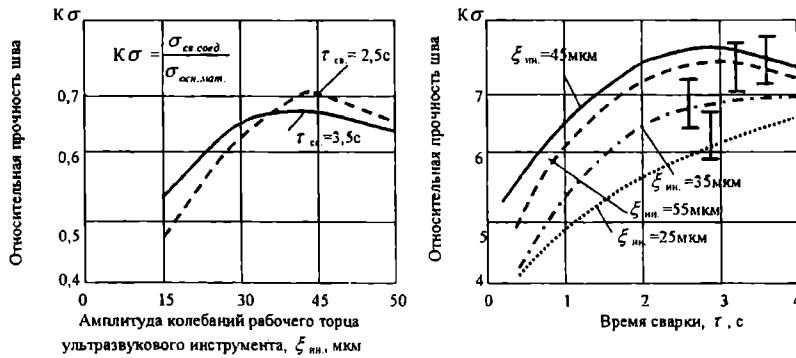


Рис. 7: а – влияние амплитуды колебаний рабочего торца УЗ инструмента на прочность соединений поламида; б – влияние времени сварки на прочность соединений поламида при УЗС

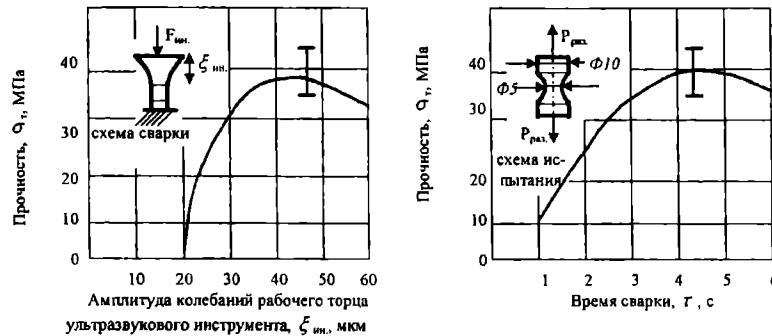


Рис. 8: а – влияние амплитуды колебаний на прочность соединений винипласта при УЗС (время сварки 2,5 с, давление 3 МПа); б – влияние времени сварки на прочность соединений винипласта при УЗС (амплитуда колебаний 30 μm , давление 3 МПа)

структурные процессы при старении в искусственных условиях, а значит, и при эксплуатации. Энергия ультразвуковых колебаний выгодно отличается от других тепловых источников, т. к. при нагреве ультразвуком ограничен доступ кислорода к зоне сварки, а время сварки значительно меньше, чем при использовании других видов энергии. Однако ультразвуковое поле обладает крайне лабильными свойствами, что приводит на начальной стадии сварки к появлению очага перегрева, в которых возникают необратимые химические реакции, снижающие эксплуатационные свойства полимерных сварных соединений. Эти особенности ультразвуковой сварки иногда (при изготовлении ответственных конструкций) не позволяют использовать ее по прямому назначению. Поэтому для смягчения отрицательного физико-химического действия энергии ультразвуковых колебаний на полимеры предлагается использовать ряд технологических приемов. К ним относятся дозирование энергии ультразвуковых колебаний, использование энергии колебаний ультразвука в комбинации с другими энергиями, использование предварительной обработки соединяемых поверхностей (пластикация растворителями) и др.

Заключение

1. Установлено, что тепловое воздействие на полимерные материалы в любой форме и по любой схеме отрицательно влияет на механические свойства и долговечность высокомолекулярного органического вещества.

2. Процессы переработки пластмасс в изделия в подавляющем большинстве случаев связаны с термическим воздействием, часто сопровождающимся

плавлением материала и деструкционными явлениями.

3. Из всех процессов переработки пластмасс в изделия сварка занимает ведущее место, как по объему выпускаемых изделий, так и по склонности возникающих при процессах сварки физических и химических превращений.

4. Основными регламентирующими показателями переработки пластмасс в изделия является прочность, сохранение исходных свойств и долговечности материала, подвергшегося воздействию теплом и другими видами энергии.

Библиографический список

1. Афанасьев П.А. Применение пластических масс в машиностроении. М.: Машгиз, 1971. – 210 с.
2. Шифрина В.С., Самосатский Н.Н. Полиэтилен. М.: Госхимиздат, 1961. – 176 с.
3. Справочник по пластическим массам. 2-е изд., перераб. / Под ред. В.М. Катаева и В.А. Попова. М.: Химия, 1975, т. 1. – 448 с.
4. Энциклопедия полимеров. – М.: Сов. энциклопедия, 1977, т. III. – 1152 с.
5. Москатов К.А. Термическая обработка пластмассовых и резиновых деталей машин. М.: Машиностроение, 1976. – 200 с.
6. Тростянская Е.Б., Комаров Г.В., Шишгин В.А. Сварка пластмасс. – М.: Машиностроение, 1967. – 252 с.
7. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н. Сварка пластмасс. – М.: Машиностроение, 1978. – 224 с.
8. Соловьев В.П., Мацюк Л.Н. Процессы нагрева полиэтилена при сварке экструдированной присадкой и контактно-экструзионным методом. // Сварочное производство, 1978, №4. – С. 43–45.

9. Берлин А.А. Кинетика полимеризационных процессов. – М.: Химия, 1965. – 676 с.
10. Хувинк Р., Ставерман А. Химия и технология полимеров/ Пер. с нем. Под ред. М.М. Котона, т. 1. – М. – Л.: Химия, 1965. – 676 с.
11. Стрепихеев А.А., Деревицкая В.А., Слонимский Г.Л. Основы химии высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1967. – 516 с.
12. Зайцев К.И. Механизм образования соединения при контактной сварке термопластов плавлением/ Автоматическая сварка, 1973, № 9. – с. 44–45.
13. Ханжин Ю.В., Егоров Б.Н. Сварка листов полипропилена контактно-экструзионным методом / Сварочное производство. – 1978, № 3. – с. 28–31.
14. Вавилов А.Я., Войнов В.П. Сварка трением. – М.: Машиностроение, 1974. – 154 с.
15. Неккеен З. Сварка пластмасс трением / Сварочное производство. – 1972, № 11. – С. 52–53.
16. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. Специальные методы сварки. М.: Машиностроение, 1975. – 232 с.
17. Мозговой И.В. Технологические возможности способа ультразвуковой сварки пластмасс // Теория и практика сварочного производства: Сб. науч. трудов/ Челябинский политехн. инст. – Челябинск, 1969. – с. 108 – 110.
18. Мозговой И.В. Основы технологии ультразвуковой сварки полимеров. – Красноярск: Изд-во КГУ, 1991. – 280 с.
19. Мозговой И.В. Ультразвуковая сварка полиэтилена/ Сб. трудов «Сварка и склейка пластмасс». – М.: МВТУ им. Баумана, 1978. – с. 115 – 116.
20. Мозговой И.В. Физико-химическая модель механизма образования соединения при ультразвуковой сварке пластмасс. // Прогрессивные технологические процессы заготовительного производства. Межвузовский сборник науч. тр./ Под. ред. А.К. Машкова. – Новосибирск, 1978. – с. 147 – 162.
21. Воюцкий С.С. Аутогезия и адгезия высокополимеров. – М.: Ростехиздат, 1960. – 244 с.

МОЗГОВОЙ Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химическая технология органических веществ».

НЕЛИН Анатолий Григорьевич, доцент кафедры «Химическая технология органических веществ».

ДАВИДАН Геннадий Михайлович, доцент кафедры «Химическая технология органических веществ».

МОЗГОВОЙ Евгений Иванович, аспирант кафедры «Химическая технология органических веществ».

МОЗГОВОЙ Олег Иванович, студент кафедры «Химическая технология органических веществ».

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.

© Мозговой И. В., Нелин А. Г., Давидан Г. М., Мозговой Е. И., Мозговой О. И.

Ю. Н. ИВЛЕВ
Н. В. НАЙМУШИНА

Новосибирский государственный
медицинский университет

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШТИФТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СПЛАВА НИКЕЛИДА ТИТАНА В КЛИНИКЕ ОРТОПЕДИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

Результаты оценки состояния зубочелюстной системы после применения штифтовых конструкций из никелида титана, основанные на специальных клинических исследованиях, свидетельствуют о высокой эффективности конструкции. В связи с чем использование сплава никелида титана, проявляющего сверхэластичные свойства и обладающего эффектом памяти формы для изготовления штифтовых конструкций при восстановлении полностью разрушенных коронок зубов, представляется перспективным направлением в ортопедической стоматологии.

В последние десятилетия для восстановления коронковой части зуба и коррекции возникших нарушений формы и функции зубочелюстной системы используют индивидуальные и стандартные штифтовые системы с покрытиями конструкциями [1, 6].

В клинике кафедры ортопедической стоматологии НГМУ было проведено обследование 327 пациентов, которые имели изготовленные до 2000 года несъемные зубные протезы.

Всего изучено состояние 1134 несъемных зубных протезов: 767 одиночных коронок и 367 мостовидных протезов.

Несъемные зубные протезы опирались на 1728 депульпированных зубов, 318 из которых были ар-

мированы различными штифтовыми конструкциями. 114 зубов были армированы культивыми штифтовыми вкладками, изготовленными из кобальтохромового сплава. Стандартные металлические штифты были использованы для укрепления 204 зубов (86 пасивных и 118 активных постов).

Обследование показало, что использование таких штифтовых систем часто сопровождается осложнениями:

1. Перелом корня зуба, восстановленного ШК (раскол корня зуба), выявлен у 26 пациентов (8,2%), среди наиболее вероятных причин – истончение стенок корня на протяжении всей его длины, конструирование длинного и толстого штифта, использо-

Таблица 1

Сравнительная оценка затрат времени на изготовление штифтовых конструкций из никелида титана и кобальтохромового сплава

Клинический этап (NiTi)	NiTi сплав	Традиционные сплавы
1. Препарирование коронковой и корневой частей зуба. Снятие двухслойного силиконового оттиска	40-50 мин	30-40 мин
2. Припасовка конструкции в полости рта	15-25 мин	15-30 мин
3. Фиксация штифтовой конструкции	10-20 мин	15-25 мин

Таблица 2

Клинико-лабораторные этапы изготовления многокорневой штифтовой конструкции из сплава с эффектом памяти формы

Клинический этап	Лабораторный этап
1. Препарирование коронковой и корневой частей зуба. Снятие двухслойного силиконового оттиска	1. Изготовление эластичной и вспомогательной гипсовой модели
2. Припасовка металлической конструкции в полости рта	2. Изготовление неразборной, многокорневой беззольной композиции
3. Фиксация штифтовой конструкции	3. Получение конструкции из никелида титана
4. Препарирование под покрывающую конструкцию	4. Изготовление покрывающей конструкции

вание активных конусных резьбовых штифтов. Функциональная перегрузка опорного зуба;

2. Деструкция кости в периапикальной области выявлена у 28 пациентов (8,8%), среди наиболее вероятных причин – некачественная обтурация канала корня зуба, перфорация стенки канала корня штифтовой конструкцией;

3. Перелом корня зуба, восстановленного ШК (откол части стенки корня) – 38 пациентов (11,9%), среди наиболее вероятных причин – истончение стенок верхней трети корня (особенно при формировании полости для амортизирующего элемента ШК), несоответствие параметров ШК диаметру канала корня: короткий и толстый штифт, функциональная перегрузка опорного зуба;

4. Нарушение фиксации материала искусственной культи коронковой части зуба (при использовании стандартных штифтов) – 22 пациента (6,9%), среди наиболее вероятных причин – ошибки при выборе материала искусственной культи коронковой части зуба, нарушение технологии нанесения конструкционного материала при формировании культи ШК;

5. Перфорация стенок канала корня при формировании ложа для штифта – 21 пациент (6,6%), среди наиболее вероятных причин – отсутствие рентгенодиагностики, врачебные технические ошибки выполнения манипуляций при подготовке канала корня;

6. Наличие рецидивирующего кариеса коронковой и корневой частей зуба – 18 пациентов (5,7%), среди наиболее вероятных причин – ошибки препарирования при формировании площадки для культи конструкции, нарушение технологии изготовления, припасовки и цементирования ШК, необоснованный выбор материала при формировании искусственной культи коронковой части зуба стандартного штифта;

7. Функциональная перегрузка опорного зуба – 60 пациентов (18,9%), среди наиболее вероятных причин – неправильное планирование ортопедического лечения, нарушение окклюзионных взаимоотношений зубных рядов.

Ряд перечисленных осложнений – такие как перелом корня зуба, перфорация стенки корня, могут быть связаны как с нарушением техники препарирования корневых каналов, так и с анатомическими особенностями корневой системы [2, 5].

У жевательной группы зубов в большинстве случаев корневые каналы имеют достаточно сильное анатомическое искривление, поэтому для введения культи штифтовой конструкции из традиционных конструктивных материалов производится обширное препарирование канала. Это приводит к истончению и значительному ослаблению стенок корня.

В связи с этим необходим новый научный подход для оптимизации восстановления коронковой части зубов, особенно моляров и премоляров.

Одним из таких подходов может быть внедрение сверхэластичных сплавов с эффектом памяти формы для изготовления штифтовых конструкций. Эти сплавы являются идеальным конструкционным материалом для создания биомеханически совместимых с организмом человека зубных протезов [3, 4].

В ходе исследования, проведенного на кафедре ортопедической стоматологии НГМА, была разработана многокорневая штифтовая конструкция из сплава никелида титана.

Сплав никелида титана обладает эффектом памяти формы и свойством сверхэластичности. Поэтому использование штифтовых конструкций из сплава никелида титана позволяет произвести препарирование корневого канала согласно принципам концепции минимальной интервенции, т. е. с сохранением анатомической кривизны. Во время цементировки корневая часть конструкции «вспоминает» свою форму и устанавливается по анатомической кривизне протезного ложа. Это обстоятельство обеспечивает надежную фиксацию конструкции. Кроме того, появляется возможность задействовать все корневые каналы зуба, что приводит к равномерному распределению жевательного давления на корневую систему, сохранению нормальной трофики тканей пародонта, препятствует развитию его функциональной перегрузки и атрофии костной ткани.

Предложенная штифтовая конструкция обладает также высоким уровнем биомеханической совместимости. Ее деформационные свойства в условиях циклической нагрузки и разгрузки близки к деформационным свойствам биологических тканей. В отличие от традиционных материалов они подчиняются единому закону – деформационной зависимости гистерезисного типа [2, 4], т. е. оптимизированная штифтовая конструкция по своему поведению подобна живой ткани, что позволяет приблизить зубочелюстную систему к первоначальному, естественному состоянию.

Немаловажным является и тот факт, что штифтовая конструкция из сплава никелида титана является биологически инертной [5, 6], не вызывает аллергических реакций и поэтому может быть использована у пациентов с отягощенным аллергологическим анамнезом.

Разработанная технология получения неразборной многокорневой композиции не трудоемка и в большинстве случаев занимает не больше времени, чем работа с традиционными стандартными штифтами и разборными штифтовыми вкладками. Сравнительные временные затраты при протезировании штифтовыми конструкциями из никелида титана и кобальтохромового сплава приведены в таблице 1.

Количество клинико-лабораторных этапов при протезировании штифтовыми конструкциями из сплава с эффектом памяти формы не превышает таковые при использовании традиционных сплавов (таблица 2).

Таким образом, культевые штифтовые вкладки из сплава с эффектом памяти формы являются рациональным методом микропротезирования, позволя-

ющим оптимизировать ортопедическое лечение и повысить его эффективность.

Библиографический список

1. Букиев М.Ф. Биосовместимые материалы с памятью формы и новые технологии в стоматологии: Обоснование конструирования многоопорных несъемных мостовидных протезов в ортопедической стоматологии / М.Ф. Букиев [и др.]. – Томск, 2003. – С. 117 – 119.
2. Гюнтер В.Э. Сплавы с памятью формы в медицине / В.Э. Гюнтер [и др.]. – Томск: Изд-во ТГУ, 1986. – 208 с.
3. Миргазизов М.З. Сплавы с памятью формы в имплантологии / М.З. Миргазизов. // Маэстро, 2002. – № 6. – С. 6 – 10.
4. Ооцука А. Сплавы с эффектом памяти формы / А. Ооцука [и др.]; под ред. Х. Фунакубо. – М.: Металлургия, 1990. – 224 с.
5. Понтер В.Э. Новые биосовместимые сверхэластичные материалы и новые медицинские технологии в стоматологии / В.Э. Понтер, М.А. Звигинцева // Материалы международной конференции. – Красноярск: Сибмед, 2000. – 257 с.
6. Юдин П.С. Малоинвазивные методы ортопедического лечения с применением сверхэластичных сплавов / П.С. Юдин. // Российский стоматологический журнал, 2003. – № 3. – С. 4 – 6.

ИВЛЕВ Юрий Николаевич, ординатор кафедры ортопедической стоматологии.
НАЙМУШИНА Наталья Вадимовна, кандидат медицинских наук, ассистент кафедры терапевтической стоматологии.

Статья поступила в редакцию 04.12.06 г.

© Ивлев Ю. Н., Наймушина Н. В.

КНИЖНАЯ ПОЛКА

Рыбьев И.А. Материаловедение в строительстве: учеб. пособие / И.А. Рыбьев, Е.П. Казеннова, Л.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 полезна практическим работникам. Рекомендовано УМО.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.331(075.8)

В. В. БИРЮКОВ

Новосибирский государственный
технический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТНОГО ТИРИСТОРНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РЕЖИМЕ ПУСКА

В статье рассматриваются вопросы, связанные с определением закона регулирования выходного напряжения на зажимах тягового электродвигателя (ТЭД) в функции скорости подвижного состава в режиме пуска.

Применение тиристорно-импульсного регулятора для питания ТЭД постоянного тока, дающего, как известно, ряд преимуществ [1, 2, 3], безусловно, предполагает использование его и для электрического торможения (служебного и экстренного), как рекуперативного, так и реостатного.

Общеизвестно, что простейшим, как по способу управления, так и по схемному решению, является однофазный частотно-импульсный прерыватель на SCR-тиристоре, принципиальная электрическая схема которого с диаграммами мгновенных значений токов и напряжений на некоторых элементах представлена на рис. 1. Средняя за период регулирования величина напряжения U_{reg} на зажимах ТЭД, работающего в генераторном режиме с достаточной для инженер-

ного расчета точностью, может быть определена из выражения

$$U_{reg} = \frac{t_u}{T_p} U_{num} = t_u f_p U_{num}, \quad (1)$$

где t_u — величина времени импульса (когда ТЭД подключен к источнику питания);
 f_p — частота регулирования;
 U_{num} — напряжение источника питания (в дальнейших расчетах $U_{num} = const$).

Из выражения (1) видно, что, изменяя f_p от 0 до некоторого значения, можно увеличивать напряжение на ТЭД от нуля до номинальной величины, т.е. осуществлять пуск мотора и разгон экипажа до

необходимой скорости с соблюдением требований «Правил технической эксплуатации» (предусматривающих в большинстве случаев ограничение ускорения при пуске до $1,5 \text{ м/с}^2$ со скоростью его нарастания не более 2 м/с^3).

При инженерном расчете элементов схемы преобразователя (VS, VD, C_k, L_k) необходимо определить наиболее тяжелый режим работы каждого из элементов, что проще всего сделать, рассмотрев в качестве примера пусковую диаграмму ТЭД последовательного возбуждения (см. рис. 2), наложенную на электромеханическую характеристику.

Наиболее тяжелым режимом работы полупроводниковых элементов преобразователя (VS и VD) являются точки b и c с пусковой диаграммы, в которых действующие токи, протекающие в течение периода регулирования через диод и тиристор соответственно, достигают максимальных значений, равных I_n . В соответствии с рекомендациями [3] полупроводниковые приборы должны выбираться по току и напряжению, максимальная величина которого для VS равна U_n , а для VD — $2U_n$ (см. диаграммы рис. 2).

Наряду с током и напряжением одним из важнейших параметров, определяющих выбор типа полупроводникового прибора, является максимальная рабочая частота. С увеличением частоты возрастает доля коммутационных потерь, выделяемых в $p-n$ переходе. Поэтому по мере роста частоты регулирования необходимо либо снижать токовую нагрузку полупроводникового прибора в соответствии с рекомендациями [3], либо выбирать более сильноточный прибор, обеспечивая тем самым необходимый запас по току. При выборе типа полупроводникового прибора (частотный, быстродействующий, динамический и т.д.) необходимо установить максимальное ее значение для проектируемого преобразователя, что достаточно просто сделать, руководствуясь следующими соображениями. Очевидно, что минимального своего значения частота регулирования достигает в т. a , соответствующей началу движения экипажа. Для подтверждения этого сопоставим между собой частоты регулирования преобразователя в точках a (f_a), b (f_b) и c (f_c). Из уравнения

$$U_{m3g} = I_{m3g} r_{m3g} + C \Phi v, \quad (2)$$

где r_{m3g} — суммарное сопротивление якорной цепи ТЭД; C — постоянная машины; Φ — поток машины; v — скорость экипажа, следует, что для т. a выражение (2) преобразуется к виду

$$U_{m3g} = I_{mp} r_{m3g},$$

где $I_{mp} \approx (0,2 \dots 0,25) I_n$ — ток трогания экипажа; для т. b —

$$U_{m3g} = I_n r_{m3g},$$

где I_n — максимальный пусковой ток экипажа (т.к. скорость еще достаточно мала, то можно положить $C \Phi v \approx 0$);

для т. c —

$$U_{m3g} = I_n r_{m3g} + C \Phi v_{nn},$$

где v_{nn} — скорость выхода на автоматическую характеристику (в зависимости от типа используемых ТЭД она колеблется от 14 до 20 км/ч).

Полагая величину $t_u = \text{const}$ и воспользовавшись (1), имеем:

для т. a $U_{m3g} = t_u f_a U_{num} = I_{mp} r_{m3g},$

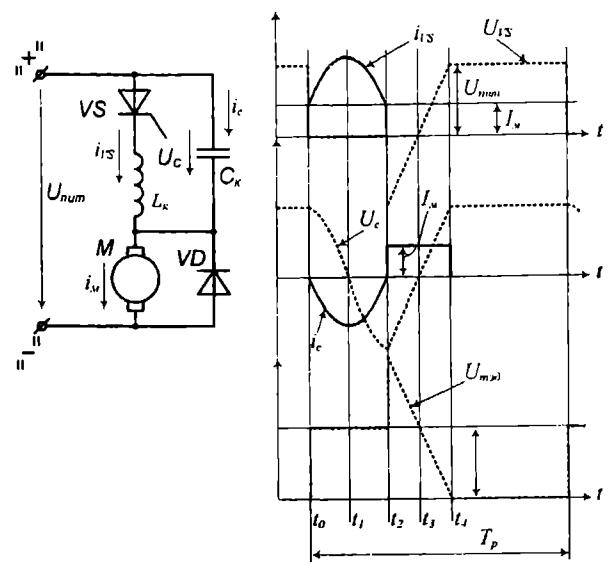


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема и диаграммы токов и напряжений однофазного преобразователя

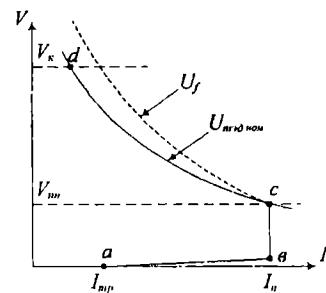


Рис. 2. Пусковая диаграмма ТЭД постоянного тока последовательного возбуждения

$$\text{для т. } b \quad U_{m3g} = I_n f_b U_{num} = (4 \div 5) I_{mp} r_{m3g},$$

$$\text{откуда } f_b = (4 \div 5) f_a.$$

Соотношения частот регулирования для точек b и c можно получить на основании выражений (1) и (2), полагая в них $I_n r_{m3g}$ равным 0, что вполне приемлемо для инженерной точности расчетов, т.к. для существующих типов ТЭД $I_n r_{m3g} \approx (0,05 \dots 0,08) U_{num}$. Учитывая, что в т. b скорость экипажа не превышает величины $v_b = 1 \dots 2 \text{ км/ч}$, получаем:

$$U_{m3g} = C \Phi v_b = t_u f_b U_{num},$$

$$U_{m3g} = C \Phi v_{nn} = t_u f_c U_{num},$$

$$f_c = \frac{V_{nn}}{V_b} f_b \approx 10 f_b \approx (40 \div 50) f_a.$$

Таким образом, определяющей для выбора типа полупроводникового прибора частотой является частота регулирования в т. c .

Не менее важным наряду с определением параметров полупроводниковых приборов является расчет величин элементов коммутирующего контура — конденсатора C_k и дросселя L_k . Величина первого из элементов может быть определена с достаточной для инженерного расчета точностью из выражения

$$I_{num} t_{cx} = C_k \Delta U, \quad (3)$$

где $t_{cx} = k_{ зап } = 1,2t_{ вых } -$ время, предоставленное схемой для запирания тиристора VS ; $t_{ вых } -$ время (паспортное) восстановления запирающих свойств тиристора; $\Delta U = U_{ пит мин } -$ минимальная величина обратного напряжения, приложенного к тиристору при запирании.

Тогда

$$C_k = \frac{1,2I_n t_{ вых }}{U_{ пит мин }}. \quad (4)$$

Величина индуктивности коммутирующего дросселя может быть определена из условия ограничения амплитуды протекающего через тиристор тока контура коммутации:

$$L_k = \frac{C_k U_{ пит макс }^2}{(I_{ макс } - I_n)^2}, \quad (5)$$

где $I_{ макс } -$ амплитуда тока контура коммутации, определяемая из параметра $\int i^2 dt$ [3].

Из приведенных выше соображений следует, что изменение частоты работы преобразователя необходимо производить в функции тока ТЭД и скорости экипажа. Для построения закона регулирования необходимо рассмотреть более детально, от чего зависит длительность импульса t_u . Согласно [2] и рис. 1

$$t_u = (t_2 - t_0) + (t_4 - t_2) = t_{n3} + t_3, \quad (6)$$

где $t_{n3} = \pi \sqrt{L_k C_k} -$ время перезаряда коммутирующего конденсатора;

$$t_3 \approx 2t_{cx} = \frac{2U_{ пит } C_k}{I} -$$
 время запирания тиристора и заряда C_k от 0 до $U_{ пит }$.

Из формулы (6) видно, что t_u – величина непостоянная, зависящая от тока ТЭД. После выхода на автоматическую характеристику (кривая $U_{ пит нон }$ на рис. 2) и дальнейшего разгона экипажа ток мотора уменьшается, что приводит к увеличению длительности t_u и, как следствие – увеличению t_u . При сохранении величины частоты регулирования это приводит к возрастанию подводимого к ТЭД напряжения (см. кривую U_f , рис. 2), что недопустимо. Поэтому по мере разгона подвижного состава необходимо либо стабилизировать величину t_u , либо снижать частоту работы преобразователя. Первое достигается аппаратными средствами путем применения цепей ускоренного перезаряда C_k . Но этот способ, во-первых, не позволяет достичь жесткой стабилизации (t_u продолжает увеличиваться, хотя и в меньшей степени), а во-вторых – ведет к усложнению и удорожанию преобразователя. Второй способ более привлекателен, поэтому рассмотрим его более подробно.

Представив выражение (6) в виде

$$t_u = k_1 + \frac{k_2}{i_{m3g}} \quad (7)$$

и используя выражения (1) и (2), проанализируем влияние изменения i_{m3g} и v на величины t_u и f_p . Из (7) следует, что функция $t_u(i_{m3g})$ носит гиперболический

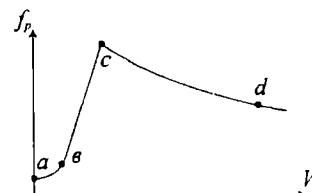


Рис. 3. Кривая зависимости $f_p(v)$ однофазного частотного преобразователя

характер. Зависимость $u_{m3g}(v)$ – более сложная: первая составляющая выражения (2) зависит от i_{m3g} линейно; вторая – нелинейно от i_{m3g} (что связано с кривой $B(H)$ намагничивания стали) и линейно от v . Решая совместно (1), (2) и (7) и учитывая, что кривая $\Phi(i_{m3g})$ может быть представлена в виде $\Phi = k_3 i_{m3g} - \frac{k_4}{i_{m3g}}$, получаем выражение для закона регулирования:

$$f_p = \frac{u_{m3g}}{t_u U_{ пит }} = \frac{i_{m3g} r_{m3g} + C \Phi v}{t_u U_{ пит }} = \frac{i_{m3g}^2 r_{m3g} + C(k_3 i_{m3g} - \frac{k_4}{i_{m3g}})v}{k_1 i_{m3g} + k_2}, \quad (8)$$

который носит трансцендентный характер.

На участках $a-b$ и $c-d$ пусковой диаграммы трансцендентный характер зависимости проявляется в полной мере. На участке $b-c$ закон регулирования носит линейный характер и приводится к виду

$$f_p = k_5 + k_6 v,$$

$$\text{где } k_5 = \frac{r_{m3g} i_{m3g}^2}{(k_1 I_n + k_2)}, \quad k_6 = \frac{C(k_3 i_{m3g}^2 - k_4)}{(k_1 I_n + k_2)}.$$

Кривая зависимости $f_p(v)$ представлена на рис. 3.

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. Ефремов И.С. Теория и расчет электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта. Учебник для вузов [Текст]: / И.С. Ефремов, Г.В. Косарев – М.: Высшая школа, 1976. – 480 с.
3. Чебовский О.Г. Силовые полупроводниковые приборы (справочник) [Текст]: / О.Г. Чебовский, Л.Г. Моисеев, Р.П. Недошивин – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 512 с.

БИРЮКОВ Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрические комплексы».

Статья поступила в редакцию 16.11.06 г.

© Бирюков В. В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматриваются вопросы моделирования электромеханических установившихся процессов трехфазных асинхронных маслозаполненных короткозамкнутых погружных электродвигателей, предназначенных для привода центробежных насосов откачки пластовой жидкости (смесь нефти, воды и попутного газа) из нефтяных скважин.

Электродвигатели изготавливаются для работы с электрической сетью частотой $f = 50$ Гц, напряжением $U_1 = 400, \dots, 3000$ В, номинальным потребляемым током $I_1 = 10, \dots, 200$ А, мощностью $10, \dots, 500$ кВт. Основные узлы конструкции электродвигателей – статор, ротор, головка, основание и узел токоввода [1].

Статор состоит из корпуса, магнитопровода и обмотки. Корпус выполнен из стальных бесшовных холоднокатанных труб особо высокой точности с наружным диаметром $D = 86, 92, 96, 103, 114, 117, 123, 130$ мм и длиной до 8 м. Магнитопровод статора шихтованный, набран пакетами длиной 320, ..., 450 мм из пластин отожженной электротехнической стали марки 2212, 2215 с толщиной листа 0,5 мм и двухсторонним электроизоляционным покрытием. Отдельные пакеты разделены немагнитными шихтованными вставками (в последних конструкциях они могут отсутствовать) в соответствии с размерами наружной втулки подшипников скольжения, магнитопровод в целом запрессовывается в корпус двигателя и имеет наружный диаметр D , равный 75, 80, 86, 92, 100, 105, 110, 118 мм, в пазы магнитопровода статора по всей длине двигателя укладывается единая для всех пакетов статора соединенная в звезду трехфазная однослойная протяжная обмотка, выполненная из обмоточного теплостойкого провода с полиамида-фторопластовой изоляцией.

Ротор состоит из магнитопровода, обмотки и вала. Магнитопровод ротора собирается из отдельных пакетов длиной 320-450 мм, разделенных подшипниками скольжения. Пластины пакетов ротора изготавливаются, как и пластины магнитопровода статора, из отожженной электротехнической стали марки 2212, 2215 с толщиной листа 0,5 мм и двухсторонним электроизоляционным покрытием. В закрытые пазы магнитопровода отдельно для каждого пакета помещаются медные стержни. Стержни припаиваются к медным короткозамыкающим кольцам, образуя короткозамкнутую обмотку пакета ротора. Пакеты магнитопровода вместе с подшипниками скольжения насаживаются на общий вал, который, собственно, и передает развиваемый двигателем механический момент центробежному насосу. Вал выполняется пустотелым с внутренним каналом для циркуляции масла, обеспечивающего необходимое охлаждение

двигателя и смазку узлов трения. Диаметр вала D_1 составляет величины, близкие к значениям 25, 30, 35 мм. Длина вала достигает 8 м, диаметр внутреннего канала – 7, ..., 8 мм.

Головка представляет собой отдельный верхний сборочный узел, в котором размещены верхний упорный подшипник, крайний верхний подшипник ротора, узел токоввода и пробка для наполнения двигателя маслом. Основание расположено в нижней части двигателя и служит для размещения фильтра, обратного клапана для закачки масла, магнитов для улавливания продуктов износа. Узел токоввода состоит из кабельной муфты, электроизоляционной колодки и служит для электрического соединения кабельной линии с обмоткой статора электродвигателя. Электродвигатели могут иметь секционное исполнение из двух-трех отдельных секций с фланцевым межсекционным соединением и шлицевым соединением валов.

Из приведенного описания конструкций погружных электродвигателей следует их существенное отличие от асинхронных электродвигателей общепромышленного исполнения, в том числе и от двигателей единой серии 4А и серий Интерэлектро АИ: фактическое объединение в одном электродвигателе нескольких двигателей, работающих на один вал; «большая» длина при «малых» наружном диаметре статора D , магнитопровода статора D_1 , вала D_2 ; «большой» немагнитный зазор $\delta = 0,4, \dots, 1,5$ мм. Сюда следует добавить также сложные условия эксплуатации: пульсации момента сопротивления на валу двигателя вследствие действия газовых включений в пластовой жидкости; определенная вероятность ситуаций, при которой происходит заклинивание вала двигателя вплоть до его скручивания в результате солеотложения в проточной части центробежного насоса; сложный температурный режим и наличие агрессивных сред. Указанные обстоятельства в целом приводят к снижению энергетических показателей (η , $\cos\varphi$) погружных электродвигателей сравнительно с их аналогами по полезной мощности P_2 , серий 4А и АИ (например, для двигателей серии 4А имеем мощность $P_2 = 45$ кВт, $\eta = 91\%$, $\cos\varphi = 0,9$, мощность $P_2 = 250$ кВт, $\eta = 94,5\%$, $\cos\varphi = 0,91$; для погружных электродвигателей серии ЭД имеем: мощность

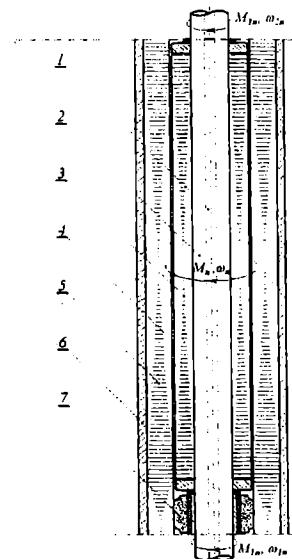


Рис. 1. Модуль погружного электродвигателя:
1 – канал для циркуляции масла, 2 – вал, 3 – пакет ротора,
4 – немагнитный зазор, 5 – пакет статора, 6 – корпус,
7 – подшипник

$P_2 = 45 \text{ кВт}$, $\eta = 85\%$, $\cos \varphi = 0,86$, мощность $P_2 = 250 \text{ кВт}$, $\eta = 85\%$, $\cos \varphi = 0,85$), к снижению срока эксплуатации и межремонтного периода, а также к необходимости уточнения математических моделей для выполнения исследований с целью принятия технологических решений.

Следуя системному подходу [2], рассматриваем погружной электродвигатель как сложную техническую систему, состоящую из совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих модулей. В качестве такого модуля выделяем часть двигателя между поперечными сечениями, проходящими через нижние края нижнего и верхнего соседних подшипников скольжения. В выделенный модуль входят (рис. 1): части корпуса (6), пакета статора с обмоткой (5), вала (2) с осевым каналом для циркуляции масла (1) между указанными выше поперечными сечениями. В него входят также пакет ротора с короткозамкнутой обмоткой (3), немагнитный зазор (4), заполненный циркулирующим маслом, и нижний подшипник скольжения (7). Общее количество выделенных модулей совпадает с числом пакетов ротора (3) N . Нижний модуль имеет номер $n = 1$, верхний $n = N$.

Взаимосвязь и взаимодействие выделенных модулей конструктивно обеспечивается общими для всех модулей корпусом, пакетом статора с обмоткой, каналами для циркуляции масла, общим валом двигателя. Взаимосвязь и взаимодействие двигателя и насоса реализуется посредством ($N + 1$) модуля. В него входят: часть вала двигателя между поперечными сечениями, проходящими через нижний край ($N + 1$) верхнего подшипника скольжения и нижний край шлицевой муфты, соединяющей валы двигателя и насоса; упорный подшипник, на котором подвешен ротор двигателя, турбинка для обеспечения циркуляции масла во внутренней полости двигателя. Другие элементы конструкции двигателя при математическом моделировании учитываются в той мере, в которой они обеспечивают функционирование двигателя в целом.

Следуя принципу иерархии при построении математических моделей в системном анализе и действуя в рамках систем с сосредоточенными параметрами, считаем системой каждый из ($N + 1$) выделен-

ных модулей; подсистемами – взаимосвязанные и взаимодействующие электрическую, магнитную и механическую подсистемы модулей; элементами – типовые элементы, соединением которых можно представить соответствующую схему замещения указанных выше подсистем. Объединение взаимосвязанных и взаимодействующих модулей как систем образуют суперсистему – двигатель в целом.

В качестве типовых элементов рассматриваемых подсистем используем тот их набор, который отражает основные учитываемые математической моделью физические эффекты и явления. Магнитная подсистема: L_{mn} – взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора по путям рабочего потока, R_{mn} – сопротивление магнитных потерь на вихревые токи и гистерезис в магнитных сердечниках статора и ротора. Различие в значениях L_{mn} , R_{mn} , $n = 1, \dots, N$ для каждого из N модулей учитывает технологический разброс параметров электротехнической стали (μ_n, γ_n – магнитная и электрическая проводимости), который реально превышает величину в 20%, а также разброс значений величины немагнитного зазора δ_n , особенно заметный при эксплуатации погружных двигателей в послеремонтный период. И то и другое учитывает осевую магнитную несимметрию погружного двигателя, что является его специфическим свойством, в меньшей степени присущим электродвигателям общепромышленного применения. Электрическая подсистема: L_{1n}, L_{2n} – индуктивности обмоток статора и ротора в каждом из выделенных модулей, R_{1n}, R_{2n} – сопротивления обмоток статора и ротора. Так же, как и в магнитной подсистеме, различие значений $L_{1n}, L_{2n}, R_{1n}, R_{2n}$, $n = 1, \dots, N$ учитывает осевую электрическую несимметрию погружного двигателя, что является его следующим специфическим свойством, связанным с его специфическим конструктивным исполнением, при котором длина двигателя в десятки раз превышает его диаметр. Механическая подсистема: J_{1n}, J_{3n}, J_{4n} – моменты инерции пакета ротора, нижнего и верхнего отрезков вала между ротором и поперечными сечениями каждого из выделенных модулей; C_{1n}, C_{2n} – податливости указанных выше отрезков вала, учитывающие свойства упругости вала при исследовании крутильных колебаний; K_{1n} – коэффициент трения в нижнем подшипнике скольжения модуля, K_n – коэффициент, учитывающий гидродинамические потери, возникающие при вращении пакета ротора в немагнитном зазоре, заполненном маслом. Как и в указанных выше подсистемах, различие параметров (в основном $K_{1n}, K_n, n = 1, \dots, N$) для каждого из N модулей отражает различие в проходных сечениях каналов циркуляции масла в немагнитном зазоре двигателя и фактически приводит к осевой несимметрии механической подсистемы. Заметим, что различие в значениях $R_{1n}, R_{2n}, R_{mn}, K_n, K_{1n}$, $n = 1, \dots, N$, кроме указанного, приводит к неравномерному тепловыделению по длине двигателя и, следовательно, к неравномерному нагреву двигателя, а при неблагоприятных сочетаниях параметров и условий эксплуатации приводит к локальным перегревам ротора и статора, к повреждениям и разрывам диафрагмы гидрозащиты, что постоянно отмечается в перечне причин, приводящих к отказам погружных двигателей. Идеальный электромеханический преобразователь энергии без потерь из электромагнитной энергии мощностью $P_m = R_{2n} I_{2n}^2$ в механическую мощность $P_{m, \omega_n} M_{n, \omega_n}$, $n = 1, \dots, N$ дополняет набор типовых элементов математической модели двигателя и отражает обмен энергией и ра-

ботой между механической и магнитной подсистемами [4].

Следуя далее эффективно применяемому в системном анализе методу аналогий, который позволяет моделировать подсистемы различной физической природы при помощи единого формального математического описания технических устройств, используем следующую электромеханическую аналогию: момент M – напряжение U , скорость вращения ω – ток i , вязкое трение K – сопротивление R , податливость C – емкость C , момент инерции J – индуктивность L , угол поворота θ – заряд q , импульс P – потокосцепление ψ , потенциальная энергия W_n – электрическая энергия W_c , запасаемая в емкости, кинетическая энергия W_k – магнитная энергия W_L , запасаемая в индуктивности. В результате переходим к следующему объединению перечисленных выше типовых элементов магнитной, электрической и механической подсистем в единую электрическую схему замещения п модуля двигателя (рис. 2).

Электрической схеме замещения модуля двигателя соответствует следующая система уравнений, записанная в форме уравнений состояния:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_{3n}}{dt} &= M_{31n} - M_{03n}, \\ \frac{dP_n}{dt} &= M_{03n} - M_{04n} - k_n \omega_n + M_n, \\ \frac{dP_{4n}}{dt} &= M_{40n} - M_{24n}, \\ \frac{d\theta_{31n}}{dt} &= -\omega_{3n} - \frac{1}{k_{1n}} M_{31n} + \frac{1}{k_{1n}} M_{1n}, \\ \frac{d\theta_{03n}}{dt} &= -\omega_n + \omega_{3n}, \\ \frac{d\theta_{40n}}{dt} &= \omega_n - \omega_{4n}, \\ \frac{d\theta_{24n}}{dt} &= -\omega_{4n} + \omega_{2n}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1n}}{dt} &= -R_{1n} i_{1n} + u_{2n} - u_{1n}, \\ \frac{d\psi_{L_n}}{dt} &= -R_{mn} i_{1n} + R_{mn} i_{2n} + R_{mn} i_{Ln}, \\ \frac{d\psi_{2n}}{dt} &= R_{mn} i_{1n} - (R_{2n} + R_{2sn} + R_{mn}) i_{2n} - R_{mn} i_{Ln} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$i_{2n}^2 R_{2sn} = M_n \omega_n \quad \} \quad (3)$$

Уравнения (1) представляют собой математическую модель механической подсистемы, уравнения (2) – магнитной и электрической подсистем, уравнение (3) – математическая модель электромеханического преобразователя энергии. В целом система дифференциальных уравнений (1), (2) и нелинейного алгебраического уравнения (3) суть математическая модель электромеханических процессов модуля двигателя. Заметим, что в соответствии с уравнением электромеханического преобразователя энергии (3) в уравнениях механической подсистемы (1) вместо механического момента M_n фактически должно быть выражение $i_{2n}^2 R_{2sn} \omega^{-1}$. Аналогично в уравнениях электрической и магнитной подсистем (2) вместо электрического тока i_{2n} фактически должно быть выражение $(M_n \omega_n R_{2sn})^{-1} S$. Высказанное замечание подчеркивает существующую глубокую взаимосвязь рассматриваемых подсистем: механические процессы уравнения (1) связаны с

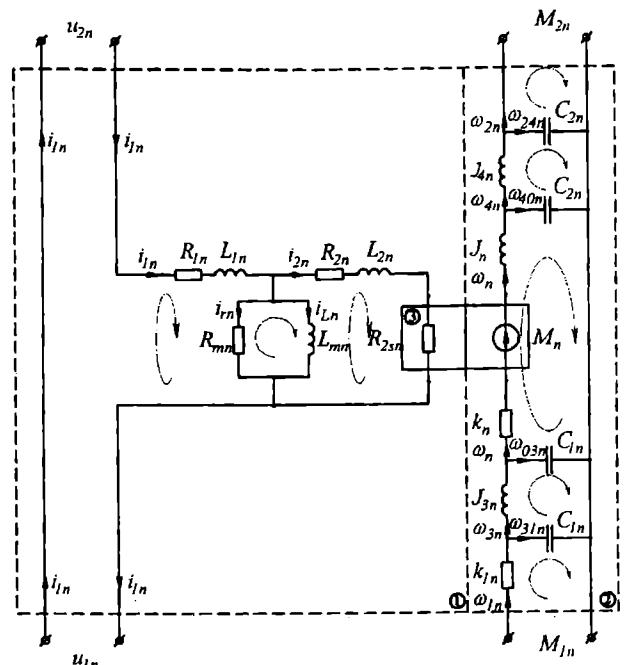


Рис. 2. Электрическая схема замещения модуля погружного электродвигателя:
1 – электрическая и магнитная подсистемы,
2 – механическая подсистема,
3 – электромеханический преобразователь энергии

электромагнитными (i_{2n}), а электромагнитные уравнения (2) с механическими (M_n, ω_n). Кроме того, совместное рассмотрение взаимодействующих подсистем приводит к неустранимым нелинейностям в силу квадратичной зависимости мощности и энергии, которыми обмениваются подсистемы, от переменных состояния (3). Последнее обстоятельство существенно усложняет анализ и исследование взаимодействующих подсистем, поскольку приводит к принципиально нелинейной системе дифференциальных уравнений (1), (2) даже в тех случаях, когда каждая из подсистем линейна, и частично объясняет все еще недостаточную проработку вопросов построения математических моделей погружных двигателей с учетом взаимодействия подсистем различной физической природы.

Для построения математической модели двигателя в целом необходимо учесть, что для $n=1$ имеет место быть $M_{1n}=0, s_{1n}=0$, для $n=N+1$ выполняется $J_n=J_{4n}=C_{2n}=0, M_n=0, \omega_{2n}=\omega, M_{2n}=M_c$, где M_c – момент сопротивления на выходном конце вала, ω – скорость вращения выходного конца вала и, кроме того, необходимо учесть уравнения связи между переменными состояния математических моделей подсистем модулей

$$\left. \begin{aligned} M_{1(n+1)} &= M_{2n} = -M_{24n}, \\ \omega_{1(n+1)} &= \omega_{2n}, \\ u_{1(n+1)} &= u_{2n}, \\ i_{1(n+1)} &= i_{1n} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В результате система уравнений (1), (2) с учетом ограничений при $n=1$ и $n=N+1$ и уравнений связи (4) составляет полную математическую модель электромеханических процессов погружных асинхронных электродвигателей. Данная модель в окончательном виде представляет собой нелинейную систему $10N+3$ обыкновенных дифференциальных уравнений.

Таким образом, поставленные в данной статье вопросы моделирования электромеханических процессов асинхронных маслонаполненных коротко-замкнутых погружных электродвигателей рассмотрены. Математическая модель взаимодействующих магнитной, электрической и механической подсистем разработана. Ее использование для анализа процессов энергопреобразования в условиях технологического разброса параметров двигателя удовлетворительны. Модель послужила основой создания программно-аппаратного комплекса, реализующего способ измерения момента двигателя в его рабочем состоянии [5].

Библиографический список

1. Ивановский В.Н. и др. Скважные насосные установки для добычи нефти: Учеб. пособие. В.Н. Ивановский, А.А. Сабиров, В.С. Каштанов, С.С. Пекин. — М. ГУП, Изд-во «Нефть и газ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. — 824 с.
2. Ковалев Ю.З. и др. Моделирование электротехнических комплексов и систем с позиций системного анализа: Препринт / Ю.З. Ковалев, А.Ю. Ковалев; Н.А. Ковалева, А.Г. Щербаков. — Омск: Издательство ОмГТУ, 2006. — 40 с.

3. Ковалев В.З. Энергетический подход к моделированию электротехнических комплексов и систем: Межвуз. темат. сб. науч. тр. Под ред. Ю.З. Ковалева. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2003. — С. 4-31.
4. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике: Учеб. для вузов. Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крещенко. — М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. — 496 с.
5. Ковалев Ю.З., Ковалев В.З., Кузнецов Е.М. Способ измерения момента электродвигателя: Решение от 18.01.2006 г. о выдаче патента Российской Федерации на изобретение по заявке № 2004130536/28.

КОВАЛЕВ Юрий Захарович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрической техники ОмГТУ, заслуженный деятель науки и техники РФ.

КОВАЛЕВ Александр Юрьевич, НОУ ВПО «Академический институт прикладной энергетики».

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.

© Ковалев Ю. З., Ковалев А. Ю.

УДК 621.316.9

**М. Я. КЛЕЦЕЛЬ
К. И. НИКИТИН
А. С. СТИНСКИЙ**

Павлодарский государственный
университет

Омский государственный
технический университет

ОТНОШЕНИЯ ТОКОВ ФАЗ — ОСНОВА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ РЕЗЕРВНОЙ ЗАЩИТЫ ТРАНСФОРМАТОРА

Предлагается принцип построения и структурная схема резервной защиты трансформатора к двухфазным КЗ на стороне низкого напряжения, использующий отношение фазных токов при указанном виде повреждения.

Чувствительность резервной токовой защиты понижающего трансформатора к несимметричным коротким замыканиям на низкой стороне во многих случаях бывает недостаточной, так как ток срабатывания необходимо отстраивать от тока самозапуска и учитывать увеличение нагрузки при действии автоматического включения резерва [1]. Чтобы не отстраиваться от тока самозапуска, используются реле минимального напряжения, что снижает надёжность защиты.

Существенно повысить чувствительность резервной токовой защиты трансформаторов со схемой соединения Y/Δ к двухфазным коротким замыканиям (КЗ) позволяет использование известного соотношения токов на стороне высокого напряжения при КЗ за трансформатором, когда (если не учитывать влияние нагрузки) ток в одной из фаз превышает по абсолютному значению токи в других фазах в два раза [1]. Условием срабатывания защиты будет $|I_{\max}| / |I_{\min}| = 2$, и устройство не надо отстраивать от тока нагрузки, поскольку в рабочих режимах фазные токи

равны между собой. Обычно в неповреждённой фазе с низкой стороны трансформатора есть ток, величина которого зависит от мощности и характера нагрузки, а в повреждённых фазах ток нагрузки накладывается на токи КЗ, увеличивая полный ток одной фазы и уменьшая другой. С учётом погрешности трансформаторов тока ε_1 , измерительных органов защиты ε_2 и допустимой несимметрии фазных токов в рабочем режиме ε_3 условие срабатывания защиты можно записать следующим образом:

$$\frac{1 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{1 + \varepsilon_2} \cdot \frac{|I_{\max}|}{|I_{\min}|} \geq \frac{1 + (\varepsilon_2 + \varepsilon_3)}{1 - (\varepsilon_2 + \varepsilon_3)} \cdot \frac{|I_H|}{|I_{\max}|} \cdot k_{\text{зап}}, \quad (1)$$

где I_H — ток нагрузки в нормальном режиме, $k_{\text{зап}}$ — коэффициент запаса, учитывающий погрешности расчётов и возможность КЗ через переходное сопротивление.

Для токов на высокой стороне трансформатора с соединением обмоток Y/Δ при замыкании между фазами В и С имеем [2]:

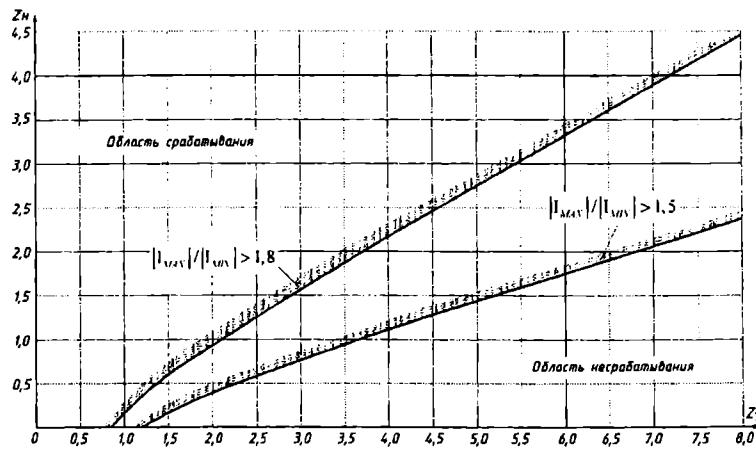


Рис. 1

$$I_A = \frac{E_A}{2 \cdot n_{mp}} \left(\frac{\sqrt{3}}{Z_c + Z_T + Z_H} - j \frac{1}{Z_c + Z_T} \right),$$

$$I_B = -\frac{E_A}{2 \cdot n'_{mp}} \left(\frac{\sqrt{3}}{Z_c + Z_T + Z_H} + j \frac{1}{Z_c + Z_T} \right),$$

$$I_C = j \frac{E_A}{(Z_c + Z_T) \cdot n_{mp}},$$

$$n'_{mp} = \sqrt{3}n;$$

где Z_c – приведенное к стороне низкого напряжения сопротивление сети, Z_T – приведенное сопротивление трансформатора; Z_H – полное сопротивление нагрузки; I_A (I_B , I_C) – полные токи в фазах A (B, C); E_A (E_B , E_C) – ЭДС фаз A (B, C); n – коэффициент трансформации трансформатора при соединении обмоток Y/Y.

Условие срабатывания предлагаемой защиты – отношение абсолютных значений максимального из токов в фазах к минимальному при возникновении двухфазного КЗ получим при подстановке в (1) $I_{MAX} = I_C$, $I_{MIN} = I_B$, $\epsilon_1 = 0,1$, $\epsilon_2 = 0,02 \div 0,05$, $\epsilon_3 = 0,05 \div 0,075$, $k_{ЗАП} = 1,1$, $Z_y = Z_c + Z_T$:

$$\frac{|I_{MAX}|}{|I_{MIN}|} = \frac{2}{\sqrt{\frac{3 \cdot Z_y^2}{(Z_c + Z_H)^2} + 1}} \geq 1,5 + 1,8 \quad (2)$$

Область срабатывания защиты при возникновении двухфазного КЗ (графическое решение неравенства (2)) ограничена кривыми на рис. 1. По кривым можно найти наименьшее сопротивление нагрузки, допустимое по условию срабатывания защиты для трансформаторов со схемой соединения обмоток Y/Δ. Согласно расчётам, величина Z_H , удовлетворяющая неравенству (2), для большинства трансформаторов из [3] не ограничена. В таблицу 1 сведе-

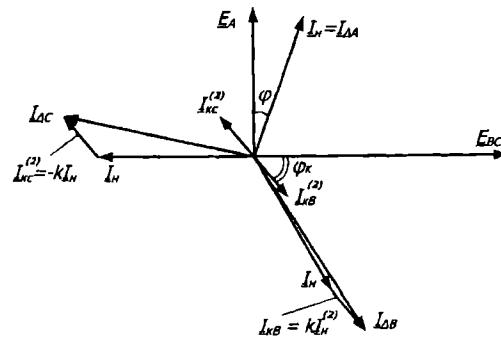


Рис. 2

ны данные трансформаторов, для которых минимально возможное сопротивление Z_H определено неравенством (2) из условия $|I_{MAX}|/|I_{MIN}| > 1,8$. На практике сопротивления нагрузки значительно превышают минимально допустимые по таблице 1, поэтому защиту без каких-либо ограничений можно устанавливать на всех трансформаторах.

При расчёте Z_y сопротивление Z_T принималось максимальным (при крайнем верхнем положении РПН), а сопротивление сети Z_c – равным 0,1 Z_T (практически оно всегда меньше). Сопротивление каждого трансформатора приведено к стороне низкого напряжения. В таблице 1 $U_{Bн}$ – номинальное напряжение первичной обмотки трансформатора, $U_{Hн}$ – номинальное напряжение вторичной обмотки, Str – номинальная мощность трансформатора.

Векторная диаграмма токов I_{AA} , I_{AB} , I_{AC} на стороне низкого напряжения трансформатора при КЗ между фазами B и C с учётом нагрузки показана на рис. 2, где $I_{KB}^{(2)}$ и $I_{KC}^{(2)}$ – токи двухфазного КЗ в фазах B и C, ϕ – угол между током и напряжением фазы A при номинальной нагрузке, ϕ_K – угол между током двухфазного КЗ и междуфазным напряжением E_{BC} .

Таблица 1

Трансформатор	Str, МВА	U _{Bн} , кВ	U _{Hн} , кВ	Z, Ом	Z _H , Ом
ТМН-2500/110	2,5	110	6,6	2,31	> 1,20
ТМН-6300/110	6,3	115	6,6	0,92	> 0,11
ТДН-25000/110	25	115	38,5	7,88	> 4,20
ТДН-40000/110	40	115	38,5	4,92	> 2,60
ТДН-63000/110	63	115	38,5	3,13	> 1,70
ТДН-80000/110	80	115	38,5	2,46	> 1,30

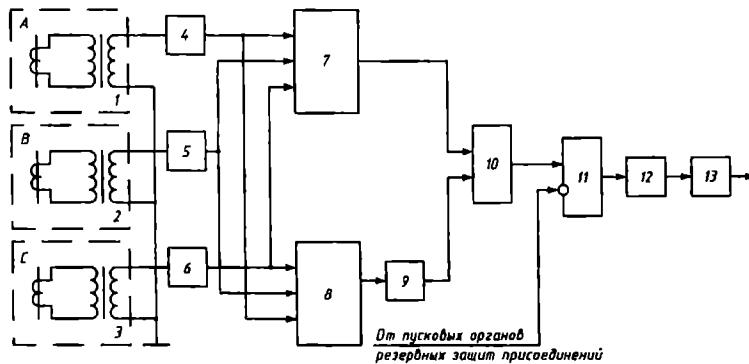


Рис. 3

Несмотря на то, что предлагаемая защита использует информацию о величине фазных токов, её чувствительность не может оцениваться коэффициентом чувствительности k_q , как это принято в настоящее время, поскольку у неё нет тока срабатывания. Поэтому будем судить о чувствительности по минимальному току КЗ, на который способна реагировать защита. Это не противоречит определению чувствительности как способности защиты реагировать на ток повреждения в зоне её действия. Согласно расчётам, при минимальных значениях ϵ_2 , ϵ_3 , в зависимости от разности углов ϕ и ϕ_K , ток двухфазного КЗ, на который способна реагировать защита, может быть значительно меньшим тока I_H .

Схема устройства, реализующего рассматриваемый принцип, изображена на рис. 3. Устройство содержит три преобразователя тока в напряжение для фаз А, В, С, выполненные в виде трансформаторов 1, 2, 3, три выпрямителя 4, 5, 6, макси-селектор 7, мини-селектор 8, формирователь опорной величины 9, блок 10 сравнения величин по абсолютному значению, элемент И 11 с прямым и инверсным входом, реле времени 12, исполнительный орган 13. В любом режиме в преобразователях 1, 2, 3 производится преобразование тока в напряжение. Полученное напряжение, пропорциональное токам фаз А, В, С, выпрямляется выпрямителями 4, 5, 6 соответственно. Из сигналов, полученных с выходов выпрямителей 4, 5, 6, при помощи максиселектора 7 и миниселектора 8 выбираются максимальное и минимальное значения. Они пропорциональны токам фаз $|I_{MAX}|$ и $|I_{MIN}|$. Далее в формирователе 9 значение минимальной величины увеличивается в 1,8 раза. Блок сравнения 10 сравнивает $|I_{MAX}|$ и $1,8|I_{MIN}|$. Если выполняется условие срабатывания $|I_{MAX}| \geq 1,8|I_{MIN}|$, что равносильно $|I_{MAX}|/|I_{MIN}| \geq 1,8$, то на прямой вход элемента И 11 подаётся сигнал. Пуск реле времени произойдет, если на инверсном входе элемента И 11 отсутствует сигнал от пусковых органов резервных токовых защит присоединений, подключенных к тем же шинам, что и защищаемый трансформатор.

В режиме симметричной нагрузки значения токов в фазах равны между собой, поэтому $|I_{MAX}| = |I_{MIN}|$, условие $|I_{MAX}| \geq 1,8|I_{MIN}|$ не выполняется, на выходе элемента 10 сигнал отсутствует, пуска реле времени не происходит.

В режиме двухфазного КЗ за трансформатором, если выполняется условие (2), значение максимального тока будет превышать значение минимального более чем в 1,8 раза, поэтому блок сравнения через элемент 11 запустит реле времени 12, которое, доработав, подаст сигнал на исполнительный орган 13.

В режиме несимметричной нагрузки разница между токами фаз может достигнуть 50% (при близ-

ком двухфазном КЗ на соседнем присоединении на стороне высокого напряжения). На выходах максиселектора и мини-селектора появятся сигналы, соответствующие максимальному и минимальному токам в фазах. Например, если $|I_A| = |I_H|$, $|I_B| = 0,5|I_H|$, $|I_C| = 0,5|I_H|$, то $|I_{MAX}| = |I_H|$, $|I_{MIN}| = 0,5|I_H|$. На выходе блока сравнения появится сигнал, так как $|I_{MAX}|/|I_{MIN}| > 1,8$; но на инверсном входе элемента И 11 появится сигнал от пускового органа резервной защиты присоединения, на котором произошло КЗ, поэтому реле времени не запустится.

В практике эксплуатации использование информации от пусковых органов резервных защит соседних присоединений является затруднительным, поэтому установка предлагаемой защиты наиболее целесообразна на одиночных трансформаторах, например в схемах электроснабжения с применением радиальных глубоких вводов 110-220 кВ [4].

Вывод

Предложенный принцип повышения чувствительности резервной защиты трансформатора к двухфазным КЗ позволяет не отстраиваться от токов нагрузки и самозапуска.

Библиографический список

1. Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электротехнических систем: Учеб. для вузов. — 2 изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1992. — 528 с.: ил.
2. Гимоян Г. Г. Релейная защита горных электроустановок. Изд. 2, перераб. и доп. — М.: Недра, 1978. — 349 с.
3. Неклесаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с., ил.
4. Ермилов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 208 с., ил.

КЛЕЦЕЛЬ Марк Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и управление» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова.

НИКИТИН Константин Иванович, кандидат технических наук, доцент Омского государственного технического университета.

СТИНСКИЙ Александр Сергеевич, аспирант, инженер (г. Павлодар).

Статья поступила в редакцию 10.11.06 г.

© Клецель М. Я., Никитин К. И., Стинский А. С.

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.316.925

В. А. БОРОДЕНКО

Павлодарский государственный
университет им. С. Торайгырова
(Казахстан)

МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ СИНТЕЗА УСТРОЙСТВ СИСТЕМНОЙ АВТОМАТИКИ

Определена роль моделирования на основных этапах создания устройств системной автоматики, приведен пример использования моделирования при синтезе фазочувствительного пускового органа АВР. Показано, что для формирования логической структуры устройства вполне достаточно упрощенной модели и распространенной среды вычислений.

Моделирование является непременной принадлежностью процесса создания устройств релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА) энергосистем. На каждом этапе оно преследует различные цели и осуществляется разными средствами.

В процедуре синтеза устройства ПА можно выделить, по крайней мере, четыре этапа, требующих моделирования поведения устройства или отдельных его элементов. На этапе формирования общего представления о назначении устройства и особенностях его поведения в определенных режимах моделирование ставит целью сформулировать алгоритм функционирования устройства и проверить его истинность. Здесь предпочтительнее использование средств общего назначения, не требующих знания каких-либо языков программирования или умения

работать со специальным оборудованием, и поведенческое описание объекта. В то же время, очевидно, необходимо хорошее представление о процессах, происходящих в объекте электроснабжения при моделируемых условиях.

Далее на первый план выходит элементная база, в которой предполагается реализовать средства ПА. В зависимости от методологии синтеза — исходящее или восходящее проектирование, изменяется порядок моделирования отдельных элементов, узлов, блоков, устройства в целом. Как правило, моделирование поведения производится в машинном (модельном) времени штатными средствами системы автоматизированного проектирования (САПР), в которой выполняется синтез дискретного устройства. Так, при создании его на перспективной

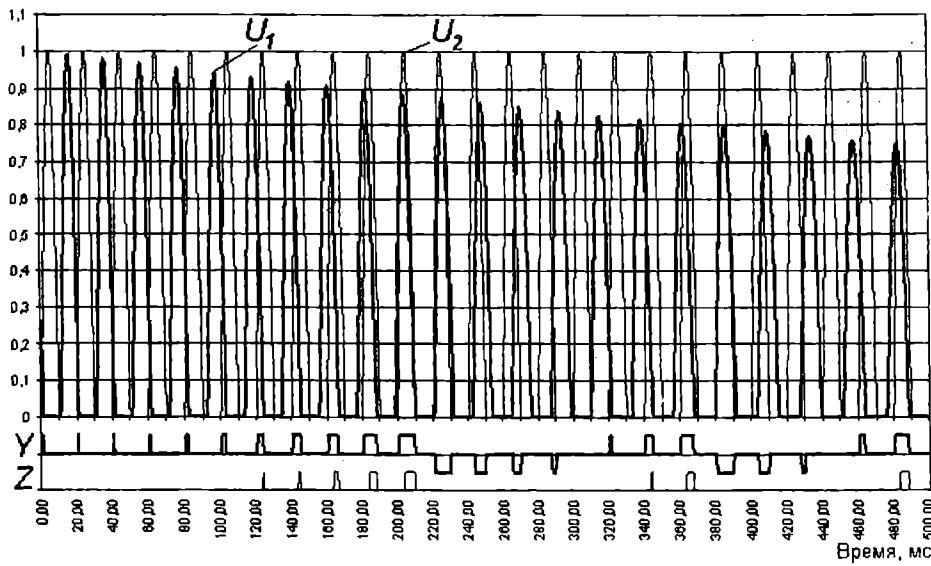


Рис. 1. Реакция пускового органа на выбег электродвигателей

элементной базе – программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), может быть использована САПР MAX+ PLUS II [1]. В этой системе после компиляции объекта возможна симуляция поведения при задаваемой сигнальной последовательности на входах, проверка отсутствия рисков и т. п.

Третий этап подразумевает изготовление опытных образцов (малой серии) устройства и моделирование в темпе реального времени – лабораторный эксперимент. К числу решаемых здесь проблем относится выбор источника испытательных воздействий, подбор регистрирующей и измерительной аппаратуры. Можно считать наилучшей возможность использование динамической модели [2], позволяющей за установленный промежуток времени испытать устройство многократно, а следовательно, произвести одновременно ускоренную тренировку и сократить время приработки опытных экземпляров.

Окончательным критерием правильности высказанных и реализованных положений являются результаты производственного эксперимента – моделирование поведения устройства непосредственно в действующей электроустановке, в режимах соответствующих тем, для которых оно предназначалось. Поскольку длительность эксперимента и число опытов, как правило, ограничены рамками производства, целесообразно совмещение нескольких видов испытаний, либо соединение их в такой временной последовательности, чтобы они естественно переходили друг в друга. Проблему выбора регистрирующей аппаратуры можно полагать решенной на предшествующем шаге, а поиск источника тестовых воздействий не требуется вообще, поскольку необходимые воздействия формируются процессами в первичном оборудовании [3].

На данном этапе становится важным тщательное составление и согласование с оперативным персоналом программы испытаний, по возможности не нарушающей устойчивость работы потребителей, электрически связанных с испытуемым объектом, и непрерывность технологических процессов, исключающей возможность повреждения первичного оборудования, удовлетворяющей требованиям правил техники безопасности и технической эксплуатации. Отметим наблюдающееся зачастую отсутствие у эксплуатационного персонала исполнитель-

ных схем вторичной коммутации, затрудняющее не только привязку устройств к существующим цепям РЗ и ПА, но и проведение эксперимента в целом.

Рассмотрим этапы моделирования на примере синтеза фазочувствительного пускового органа (ПО) автоматики включения резерва (АВР) для объектов электроснабжения с двигательной нагрузкой [4]. Компьютерное моделирование для проверки работоспособности основного принципа производилось в достаточно распространенной среде для производства научных, математических расчетов и программирования MS EXCEL (рис. 1). Отметим, что в среде MS EXCEL легко осуществляется одновременный вывод результата в таблицу и на график. Максимально упрощенная модель позволяет, тем не менее, выявить все характерные особенности поведения ПО, необходимые для построения его логической структуры.

При исчезновении питающего напряжения электродвигатели (ЭД) выбегают, вследствие их торможения изменяется частота остаточного напряжения секции с ЭД, благодаря чему непрерывно изменяется взаимный фазовый угол δ между напряжениями рабочего и резервного источников, приблизительно по экспоненциальному закону снижается величина остаточного напряжения. Разрабатывается пусковой орган, выявляющий потерю рабочего напряжения по величине и знаку угла δ . Предполагается, что в ходе моделирования напряжение U_2 резервного источника (второй секции) сохраняет неизменным начальное значение, амплитуда которого может задаваться, а его частота сохраняет номинальное значение $\omega_0 = 50$ Гц.

Для напряжения U_1 , соответствующего объекту с двигательной нагрузкой, могут быть заданы перед моделированием: длительность затухания $t_{\text{зат}}$ остаточной ЭДС до величины 5 % номинального значения, механическая постоянная инерции эквивалентной нагрузки $T_{\text{ж,экв}}$ (уже приведенная с учетом коэффициента загрузки k_g агрегата), а также начальные условия: амплитудное значение $U_{1, \text{ нач}}$ и фазовый сдвиг $\delta_{\text{ нач}}$ (δ_0) напряжений источников в момент начала выбега.

В программе можно учесть, что амплитудное значение напряжения секции с двигателями в момент потери питания, как правило, падает до $(0,85-0,9)U_{\text{ном}}$, хотя может и возрасти до $1,3U_{\text{ном}}$, если синхронные

двигатели перед этим работали в режиме компенсации реактивной мощности. С помощью начального фазового сдвига $\delta_{\text{ нач}}$ можно воспроизвести существующую несинфазность напряжений резервируемых источников в рабочем режиме, однако гораздо более существенным является учет скачка фазы в момент отделения секции от питающего источника. Данный скачок является следствием мгновенной смены напряжения источника остаточным напряжением двигателей, работающих с некоторым углом нагрузки δ_0 . Кроме того, задаются конечное значение интервала исследования $t_{\text{ кон}}$ и шаг Δt (в миллисекундах). Устанавливаемое значение чувствительности входных пороговых элементов $U_{\text{ср}}$ проектируемого устройства является общим для обоих напряжений и в данном случае равно $0,1U_{\text{ном}}$.

Программа дает возможность не только установить факт превышения заданной разности фаз напряжений и длительность существования этого режима, но и сформировать реакцию на знак угла сдвига фаз (порядок чередования фаз), что характерно для последовательностных фазочувствительных ПО. Моделирование поведения последовательностного ПО АВР в ходе выбега двигательной нагрузки первой секции производилось при следующих исходных данных: длительность затухания остаточной ЭДС $t_{\text{ ЗДС}} = 5$ с, механическая постоянная инерции эквивалентной нагрузки $T_{\text{ жкв}} = 5$ с, амплитудное значение в момент начала выбега $U_{t_{\text{ нач}}} = 1,0$ о.е., фазовый сдвиг напряжений источников в момент начала выбега $\delta_{\text{ нач}} = 15$ град.

Положительные импульсы в последовательности Y соответствуют совпадению полуволн u_1 и u_2 при опережающем появлении u_1 (положительном знаке разности фаз), отрицательные импульсы — тоже при опережающем появлении u_2 (отрицательном знаке разности фаз). Изменение знака управляющей последовательности Y соответствует переходу угла сдвига фаз напряжений через 180° , пауза — попаданию в зону нечувствительности вблизи $\delta = 0^\circ$. Наблюдаются неравенство длительностей импульсных последовательностей разного знака в течение одного цикла (несимметрия полуperiодов) и сокращение общей длительности последовательности с каждым следующим циклом проворота векторов напряжений. При дальнейших исследованиях эти явления подтверждены аналитическим путем и в производственном эксперименте.

Время ожидания $t_{\text{ож}}$ является время от момента возникновения потери питания до момента, когда этот факт установлен устройством автоматики. Аналитически время ожидания может быть определено из формулы

$$t_{\text{ож}} = \sqrt{\frac{\delta_{\text{ср}} \cdot T_{\text{жкв}}}{9000}}, \text{ с.}$$

где $\delta_{\text{ср}}$ — угол срабатывания устройства, равный:

$$\delta_{\text{ср}} = \left(\arcsin\left(\frac{U_{\text{ср}}}{U_1}\right) + \arcsin\left(\frac{U_{\text{ср}}}{U_2}\right) \right) \frac{180}{\pi}, \text{ град.}$$

На основе полученных результатов уже можно сформулировать общий подход к выбору угла срабатывания фазочувствительного ПО АВР и его структуры. При высоких требованиях к быстродействию ПО АВР уставка не должна существенно превышать угол нагрузки δ_0 синхронных двигателей в нормальном режиме, поскольку при потере питания вектор остаточного напряжения на секции с двига-

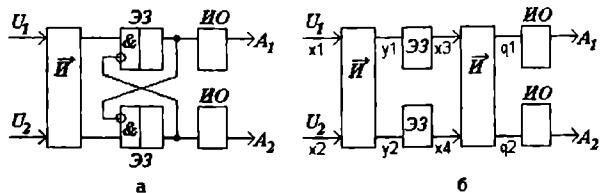


Рис. 2. Логическая структура последовательностного ПО АВР

И — последовательностная схема совпадения с контролем порядка чередования импульсов, ЭЗ — элемент задержки, ИО — исполнительный орган, A_1 (A_2) — выход команды на отключение первого (второго) ввода подстанции

телями мгновенно смещается на величину, равную эквивалентному углу нагрузки. Если при этом сразу будет достигнута уставка срабатывания, исключается неопределенное время $t_{\text{ож}}$ разворота ротора, эквивалентного СД от δ_0 до $\delta_{\text{ср}}$. Орган действует без дополнительной задержки.

Так, при скачке на секции фазы напряжения двигателей до значения угла нагрузки $\delta_0 = 15^\circ$ исчезновение питающего напряжения определяется мгновенно, практически при $t = 0$ (управляющая последовательность Y), тогда как угол 180° достигается лишь при $t = 0,22$ с.

С другой стороны, при различных неисправностях ТН, например, перегорании предохранителя высокого или низкого напряжения, обрыве фазы, происходит мгновенное изменение вторичных напряжений как по амплитуде, так и по фазе. В частности, при обрыве одной фазы вторичных цепей ТН возможно смещение фазы, по крайней мере, одного напряжения на 120° и снижение его амплитуды до $0,5U_{\text{ном}}$. Очевидно, что это может привести к ложному формированию признака потери питания. Поэтому в общем случае необходимо задать уставку по углу срабатывания устройства — например, с помощью задержки на срабатывание t_1 , величиной 1-4 мс; влияние задержки $t_1 = 3$ мс отражает импульсную последовательность Z . Импульсный характер сигнала требует введения задержки на исчезновение сигнала t_1 , величиной около 0,3-0,4 с.

При потере питания действие автоматики не должно иметь места до явного выхода СД из синхронизма с сетью, отсюда уставку по углу желательно принять не менее 90° — при меньших значениях для синхронных машин, как правило, сохраняют устойчивость. Известно также, что восстановление питающего напряжения с углом δ около $105-135^\circ$ опасно для двигателей по условию величины момента на валу, с δ порядка 180° — по условию деформации изоляции обмоток и величины тока включения. Кроме того, величина разности фаз 180° обычно свидетельствует о нарушении синхронизма двигателей с питающим источником и неопределенности результата их самостоятельной ресинхронизации после восстановления электроснабжения. Таким образом, величина δ , равная $90-180^\circ$, позволяет констатировать наиболее неблагоприятные условия работы синхронной машины, и, следовательно, указывает на необходимость замещения питающих вводов с выполнением целесообразных сопровождающих операций (гашение возбуждения двигателей, отключение неответственных потребителей и т.п.).

Величина $\delta_{\text{ср}}$, выбранная в диапазоне углов $150-180^\circ$, позволяет отстроиться и от режимов, сопровождающихся сдвигом по фазе напряжений на входах органа в режимах неисправности ТН или энергосис-

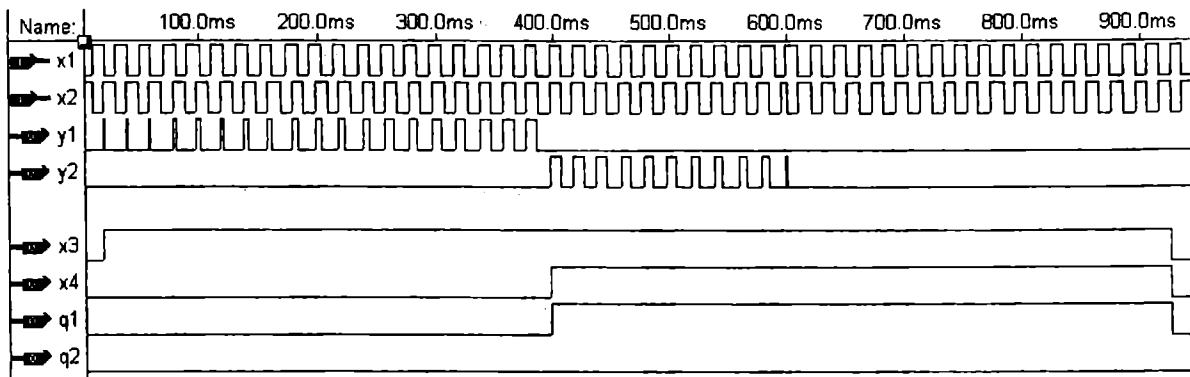


Рис. 3. Симуляция поведения пускового органа в САПР MAX+plus II

темы. Однако она требует использования в устройстве высокоточных, устойчивых к изменениям температуры окружающей среды и срока эксплуатации компонентов, поскольку разница в величине задержки t_3 , соответствующей значениям угла 120° (неисправность ТН) и 150° , составляет при номинальных напряжениях всего 1,67 мс и уменьшается с увеличением порога срабатывания формирователей импульсов или снижением амплитуды напряжений.

Одновременно такая уставка ухудшает чувствительность устройства по напряжению. Так, если принять за время отстройки t_3 длительность совпадения полуволн напряжений 5,71 мс на уровне уставки $0,1U_{ном}$ в режиме неисправности ТН (напряжение $0,5U_{ном}$, угол сдвига фаз 120°), то при снижении напряжения ЭД до $0,15U_{ном}$ полная длительность совпадения полуволн уменьшается до 5,35 мс, и орган отказывает в работе. При времени отстройки $t_3 = 3$ мс момент срабатывания выявительного органа отодвигается от 0 до 0,12 с, что говорит об ухудшении быстродействия.

В соответствии с результатами моделирования прогнозируются два варианта логической структуры фазочувствительного ПО быстродействующего АВР для объектов электроснабжения с ответственной двигательной нагрузкой. Устройство с действием в интервале разности фаз напряжений $0-180^\circ$ (рисунок 2, а) является более быстродействующим, однако требует принятия дополнительных мер для предотвращения ложного срабатывания при неисправностях ТН или прочих аномальных режимах, сопровождающихся сдвигом фаз напряжений. Основой органа является последовательностная схема совпадения. Уставка по углу здесь необходима, она может задаваться длительностью задержки на срабатывание. Кроме того, требуется блокировка действия органа по одному из каналов, если уже произошло срабатывание в другом канале, поскольку знак разности фаз рабочего и резервного напряжений в процессе выбега ЭД многократно меняется, и возможно ложное действие.

Во второй схеме ПО (рисунок 2, б) производится двойная проверка изменения порядка следования фаз, что исключает необходимость в задании уставки по величине угла ($\delta_{cp} = 180^\circ$) и во взаимной блокировке каналов. В целом это упрощает изготовление и эксплуатацию ПО, однако время выявления потери питания подобным органом возрастает. Задержка на появление сигнала здесь играет вспомогательную роль и может отсутствовать. Учитывая импульсный характер сигнала и его полное исчезновение в зоне нечувствительности органа, задержка сигнала на исчезновение необходима в обеих схемах.

Схема устройства второго типа собрана в САПР MAX + plus II на программируемой логической схеме типа EPM7032SLC44-10 фирмы Altera. Входные переменные обозначены x_1 , x_2 , выходные q_1 , q_2 , дополнительные узлы y_1 , y_2 , x_3 , x_4 введены для контроля правильности функционирования и в окончательном варианте могут быть исключены. Симуляция поведения разработанного устройства штатными средствами САПР в режимах потери питания двигательной нагрузки (рис. 3) подтверждает выводы, сделанные при первичном моделировании принципа работы в среде MS Excel.

Импульсы x_1 и x_2 , normally следующие в противофазе, начинают при выбеге электродвигателей первой секции совмещаться, причем с опережением переменной x_1 . В силу этого формируется последовательность импульсов возрастающей длительности на выходе y_1 первого последовательностного элемента \bar{I} , элемент задержки первого канала переключается и образует на своем выходе непрерывный сигнал $x_3 = 1$. С достижением разностью фаз напряжений значения 180° уже на выходе y_2 появляется последовательность импульсов убывающей длительности, поскольку теперь при совпадении входных импульсов опережающей оказывается переменная x_2 . В момент срабатывания (0,4 с) второго элемента задержки второй последовательностный элемент \bar{I} формирует сигнал $q_1 = 1$, т. к. на его вводах имеются обе переменные: x_3 (опережающая) и x_4 . Этим сигналом отключается выключатель первого ввода подстанции, от чего включается секционный выключатель (0,6 с), на неисправную секцию подается резервное напряжение. Переменные x_1 и x_2 формируются опять поочередно, и через $t_4 = 0,32$ с элементы задержки возвращают пусковой орган в исходное состояние. Время срабатывания ПО АВР зависит от инерции агрегата электродвигатель – приводимый механизм.

Выводы

Моделирование на первом этапе синтеза устройства ПА позволяет сформировать представление о необходимых уровнях срабатывания входных пороговых элементов, уставке срабатывания по углу, необходимости специального ввода временных задержек или взаимных блокировок в логическую структуру устройства. В совокупности это дает возможность определить предполагаемую структуру пускового органа и перейти к аппаратному синтезу. При этом достаточно использовать упрощенную модель и неспециализированные среды программирования, вычислений или моделирования.

Библиографический список

1. Стешенко В. Б. ПЛИС фирмы «Алтера»: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. — М.: Додека-XXI, 2002. — 576 с.
2. А. С. 847394 СССР. Устройство для испытания релейных схем сравнения по фазе / В. А. Бороденко; опубл. 15.07.81, Бюл. № 26. — 3 с: ил.
3. Бороденко В. А., Бороденко Г. Н. Установка для моделирования возмущений по питанию в электроприводе переменного тока. — В кн.: Электрооборудование промышленных установок. — Горький, изд-во ГПИ, 1986. — С. 39-43.

4. Бороденко В. А. Повышение эффективности автоматики подстанций с двигателевой нагрузкой: Аналитический обзор. — Павлодар, ЦНТИ, 2005. — 88 с.

БОРОДЕНКО Виталий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Автоматизация и управление».

Статья поступила в редакцию 30.10.06 г.

© Бороденко В. А.

УДК 535:621.31

В. И. ГОРБУНКОВ
А. П. ПОПОВ

Сибирская государственная
автомобильно-дорожная академия

Омский государственный
технический университет

РЕГУЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСА ЭНЕРГИИ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ДОЗИРОВАНИИ ИЗЛУЧЕНИЯ РТУТНЫХ ЛАМП

По уровню квантовой эффективности ультрафиолетовое излучение (УФИ) имеет неоспоримое преимущество перед видимым и инфракрасным излучением, что делает метрологическое обеспечение рассматриваемой методики дозирования весьма актуальным. Это позволяет использовать электронный дозатор как прибор, обеспечивающий воспроизводимость и повторяемость результатов при биологических исследованиях, а также в медицинской практике. Вместе с тем авторы уделили внимание возможности дозирования видимого и инфракрасного излучения.

Проблема точно определенной дозы ультрафиолетового излучения [1] возникает, прежде всего, при определении фотобиологической безопасности источников ультрафиолетового облучения (УФО) при использовании в целях:

- лечебно-профилактического УФО;
- санитарно-противоэпидемических мероприятий, направленных на подавление жизнедеятельности микроорганизмов в водной, воздушной и иных средах.

С этой же проблемой сталкиваются, например, при использовании медицинской технологии экстракорпоральной фотогемотерапии (воздействия на кровь ультрафиолетовым излучением), которая благодаря иммунорегулирующему эффекту перспективна для применения в клинической практике.

В последнее время внимание исследователей [2] стало привлекать воздействие всего диапазона оптического излучения на возможности изменений компонентов крови. Естественно, что нельзя рассматривать ряд основных процессов фотогемотерапии, таких, как разрыв связей молекул, диссоциация молекул, а также эффекты возбуждения гармонических колебаний и нагрев без изменения структуры молекул [3] неотрывно от величины квантовой эффективности излучения, начиная с УФ-диапазона и заканчивая инфракрасным.

Кроме того, появился интерес [4] к спектрам комбинационного рассеяния, получаемым путем облучения крови интенсивными линиями видимой части спектральной ртути — 435,8 нм., 404,7 нм. и 546,2 нм.

Поскольку ртутная газоразрядная лампа низкого давления (ГЛ НД) в подавляющем числе медицинских приборов [2] находится, по соображениям безопасной эксплуатации, в замкнутом теплоизолированном пространстве, то ее работу целесообразно рассмотреть в приближении абсолютно черного тела [5]. Спектр излучения закрытой ртутной ГЛ НД — линейчатый, в целом соответствует закону излучения Планка с температурой 9 270 К. Несмотря на низкое давление, в газоразрядной плазме этой лампы устанавливается термодинамическое равновесие, приводящее к существенному изменению спектральных характеристик излучения по сравнению с открытой лампой.

Из приведенной на рис. 1 спектральной характеристики ртутной ГЛ НД видно, что интенсивность излучения резонансной линии 253,7 не превышает 10% от общей интенсивности, в то время как в открытой лампе ее доля доходит до 90% [6]. Кроме этого, в спектре появились линии, сравнимые по интенсивности с ней: это линии среднего и мягкого ультрафиолета (табл. 1.) и линии комбинационного рассеяния.

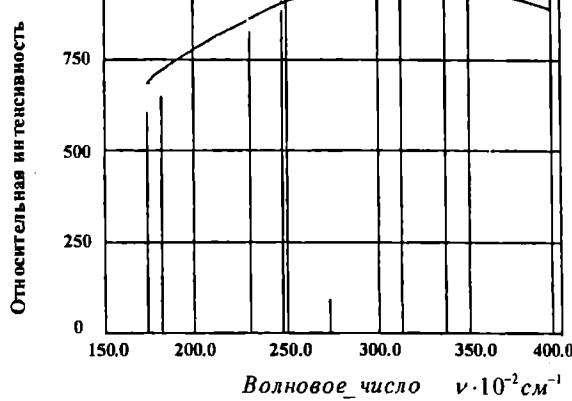


Рис. 1. Спектр излучения лампы ДРБ 8, находящейся в непрозрачной, металлической полости. Значение разрядного тока составляет 0,390 А, падение напряжения - 56 В. Непрерывная кривая, огибающая максимумы спектральных линий, - кривая Планка.

Развитие нанотехнологий и диффузионных методов изготовления полупроводниковых приборов привели к появлению фотодиодов, работающих в широком диапазоне частот, включая ультрафиолет, и обладающих термонезависимыми характеристиками [7].

Частотный диапазон представленной на рис. 2 характеристики спектральной чувствительности фотодиода ФД УФ-1 достаточно широк, чтобы выделить с помощью комбинированных светофильтров большую часть линий из указанных в табл. 1.

С применением фотодиода ФД УФ-1 и цифровых электронных систем реализуется устройство, позволяющее в реальном масштабе времени произвести дозирование УФ-излучения ГЛ, причем доза излучения задается заранее, в цифровой форме [8]. Рассмотрим работу электронного цифрового дозатора.

На представленной блок-схеме [9] дозатора (рис. 3) электрический сигнал, пропорциональный падающему на фотодиод световому потоку УФ-излучения с фотодатчика 2, находящегося в зоне облучаемого газоразрядной лампой объекта, поступает в блок 3, на входе которого находится операционный усилитель, выходной сигнал которого пропорционален текущему значению мощности излучения и подвергается интегрированию и квантованию по

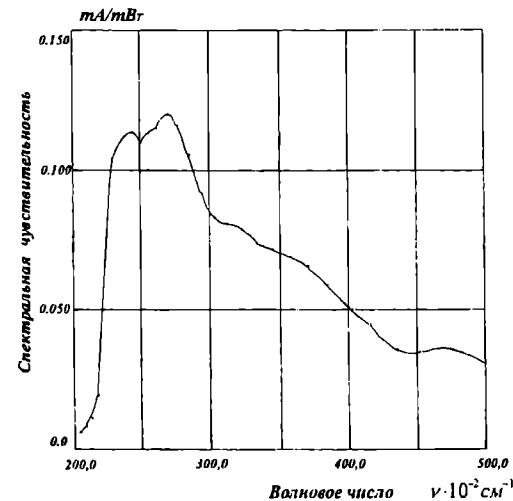


Рис. 2. Спектральная характеристика монохроматической чувствительности фотодиода ФД УФ-1

ватт-секундной площади. Блок 3, выполняя процедуру импульсного интегрирования текущего значения мощности потока, падающего на фотодиод в течение определенного периода времени, совместно с блоком 4 позволяет определить в цифровой форме дозу излучения. По завершению дозырабатывается команда на гашение разряда лампы с помощью блока коммутации 1. Немаловажная роль в работе схемы отводится аналоговым ключам, от работы которых зависит точность интегрирования аналогового сигнала и, следовательно, самого дозирования.

На основе рассмотренных характеристик ртутной ГЛ, фотодиода, а также устройства цифрового электронного дозатора, проведем оценку импульса энергии, вырабатываемого при электронном дозировании излучения.

Проведем оценку импульса энергии, которая квантуется за один шаг работы импульсного интегратора.

Сигнал с выхода операционного усилителя, на входе которого находится фотодиод, включенный в режиме короткого замыкания, пропорционален

$$U_{oy} = -I_{\text{кд}} R_{\text{oc}},$$

где R_{oc} [Ом] – сопротивление обратной связи операционного усилителя, а $I_{\text{кд}}$ [А] – ток фотодиода.

Таблица 1

Характеристики отдельных спектральных линий лампы ДРБ 8, применяемой в составе медицинской аппаратуры.

Питание лампы осуществлялось постоянным током величиной 0,390 А

Диапазон излучения	Длина волны (нм)	Волновое число (10^{-2} см^{-1})	Уровень энергии (эВ)	Переход	Интенсивность спектральной линии (относит. величина)	
					по Планку	из эксперимента
УФ - С	253,7	394,16	4,89	$6^3P_1 - 6^1S_0$	896,92	935,65
УФ - В	296,73	337,01	8,85	$6^3D_1 - 6^3P_0$	956,35	955,01
	312,60	319,89	8,85	$6^3D_2 - 6^3P_1$	962,15	964,20
УФ - А	365,0	273,97	8,85	$6^3D_3 - 6^3P_2$	942,23	81,44
Видимое	404,7	247,09	7,73	$7^3S_1 - 6^3P_0$	903,17	877,96
	435,8	229,46	9,55	$7^3S_1 - 6^3P_1$	865,65	818,62
	546,1	183,12	7,73	$7^3S_1 - 6^3P_2$	721,71	650,20

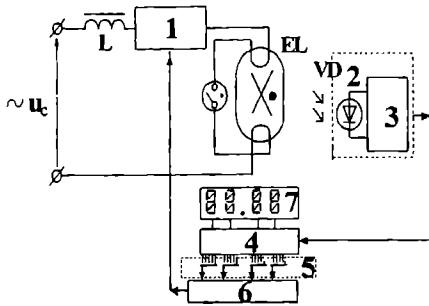


Рис. 3. Блок-схема цифрового дозатора УФ-излучения (газоразрядных ламп):

1 – блок коммутации; 2 – фотодиод;
3 – фотодатчик с импульсным интегратором; 4 – дозатор;
5 – пульт управления; 6 – блок сравнения
7 – блок индикации

Так как спектральная плотность излучения рассматриваемой лампы имеет линейчатый спектр с ограниченным в диапазоне частот $\nu_1 \div \nu_N$ числом N спектральных линий ртути, то суммарная плотность излучения лампы в этом диапазоне выразится:

$$P = \sum_{i=1}^N \Delta p_{\nu_i}$$

При работе фотодиода в режиме короткого замыкания [10] ток пропорционален падающей на него спектральной плотности потока лучевой энергии $\Delta p_{\nu_i}(t)$ [Bm/m^2], спектральной чувствительности фотодиода $\gamma_{\nu_i}/(hc\nu)$ [A/Bm] и его эффективной фоточувствительной площади S_d [m^2]:

$$\Delta I_{\text{кв}_i}(t) = \frac{\gamma_{\nu_i}}{hc\nu_i} S_d \cdot \Delta p_{\nu_i}, \quad (1)$$

Здесь $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ [$Дж\cdotс$] – постоянная Планка; $\nu = \frac{1}{\lambda}$, $c = 3 \cdot 10^8$ [m/s].

Положим, что полный ток короткого замыкания слагается из спектральных компонент

$$I_{\text{кз}} = \sum_{i=1}^N \Delta I_{\text{кв}_i}. \quad (2)$$

Считаем, что напряжение подается на вход интегрирующего усилителя с выхода операционного усилителя и $U_{\text{вых}} = u_{\text{ин}}(t)$.

Величина заряда емкости C_u интегратора за время интегрирования от момента t_0 до t_1 определяется следующим образом:

$$Q = \frac{1}{R_u} \int_{t_0}^{t_1} u_{\text{ин}}(t) dt,$$

где R_u – сопротивление интегрирующей цепочки.

Выходное напряжение импульсного интегратора, по истечении кванта времени $\tau = t_1 - t_0$, $t_0 \leq t_1 \leq t$, последовательно проходя период разряда и заряда конденсатора емкости C_u , будет достигать одного из пороговых значений $\pm U_{\text{нор}} = \text{Const}$, $-U_{\text{нор}} \leq u_{\text{ин}}(t) \leq +U_{\text{нор}}$, за время τ которого вырабатывается импульс (квант) энергии электронного дозатора. Его величина может быть определена при $u_{\text{ин}} = |U_{\text{нор}}|$ из значения энергии заряженного до этого уровня конденсатора

$$W_k = \frac{C_u \cdot U_{\text{нор}}^2}{2}, \quad [\text{Дж}] \quad (3)$$

где $U_{\text{ин}} = \sum_v \Delta U_v$, а

$$\Delta U_v = - \frac{R_{\text{oc}}}{C_u R_u} \frac{\gamma_v}{hc\nu} S_d \int_0^{\tau} \Delta p_v(t) dt \quad [B]. \quad (4)$$

Здесь $C_u R_u$ – постоянная времени интегрирования.

В случае использования стабилизированного источника излучения (и работающего на постоянном токе) можно принять, что $\Delta p_v = p_v = \text{const}$, и выражение (4) по завершении квантования представит в виде:

$$U_{\text{нор}} = \frac{R_{\text{oc}}}{C_u R_u} \cdot \frac{\gamma_v}{hc\nu} \cdot S_d \cdot p_v \cdot \tau. \quad (5)$$

Будем считать, что фотодиод указанного выше типа установлен в плоскости кюветы. Положим, что на пути падающего лучевого потока установлен комбинированный светофильтр с коэффициентом пропускания, равным единице, пройдя который, поток становится монохроматическим. В качестве примера выделяемой линии светофильтра выберем наиболее часто применяемую линию комбинационного рассеяния $\lambda = 435,80 \text{ нм}$ [11].

Считаем, что энергия излучения пропорциональна относительной интенсивности спектральной линии, поэтому величина плотности потока выделенной линии $p_v = 8,18 \text{ мВт/см}^2$ (табл. 1). Исходя из требований к уровню выходного сигнала операционного усилителя, выберем $R_{\text{oc}} = 5,6 \text{ кОм}$, величина $R_u = 680 \text{ Ом}$ находится из соотношения

$$\frac{\gamma_v}{hc\nu} = \frac{2}{U_{\text{нор}}} \cdot \frac{R_u}{R_{\text{oc}}}, \quad (6)$$

полученного из условия равенства импульса лучевой энергии, падающего на фотодиод

$$W = P_n \cdot S_d \cdot \tau$$

и вычисляемого (3) интегратором. Так, при $C_u = 0,68 \mu\text{Ф}$, $U_{\text{нор}} = 2,4 \text{ В}$, $S_d = 0,1 \text{ см}^2$ и чувствительности фотодиода, равной $0,10 \text{ мА/мВт}$ (рис. 2), за найденное время $\tau = 0,24 \cdot 10^{-12} \text{ с}$ лучевая энергия

$$W_v = \frac{U_{\text{нор}}}{\gamma_v} \cdot \frac{C_u R_u}{hc\nu}, \quad (7)$$

прошедшая фотопреобразование, будет равна величине $1,98 \cdot 10^{-6} \text{ [Дж]}$, что приблизительно соответствует W_k , равной $1,96 \cdot 10^{-6} \text{ [Дж]}$. Увеличение параметра в целое число раз равносильно введению делителя, оно приводит к пропорциональному увеличению энергии измеряемого импульса. В случаях, когда требуется дозирование энергии небольшой величины с высокой точностью, целесообразно снизить величину емкости C_u , что приведет к снижению величины импульса энергии и погрешности вычислений.

Таким образом, в рассматриваемой схеме цифрового дозатора подбором постоянной времени интегрирования удается снизить ошибку дозирования, число доз и, следовательно, числа десятичных разрядов, необходимых для представления текущего значения дозы в широком диапазоне частот.

Соотношения (4) – (6) позволяют определить оптимальное соотношение параметров и характеристик, позволяющих сочетать точность вычислений и удобство контроля текущего значения дозы в рабочем диапазоне.

Выходы

Рассмотрение ГЛ НД с точки зрения абсолютно черного тела позволило связать простыми соотноше-

ниями излучение лампы, представленное в виде конечного числа спектральных гармоник, и спектральные характеристики используемых фотодиодов с параметрами электронной схемы, которая реализует процедуру дозирования излучения.

Регулирование величины импульса энергии при электронном дозировании выделяемой светофильтром линии излучения ртутной газоразрядной лампы подтверждает возможность дозирования монохроматического излучения ртутных ГЛ НД во всем рабочем диапазоне.

Библиографический список

1. Механизмы влияния облученной ультрафиолетовыми лучами крови на организм человека и животных: Сб. науч. тр. / Под ред. И.Е. Ганелиной, К.А. Самойловой. – Л.: Наука, 1986. – 264 с.
2. Дуткевич И.Г., Марченко А.В. и др. Экстракорпоральная фотогемотерапия. Санкт-Петербург. Наука, 2006. – 400 с.
3. Тучин В.В. // Успехи физических наук. 1997. Том 167, № 5, С. 517 – 539.
4. Марченко А.В. Внутрисосудистая фотомодификация крови в хирургии и смежных областях. Автореф. дис. ... д.м.н. СПб., 1999, 42 с.
5. Горбунков В.И. // Омский научный вестник. № 6 (4), сентябрь 2006. – С. 56 – 59.

6. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергогатомиздат, 1991, 720 с.

7. Гольдберг Ю.А., Забродский В.В. и др. // Физика и техника полупроводников. 1999. Т. 33, вып. 3. – С. 344 – 345.

8. Попов А.П., Горбунков В.И. Устройство дозирования УФ-излучения газоразрядных ламп. Заявка № 2005131628/14(035459). 10.01.2007 прин. реш. о выд. пат. на изобр. с приорит. от 12.10.2005 г.

9. Горбунков В.И. Дозатор УФ-излучения газоразрядных ламп для медицинских целей. Мат. 1 Междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. – Новосибирск, 2005. – С. 111 – 113.

10. Гольдберг Ю.А., Константинов О.В. и др. // Физика и техника полупроводников. 1995. Т. 29, вып. 3. – С. 421 – 427.

11. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1962. – 892 С.

ГОРБУНКОВ Владимир Иванович, старший преподаватель кафедры «Электроника и автотракторное электрооборудование» СибАДИ.

ПОПОВ Анатолий Петрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» ОмГТУ.

Статья поступила в редакцию 01.10.06 г.

© Горбунков В. И., Попов А. П.

УДК 615.478.73

**И. В. МОЗГОВОЙ
А. Г. ПОНОМАРЕВ
С. Г. МАЛЬЦЕВ**

Омский государственный
технический университет

ОБ ИСХОДНЫХ ТРЕБОВАНИЯХ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ИНДИКАТОРОВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ПАРОВЫХ СТЕРИЛИЗАТОРОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ДО 1996 г.

Рассматриваются вопросы, касающиеся применения индикаторов оперативного контроля паровой стерилизации в процессах, проводимых на морально устаревающем, но еще исправно действующем оборудовании. Отмечаются факты несоответствия технических характеристик химических термовременных индикаторов стандартным требованиям. В части требований к точности работы индикаторов оперативного контроля подчеркивается необходимость установления зависимых допусков. Предлагаются решения, позволяющие обеспечить контроль работы действующего парка устаревающих паровых стерилизаторов в соответствии со стандартами.

Существующее многообразие индикаторов для оперативного контроля режимов паровой стерилизации изделий медицинского назначения (ИМН) разработано в части технических характеристик на базе требований соответствующих стандартов. (Под технической характеристикой в данной статье под-

разумевается зависимость вида $T = f(t)$, где T – температура, а t – время срабатывания индикаторов в чистой паровой среде).

Многие из этих стандартов связаны с происходящим обновлением и совершенствованием оборудования паровой стерилизации [1]. В частности, был

утвержден ГОСТ 19569-89 [2], предусматривающий короткие режимы стерилизации для новых стерилизаторов, выпускемых с 1996 г. В 2000 г. принят ГОСТ Р ИСО 13683-2000 [3], предписывающий применение форвакуумных стерилизаторов. В 2002 г. принят стандарт ГОСТ Р 51935-2002 [4] на новые большие стерилизаторы, для которых регламентируется только температура стерилизации, а длительность стерилизационных циклов определяется для каждого конкретного стерилизатора на основе общего требования микробиологической активности стерилизации.

Возможность «коротких» режимов при повышенных температурах стерилизации, а также возможность установления различных режимов в конкретных случаях, исходя из требуемой микробной чистоты и реальной начальной обсемененности объектов стерилизации, фундаментально обоснованы в работе [5, С. 145]. Направление развития современных методов и оборудования стерилизации вполне согласуется с данными научными обоснованиями.

Однако не секрет, что в подавляющем большинстве лечебных учреждений еще действуют устаревшие стерилизаторы, выпущенные до 1996 г.

Для стерилизации, проводимой в автоклавах, выпущенных до 1996 г., а вместе с тем и для средств оперативного контроля режимов паровой стерилизации, основные требования в настоящее время по необходимости определяются:

в части параметров стерилизации — по ОСТ 42-21-2-85 [6]. (Срок действия ОСТ 42-21-2-85 закончился. Однако по причине широкого применения морально устаревшего, но исправно работающего оборудования данный документ пока еще не может быть отменен);

в части точности и класса индикаторов оперативного контроля — по ГОСТ Р ИСО 11140-1-2000 [7].

В связи с использованием устаревшего стерилизационного оборудования, которое еще продолжается, быть может, пять-шесть, а то и более лет, имеет смысл рассмотрение вопроса о том, как технические характеристики современных индикаторов оперативного контроля согласуются с исходными требованиями, отраженными в указанных двух последних документах.

Согласно требованиям названных документов режимы стерилизации, а следовательно, и технические характеристики индикаторов оперативного контроля жестко заданы двумя довольно узкими температурными зонами, показанными штриховкой на графике рис. 1. Одна из этих зон задается критическим значением по температуре 130°C. Другая зона задается критическим значением по температуре 120°C. Каждая из зон делится критическим значением по температуре на две части. Верхние части обеих зон относятся к допускам на режимы стерилизации по ОСТ 42-21-2-85. Нижние части тех же зон относятся к тем интервалам или, иначе говоря, к тем допускам, которые представляют собой точность работы индикаторов по ГОСТ Р ИСО 11140-1.

Кроме того, оба документа, по необходимости, должны задавать зависимые или не зависимые от допусков на температуру допуски по времени стерилизационной выдержки. В случае независимости от допусков на температуру допуски по времени на рис. 1 показаны мелкой штриховкой. Причем ОСТ 42-21-2-85 для обоих режимов задает положительную величину допуска (в сторону увеличения времени стерилизационной выдержки), а ГОСТ Р ИСО 11140-1 — величину допуска, соответственно, отрицательную.

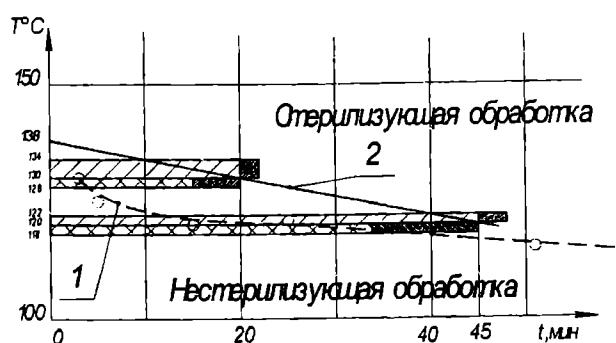


Рис. 1. Зоны стандартных режимов паровой стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 и линии инактивации микроорганизмов в технологическом времени стерилизационной выдержки:

- 1 — линия условной инактивации микроорганизмов;
2 — линия безусловной инактивации микроорганизмов

Во времени стерилизационной выдержки каждая из зон делится на три приближенно определяемых периода [8]:

- период времени выравнивания температуры;
- период времени инактивации микроорганизмов;
- период времени повышения надежности стерилизации.

Номинальное время стерилизационной выдержки для режима с критическим значением 120°C равно 45 мин. Номинальное время стерилизационной выдержки для режима с критическим значением 130°C равно 20 мин.

Отличие во времени стерилизационной выдержки между режимом, задаваемым критическим значением 130°C, и режимом, задаваемым критическим значением 120°C, связано, главным образом, с наличием соответствующей зависимости между временем инактивации микроорганизмов и температурой стерилизации в среде чистого насыщенного водяного пара. Названная зависимость так или иначе учитывается при разработке различных режимов паровой стерилизации ИМН, но сама по себе не имеет статуса какого-либо стандарта.

Чтобы проиллюстрировать эту зависимость более конкретно, воспользуемся известными данными, которые в общих чертах показывают время гибели микроорганизмов при обработке влажным теплом. Покажем, например, данные таблицы, приведенной в книге Вашкова [9] на стр. 20. (См. таблицу 1).

В.И. Вашков не указывает, какого вида споры подвергались исследованию. Однако, судя по тому, что, например, для температуры 120 °C время гибели спор, указанное в таблице, точно совпадает со временем гибели спор *B.stearothermophilus*, указанным в действующих Методических указаниях [12, С. 42], данные Вашкова могут относиться к тем же самым или идентичным по резистентности микроорганизмам.

Приводя данные по времени гибели микроорганизмов, В.И. Вашков обращает внимание на то, что

Таблица 1
Время гибели спор в зависимости от температуры паровой стерилизации

Температура	Экспозиция в минутах
130	2-4
125	4-6
120	15
115	51
110	150
100	20 (часов)

это время невозможно точно установить по множеству причин. Такими причинами, в частности, являются: 1) изменение резистентности среди штаммов одного и того же вида, 2) изменение числа микроорганизмов, подвергшихся обработке, 3) изменение резистентности вследствие возраста и условий роста (микроорганизмов).

К перечисленному можно добавить, что время гибели микроорганизмов, если его измерять в технологическом времени стерилизационной выдержки, зависит и от стерилизационного оборудования, а также от того, где располагаются микроорганизмы: внутри или снаружи упаковок стерилизуемых изделий.

В таблице на стр. 21 той же книги показано, что приблизительные показатели времени термической гибели для чрезвычайно резистентных почвенных термофилов при температуре 132°C – 4 мин, а при температуре 121°C – 25 мин. На стр. 20 говорится, что в 1954 г. выделены из земли термофильные споры, выдерживающие воздействие пара при 120°C в течение 6 часов!

Если пренебречь существованием последних, редко встречающихся термофильных спор, то путем компьютерной обработки данных, приведенных в книге Ващкова, получаем кривую 1 (рис. 1) инактивации спор при воздействии на них влажного тепла. Построенная кривая по своей форме представляет собой экспоненту, свойственную, как правило, всем известным кривым инактивации. С учетом указаний на невозможность установления точного времени или, соответственно, температуры гибели спор, а значит, и вследствие отсутствия каких-либо гарантий, что стерилизация по режимам, отображаемым кривой 1, во всех случаях и для любых спор приводит к стерильности изделий, полученную кривую можно назвать **линией условной инактивации микроорганизмов**. Такое название линии 1 в данной статье является оправданным еще и потому, что оно используется в основном тогда, когда речь идет о режимах стерилизации вне упаковок, не обеспечивающих стерилизацию изделий внутри упаковок.

Рассматривая зоны стандартных режимов стерилизации в отношении к линии 1 условной инактивации, можно наглядно увидеть, как именно точные значения температуры и времени стерилизационной обработки по двум заштрихованным зонам стандартных режимов согласуются с известными приблизительными значениями температуры и времени гибели микроорганизмов.

Нетрудно заметить, что критические параметры температуры или времени стерилизационной выдержки для стандартных режимов стерилизации в обоих случаях оказываются выше значений, задаваемых линией 1. Это обстоятельство объясняется тем, что гибель микроорганизмов не гарантируется режимами, соответствующими точкам линии 1 условной инактивации. Т.е. поправки в сторону увеличения температуры или времени стерилизационной выдержки, которыми отличаются стандартные режимы (назначаемые для условий в паровой камере, вне упаковок) являются обоснованными. Эти поправки работают, в частности, на компенсацию низких начальных температур внутри упаковок в период времени выравнивания температуры, а в целом – на получение стерильных изделий в стерилизаторах, изготовленных до 1996 г. Необходимые условия стерилизации внутри упаковок обеспечиваются по ОСТ 42-21-2-85 путем создания соответствующих условий вне упаковок.

Таким образом, известные стандартные режимы как бы устанавливают, что **линия безусловной инактивации микроорганизмов**, отделяющая в области контроля режимов стерилизации (на оборудовании до 1996 г. выпуска) стерилизующую обработку от нестерилизующей, лежит выше линии 1. Линия безусловной инактивации не может не учитывать многообразие условий гибели различных микроорганизмов во множестве разнообразных биологических проб, исключая случаи возможной нестерильности изделий (с вероятностью больше, чем 10⁻⁶) после их стерилизации на оборудовании старого образца. Но так как форма такой линии не стандартизована, ее можно аппроксимировать и представить в виде отрезка прямой линии 2 (рис. 1), соединяющей критические значения температур и времен стерилизационной выдержки в двух обычно применяемых стандартных режимах.

Уравнением полученной линии полной инактивации на отрезке времени от 0 до 45 минут является уравнение вида:

$$T_{kr} + 0,4t_{kr} - 138 = 0, \quad (1)$$

где T_{kr} – переменная величина возможных значений критических температур, а t_{kr} – переменная величина возможных значений критического времени стерилизационной выдержки.

Конечно, представление зависимости температуры инактивации микроорганизмов от времени стерилизационной выдержки в виде участка прямой линии является довольно грубым. Однако точность приводимых ниже количественных рассуждений практически не нарушается, поскольку эти рассуждения ведутся только относительно малых окрестностей стандартных режимов. На всех других участках прямая линия 2 используется нами лишь для упрощения наглядной иллюстрации.

Линия 2 безусловной инактивации четко разделяет всю область контроля режимов стерилизации в интервале значений времени от 0 до 45 мин на область режимов стерилизующей обработки и область режимов нестерилизующей обработки. При этом допуски на точность работы индикаторов по температуре и времени стерилизации, предусматриваемые ГОСТ Р ИСО 11140, «присоединяются» к линии 2 полной инактивации таким образом, что каждой точке линии 2 соответствует пара значений (ΔT_{kr} , Δt_{kr}) допусков по времени и температуре.

ГОСТ Р ИСО 11140-1 при $T_{kr} = 130^\circ\text{C}$ устанавливает $\Delta T_{kr} = -2^\circ\text{C}$, а $\Delta t_{kr} = -5 \text{ мин} (-25\% \text{ от времени } 20 \text{ мин})$. Если принять за основу указанные отклонения и считать, что они постоянны по своей величине и, кроме того, зависят друг от друга, то нижний предел режимов стерилизующей обработки ограничивается линией 3 (рис. 2), которая расположена ниже линии 2 на 2°C .

Область, расположенная между линией 2 и линией 3, представляет собой поле Δ зависимых допусков на точность работы индикаторов. Как видно из рисунка 2, поле Δ так же, как и линия 2 безусловной инактивации, расположено выше линии 1 условной инактивации.

Если же исходить из того, что допуски на температуру и время можно применять вне зависимости друг от друга, то поле допуска Δ расширяется ровно в два раза. Положение линии 3 в этом случае обозначено на рис. 2 линией 3*. При этом мы видим, что в окрестности точки режима с $T_{kr} = 130^\circ\text{C}$ и $t_{kr} = 20 \text{ мин}$ поле допуска Δ приближается к линии 1 условной инактивации, в связи с чем уменьшается надежность

стерилизации, тестируемой индикаторами оперативного контроля. В окрестности точки режима с $T_{кр} = 120^\circ\text{C}$ и $t_{кр} = 45$ мин поле допуска Δ , будучи ограничено линией 3*, даже накладывается на линию 1 условной инактивации. Это означает, что в данной окрестности индикаторы (с применением в них независимых допусков) могут положительно тестировать заведомо нестерилизующую обработку ИМН на оборудовании, изготовленном до 1996 г.

Форма и положение поля Δ задает область существования технических характеристик для термовременных индикаторов паровой стерилизации, контролирующих режимы по ОСТ 42-21-2-85 и ГОСТ Р ИСО 11140-1. То есть линии технических характеристик индикаторов не должны содержать таких точек срабатывания, которые находились бы выше или ниже поля Δ . Однако в настоящее время применяемые виды термовременных индикаторов могут иметь, как это ни странно, иные технические характеристики.

Покажем, например, через какие точки в области режимов паровой стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 проходят технические характеристики химических термовременных индикаторов, рекомендуемых в настоящее время для наружного контроля (вне упаковок стерилизуемых изделий) российскими производителями. Наиболее распространенные из индикаторов такого вида выпускает фирма «Винар». На рис. 2 усредненные точки срабатывания различных термовременных индикаторов наружного контроля обозначены значками треугольников. Измерения проводились в лаборатории кафедры «Химическая технология органических веществ» Омского государственного технического университета. Для этого ставились простейшие опыты с имитацией неисправного манометра (снижали давление пара в камере автоклава), а также с имитацией некачествен-

ной продувки (осуществляли неполную продувку) на серийно выпускаемом паровом стерилизаторе ГК-10-1-«ТЗМОИ» с использованием максимального термометра. Точность измерений по температуре составляла $\pm 1^\circ\text{C}$, а по времени стерилизационной выдержки — ± 10 сек.

Из рис. 2 видно, что ни одна из измеренных точек срабатывания, принадлежащих техническим характеристикам испытанных индикаторов, не лежит в поле Δ . Большинство измеренных точек лежит на линии 1 или находится ниже линии 1 условной инактивации микроорганизмов. Т.е. даже самые точные из современных термовременных индикаторов срабатывают даже тогда, когда ИМН автоклавируются в области режимов, недопустимо низких по температуре или времени стерилизационной выдержки в паровой камере (вне упаковок).

К тому же необходимо отметить, что испытания проводились с использованием парового стерилизатора, имеющего малый объем камеры (10 л) и, соответственно, малое время предварительного нагрева до начала времени стерилизационной выдержки. Если же аналогичные испытания проводить на больших паровых стерилизаторах, то за счет увеличения времени предварительного нагрева и соответствующего удлинения времени нахождения химических термовременных индикаторов при повышенных, но еще не стерилизующих температурах, значения температуры их срабатывания во времени стерилизационной выдержки должны быть ниже, как минимум, на $1..2^\circ\text{C}$ тех значений, которые иллюстрируются в данной статье. (О влиянии условий применения на свойства химических индикаторов см. /10/, стр. 31...36.)

Отсюда следует первый вывод: химические термовременные индикаторы в испытанном их многообразии по своим техническим характеристикам не выполняют исходных требований, предъявляемых к индикаторам «наружного» оперативного контроля стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 и ГОСТ Р ИСО 11140-1-2000.

Основная проблема химических термовременных индикаторов состоит в том, что они, в силу интегрального принципа своего действия, не определяют, находились ли они во времени стерилизации именно при нормативно заданной, а не при какой-либо иной температуре вообще. Конечно, если бы все точки срабатывания в технических характеристиках термовременных индикаторов полностью лежали в поле Δ , вопрос такого рода не имел бы смысла. Тогда сам факт срабатывания индикаторов просто говорил бы о том, что время и температура были достаточны для обеспечения стерильности изделий. Однако, как было показано выше, не все точки технических характеристик химических термовременных индикаторов лежат в поле Δ .

Несколько иначе, но, в сущности, почти так же обстоит дело с химическими термовременными индикаторами, предназначенными для оперативного контроля режимов стерилизации внутри упаковок.

Время срабатывания термовременных индикаторов внутреннего контроля рассчитывается так, что часть времени стерилизационной выдержки, расходуемого на прогрев изделий внутри упаковок, вычитается из общего времени стерилизационной выдержки. Поэтому такие индикаторы срабатывают быстрее (или при температуре, меньшей температуры срабатывания) индикаторов наружного контроля. Термовременные индикаторы внутреннего контроля тестируют ту стерилизующую среду, кото-

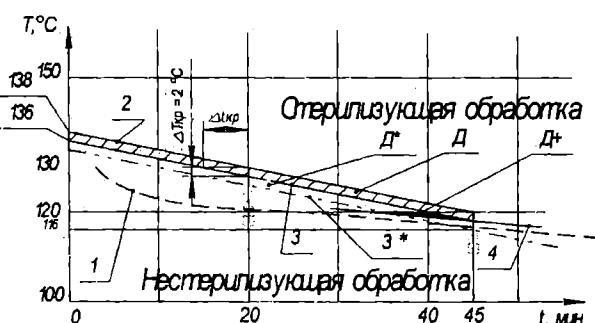


Рис. 2. Поля допусков и фактические точки срабатывания химических термовременных индикаторов оперативного контроля режимов стерилизации.

1 – линия условной инактивации микроорганизмов (определенена по данным лабораторных испытаний)

2 – линия безусловной инактивации микроорганизмов (определенена по точкам режимов стерилизации согласно ОСТ 42-21-2-85)

3 – линия нижнего предела допустимых режимов стерилизационной обработки при задании зависимых допусков на точность работы индикаторов

3* – линия нижнего предела режимов стерилизационной обработки при задании независимых допусков на точность работы индикаторов

4 – линия нижнего предела допустимых режимов стерилизационной обработки при задании зависимых допусков на точность работы индикаторов по режиму 120°C

Δ – поле зависимых допусков

Δ' – дополнительное поле независимых допусков

Δ'' – дополнительное поле зависимого допуска по режиму 120°C

Δ , \square – точки срабатывания индикаторов

рая воздействует внутри упаковок непосредственно на изделия. Отсюда основным требованием, предъявляемым к техническим характеристикам термовременных индикаторов внутреннего контроля (применительно к оборудованию до 1996 г. выпуска), является расположение точек срабатывания ниже линии Δ , но, в то же время, выше линии 1 условной инактивации. Это необходимо для того, чтобы «внутренние» индикаторы все же имели некоторое превышение температуры или времени срабатывания по отношению к режимам, задаваемым линией 1, особенно в случаях тестирования трудно стерилизуемых изделий с внутренними полостями, куда индикаторы не могут быть помещены.

Теперь посмотрим, реализуется ли это требование в химических термовременных индикаторах, предназначенных современными отечественными производителями для «внутреннего» контроля режимов по ОСТ 42-21-2-85.

На рис. 2 измеренные точки срабатывания индикаторов внутреннего контроля показаны значками квадратов.

Как видно из рисунка 2, ни по координате времени, равной 20 мин, ни по координате времени, равной 45 мин, точки срабатывания испытанного множества индикаторов не лежат выше линии 1. Тем самым сформулированное выше основное требование для испытанных «внутренних» индикаторов не выполняется.

Отсюда следует второй вывод: технические характеристики химических термовременных индикаторов «внутреннего» оперативного контроля в испытанном их многообразии не выполняют тех исходных требований, которые обоснованы известными данными по инактивации микроорганизмов в паровой среде.

Существующее отношение к химическим термовременным индикаторам основано на качественном представлении об их универсально высокой эффективности для контроля любых режимов стерилизации в связи с наличием дополнительного свойства реагирования на продолжительность нахождения в паровой среде. Поэтому им присваивается 4 класс измерения по ГОСТ Р ИСО 11140-1. Однако на основании проведенного выше количественного рассмотрения это отношение, даже для самых лучших индикаторов такого вида, может быть пересмотрено. По мере изучения практических возможностей химических термовременных индикаторов становится все более очевидным, что химические термовременные индикаторы могут тестировать либо нормативную температуру при ненормативном времени, либо нормативное время при ненормативной температуре. Нормативную температуру совместно с нормативным временем при стерилизации изделий по ОСТ 42-21-2-85 на стерилизаторах, изготовленных до 1996 г., они не тестируют, и поэтому, по крайней мере в этой области их применения, они относятся к индикаторам 3 класса.

В связи с высказанными соображениями обращаем внимание на то, что ГОСТ Р ИСО 11140-1 не оговаривает необходимости именно зависимого применения допусков по температуре и времени срабатывания индикаторов оперативного контроля. Однако, по нашему мнению, это не означает, что названные допуски действительно должны применяться независимо друг от друга. (Медицинские стандарты не могут устанавливать в качестве нормативов такие физические величины, применение которых, согласно известным научным данным, может

приводить к нестерильности ИМН). Особенно это относится к контролю режима при $T_{kr} = 120^{\circ}\text{C}$, $t_{kr} = 45$ мин. Поле допуска Δ в окрестности этого режима максимально приближено к линии 1 неполной инактивации, что накладывает на точность работы индикаторов оперативного контроля стерилизации особенно жесткие требования. В подтверждение необходимости задания зависимых допусков, хотя бы для режима $T_{kr} = 120^{\circ}\text{C}$, можно привести выводы, сделанные в упомянутой работе [5] на стр. 137, где говорится, что если вероятность контаминации стерилизуемых препаратов термостойкими организмами не исключена, то при $T = 121^{\circ}\text{C}$ даже в течение выдержки 30 мин надежность стерилизации может быть не обеспечена. Что же тогда можно сказать о температуре 116°C , которая, как будет показано ниже, при отсутствии предписания зависимых допусков на точность работы индикаторов как бы разрешается согласно ГОСТ Р ИСО 11140-1?

Примечание: Следует особо отметить, что при контроле с помощью «внутренних» термовременных индикаторов [14] учитывается предписание ГОСТ Р 51935-2002 [4], по которому для надежной эффективной стерилизации в любой трудно стерилизуемой точке загрузки внутри изделий при температуре 121°C необходимо обеспечить 15 минут выдержки (т. е. совсем нет, только что упомянутые 30 мин, которые «могут не обеспечить надежную стерилизацию», согласно книге Мунблита В.Я [5]). Однако кажущаяся чрезмерно большой во времени разница между режимом 121°C , 15 мин и режимом 121°C , 30 мин не будет казаться принципиальной, если учесть, что оба этих режима находятся в области пологого участка линии 1, где возможное различие по температуре инактивации, определяемое между временем 15 мин и временем 30 мин наклоном линии 1, составляет всего лишь около 2°C . Таким образом, противоречие между двумя известными данными нельзя рассматривать как результат устаревания полученных ранее (до выхода в свет ГОСТ Р 51935-2002) данных Мунблита, тем более что последний говорит только о термостойких организмах. Это кажущееся противоречие связано, скорее всего, только лишь с различием назначений данных и соответствующим различием условий и погрешности их получения по температуре. Но если даже не учитывать предостережений книги [5] и взять за основу только ГОСТ Р 51935-2002, то нет никаких противоречий с изложением результатов испытаний химических термовременных индикаторов в настоящей статье. И действительно, как это следует из приведенных иллюстраций, точка режима 121°C , 15 мин находится на линии 1 условной инактивации, по отношению к которой выше было определено требование к индикаторам внутреннего контроля. Но это еще не означает, что индикатор, способный срабатывать при 121°C через 15 мин, на самом деле пригоден для внутреннего контроля условий стерилизации по ОСТ 42-21-2-85, так как ОСТ 42-21-2-85 при температуре $121 \pm 1^{\circ}\text{C}$ (или $120 + 2^{\circ}\text{C}$) предусматривает выдержку, равную не 15 мин, а 45 мин. И поэтому нет никакой гарантии, что внутренние термовременные индикаторы в полном времени стерилизационной выдержки, равном 45 мин, не окажутся внутри упаковок при очень низких переменных температурах, эквивалентных по своему интегральному (энергетическому) воздействию, например, постоянной нестерилизующей температуре 112°C , при которой фактически срабатывает, в частности, такой «внутренний» термовременный индикатор, как «Стеритест П-120/45-02».

При зависимом применении допусков действует правило: чем большая часть допуска используется в каком-либо индикаторе по одному параметру, тем меньшая часть допуска остается для использования в том же индикаторе по другому параметру. Учет этого правила в технических характеристиках индикаторов обеспечивает надежный оперативный контроль условий стерилизации ИМН по ГОСТ Р ИСО 11140-1 и ОСТ 42-21-2-85 вне упаковок.

Аналитически данное правило при отрицательном задании допусков на точность работы индикаторов (согласно ГОСТ Р ИСО 11140-1) в случае стерилизации по режиму $T_{кр} = 130^{\circ}\text{C}$, $t_{кр} = 20$ мин может быть представлено в виде уравнения:

$$\Delta T_{исп} + 0,4 \Delta t_{исп} + 2 = 0, \quad (2)$$

где $\Delta T_{исп}$ — часть отрицательного допуска по ГОСТ Р ИСО 11140, используемая каким-либо индикатором по температуре, а $\Delta t_{исп}$ — часть отрицательного допуска по ГОСТ Р ИСО 11140, используемая тем же индикатором по времени стерилизационной выдержки.

В случае с режимом $T_{кр} = 120^{\circ}\text{C}$, предписывая 25% (11,25 мин) допуска по времени стерилизации, ГОСТ Р ИСО 11140-1 как бы локально добавляет к полю допусков Δ поле Δ^+ , ограничиваемое линией 4 зависимых допусков (рис.2). С применением зависимых допусков точки режимов качественно выполняемой стерилизации в этом случае также остаются выше линии 1.

Для режима $T_{кр} = 120^{\circ}\text{C}$, $t_{кр} = 45$ мин, с учетом поля Δ^+ , взаимосвязь между отрицательными допусками на точность срабатывания индикаторов по температуре и времени представляется уравнением, аналогичным уравнению (2):

$$\Delta T_{исп} + 0,18 \Delta t_{исп} + 2 = 0 \quad (3)$$

Из уравнения (3), в частности, следует, что если, например, имеется индикатор, точность работы которого по температуре составляет $\Delta T_{исп} = -0,5^{\circ}\text{C}$, то в полном допуске по времени, равном — 11,25 мин, данный индикатор может использовать только $\Delta t_{исп} = -8,3$ мин. Т.е. такой индикатор должен срабатывать при температуре ниже критической не более чем на 0,5 градуса, а во времени стерилизационной выдержки — не ранее чем за 8,3 минуты до ее окончания. Величину полного допуска по времени,

равную — 11,25 мин, может использовать только индикатор, работающий абсолютно точно ($\Delta T_{исп} = -0^{\circ}\text{C}$) по температуре.

Зоны значений температуры и времени, при которых должны срабатывать индикаторы «наружного» оперативного контроля стандартных режимов стерилизации, показаны на рис. 3.

Зоны А и В зависимых значений температуры и времени срабатывания индикаторов по ГОСТ Р ИСО 11140-1, заштрихованные на рис. 3 левой штриховкой, приведены с учетом полей допусков на режимы стерилизации по ОСТ 42-21-2-85, заштрихованных на том же рисунке правой штриховкой. В связи с возможным распространением отрицательных допусков ГОСТ Р ИСО 11140-1 на положительные допуски ОСТ 42-21-2-85 на рисунке количественно указаны максимально возможные допуски на работу индикаторов, отмеряемые от максимально допустимых значений времени стерилизационной выдержки и критических значений температуры.

Если же допуски на температуру и время в индикаторе применяются независимо друг от друга, то правила, представленные уравнениями (2) и (3), не соблюдаются. В данном случае не только минимальному, но и максимальному значению величины допуска по одному параметру может соответствовать как минимальный, так и максимальный допуск по другому параметру. В частности, при режиме 120°C , 45 мин максимальному значению отрицательного допуска по температуре -2°C может соответствовать максимальное же значение — 11,25 мин допуска по времени. А в силу наличия у индикаторов термовременной зависимости это означает, что с применением независимых допусков индикатор будет считаться соответствующим стандарту ГОСТ Р ИСО 11140-1 даже, например, тогда, когда в полном времени стерилизационной выдержки он сработает при температуре на 4°C ниже $T_{кр}$, т.е. при 116°C . (Поле Δ^+ , вдвое увеличиваемое за счет применения независимых допусков, уменьшает температуру срабатывания на максимальную величину, равную 4°C , точно так же, как и поле Δ' . Поэтому в качестве наглядной иллюстрации на рис.2 можно взять пересечение на уровне 116°C , линии 3° с линией координаты времени $t = 45$ мин). С точки зрения известных научных данных о термогибели микроорганизмов, подобное занижение температуры срабатывания «наружных» индикаторов невозможно считать допустимым.

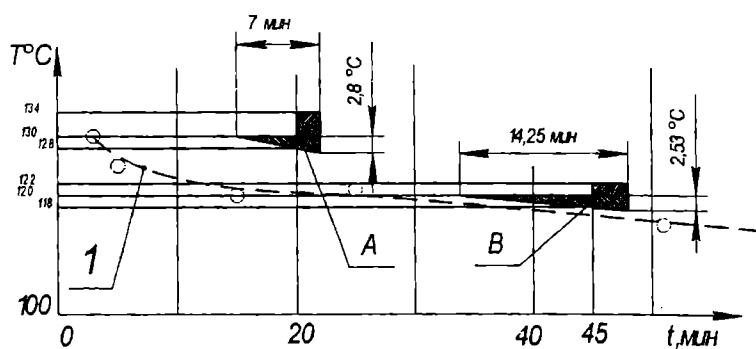


Рис. 3. Температурно-временные зоны срабатывания индикаторов оперативного контроля режимов паровой стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 с применением зависимых допусков.

1 — линия условной инактивации микроорганизмов.

А — зона значений температуры и времени нормативного срабатывания индикаторов в режиме паровой стерилизации с критическими параметрами: 130°C , 20 мин.

В — зона значений температуры и времени нормативного срабатывания индикаторов в режиме паровой стерилизации с критическими параметрами: 120°C , 45 мин.

В связи с неспособностью химических термовременных индикаторов точно проконтролировать режимы стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 и ГОСТ Р ИСО 11140-1 на стерилизаторах, изготовленных до 1996 г., возникает вопрос: существуют ли заведомо более точные средства оперативного контроля режимов стерилизации для морально устаревающего, но исправно работающего стерилизационного оборудования вообще?

В порядке ответа на данный вопрос рассмотрим далее, как работают в отношении контроля режимов стерилизации, например, ртутные максимальные термометры, выполненные в стеклянном корпусе.

Для понимания работы максимальных термометров весьма важным является учет того обстоятельства, что при контроле режимов паровой стерилизации (вне упаковок) они показывают только ту температуру, которая задается работой системы автоматического поддержания давления (далее: системы АПД). При этом максимум температуры, отмеряемый максимальным термометром и обеспечивающий максимальной циклической работой системы АПД во времени стерилизационной выдержки, является величиной постоянной, не зависящей от времени. Соответственно отклонения максимума температуры по величине в течение времени стерилизационной выдержки равны нулю. Отсюда при исправной работе системы АПД погрешность измерения, осуществляемого с помощью максимального термометра в полном времени стерилизационной выдержки, не может превышать погрешности работы самого максимального термометра.

Если же говорить не о погрешности измерений, а об измеряемом с погрешностью абсолютном значении максимума температуры в камере автоклава, то это значение даже при исправной работе системы АПД является неодинаковым по всем точкам камеры автоклава. Однако во времени стерилизационной выдержки при установленном режиме стерилизации для каждой из точек, расположенных вне упаковок, абсолютное значение максимальной температуры остается одним и тем же.

Т.о., температура, контролируемая максимальным термометром, оказывается как бы связана со временем исправной работы системы АПД, которое, в свою очередь, определяется временем стерилизационной выдержки, устанавливаемым внешним образом, с помощью часов или таймеров. Следовательно, максимальный термометр не в какой-то один из моментов, а в любой момент времени стерилизационной выдержки, с погрешностью не большей погрешности работы термометра, определяет одно и то же значение температуры. Иначе говоря, в какой бы из моментов времени стерилизационной выдержки ни считывать показания с того или иного максимального термометра, расположенного в какой угодно точке автоклава (вне упаковок), то при безаварийной работе системы АПД эти показания будут одинаковыми и теми же с погрешностью, не превышающей погрешности работы максимального термометра.

И поэтому, если максимальный термометр после проведения цикла стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 показывает в какой-либо контрольной точке камеры автоклава (вне упаковок) температуру не ниже критической, а время стерилизационной выдержки, заданное внешним образом для всего автоклава, в целом было правильным, то это означает, что и время стерилизационной выдержки в данной точке автоклава также было не менее чем достаточным для того, чтобы простилизовать изделия в упаковках, на-

ходящихся в непосредственной близости от этой точки. Этот (следующий из показаний максимального термометра) вывод для работников стерилизационных отделений, которые точно выполняют инструкции по эксплуатации стерилизаторов, изготовленных до 1996 г., является вполне обоснованным.

Если же термометр показывает температуру ниже критической, это говорит о несоблюдении вне упаковок условий стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 на оборудовании, изготовленном до 1996 г., в той или иной точке камеры автоклава во времени стерилизационной выдержки.

Процедура валидации такого результата вполне вписывается в форму № 257-У ведения Журнала контроля работы стерилизаторов. Единственной правкой к таблице этого Журнала может быть лишь запись в столбце «давление», которая должна исключать возможную неисправность системы АПД путем подтверждения соответствия давления нормативному значению не только в начале, но и в конце времени стерилизационной выдержки.

Учитывая, что точность работы максимальных термометров находится в пределах ± 1 град, можно утверждать, что техническая характеристика максимального термометра, во всех случаях правильной эксплуатации и безаварийной работы систем АПД стерилизаторов, изготовленных до 1996 г., при любом времени и любой температуре стерилизации, задаваемых линией 2 безусловной инактивации, почти идеально размещается в поле допуска Δ .

Отсюда следует третий вывод: максимальные термометры, показания которых могут быть внесены в форму №257/У Журнала контроля, обеспечивают точный оперативный контроль по температуре стерилизации во времени стерилизационной выдержки. Из положительного результата контроля режимов стерилизации вне упаковок следует заключение о нормальном проведении стерилизации по ОСТ 42-21-2-85 для изделий внутри упаковок на стерилизаторах, изготовленных до 1996 г.

Методические указания № МУ-287-113 [13] (Приложение 5) предусматривают возможность использования максимальных термометров при оперативном контроле режимов по ОСТ 42-21-2-85 на стерилизаторах до 1996 г. выпуска. Однако названный документ в качестве равнозначных средств наряду с максимальными термометрами рекомендует для оперативного контроля того же назначения химические термовременные индикаторы (в частности, индикаторы типа ИС), с чем на основании вышеизложенного вряд ли можно согласиться.

Основные недостатки ртутного максимального термометра, ограничивающие его применение в качестве устройства оперативного контроля режимов паровой стерилизации, всем известны. Среди них можно особо подчеркнуть только то, что максимальные термометры не реагируют на возможное наличие примеси воздуха в контролируемой паровой среде. При этом максимальный термометр может показывать нормальную стерилизацию тогда, когда паровая среда из-за возможных неправильных показаний манометра в сочетании с некачественной продувкой содержит слишком большое количество воздуха, препятствующего действительному получению стерильных изделий.

Сравнивая недостатки и достоинства максимальных термометров с недостатками и достоинствами химических термовременных индикаторов, необходимо отметить несомненное удобство последних в применении. Это удобство обусловлено плоской

формой, малыми габаритами, возможностью приклеивания индикаторов к упаковкам стерилизуемых изделий, а также к страницам Журнала контроля. Кроме того, химические термовременные индикаторы все-таки позволяют отследить некоторое фактическое время нахождения стерилизуемых изделий в камере автоклава. Поэтому самым серьезным недостатком термовременных индикаторов, применяемых в настоящее время, является только вероятность срабатывания за полное время стерилизационной выдержки при недопустимо низких температурах. Данное обстоятельство вынуждает отнести химические термовременные индикаторы к числу средств неточного оперативного контроля, в сравнении с максимальными термометрами.

Такое отношение к любым химическим термовременным индикаторам, выпускаемым и предназначаемым в настоящее время для оперативного контроля стерилизации ИМН отечественными производителями, не является какой-то выдумкой или откровением авторов данной статьи. Дело в том, что обсуждаемые в статье химические индикаторы имеют химический же принцип действия. А как это известно [10, С. 12]: «Из всех типов термоиндикаторов точность измерения температуры термохимическими индикаторами (т.е. химическими индикаторами с химическим же принципом действия. — прим. авт.), составляющая $\pm 5\text{--}10^\circ\text{C}$, является наиболее низкой. Даже такую точность можно получить, только если учитывать факторы, влияющие на температуру перехода». Применительно к контролю стерилизации можно сказать, что кинетика химических реакций, определяющих достижение конечных состояний термовременных индикаторов с химическим принципом действия, «запускается» в широком интервале температур, не ограничиваемых снизу значениями стандартных температур стерилизации. Именно поэтому в полном времени стерилизационной выдержки такие индикаторы срабатывают, как правило, при недопустимо низких температурах. Исключения, конечно, возможны, но с позиций надежности оперативного контроля работы паровых стерилизаторов маловероятны.

С точки зрения авторов данной статьи, точные и надежные средства оперативного контроля режимов паровой стерилизации по ГОСТ Р ИСО 11140-1-2000 могут быть созданы только на основе физического принципа действия (физические фазовые переходы, диффузия, капиллярный эффект и т.п.) Если же все-таки прибегать к помощи химических реакций, то их кинетика, приводящая к конечным состояниям индикаторов (с необходимой дискретностью и точностью) во времени по ГОСТ 42-21-2-85, должна запускаться физическими переходами при температурах, заданных в виде предельно допустимых значений на работу индикаторов по ГОСТ Р ИСО 11140-1. Паровые индикаторы с таким принципом действия в настоящее время нигде в мире не выпускаются в силу отсутствия простых и надежных научно-технических решений соответствующей физико-химической задачи.

Ввиду существенного различия (по точности работы) между максимальными термометрами и любыми современными термовременными индикаторами, идентифицируемыми в качестве индикаторов 4 класса, последние, в отношении оперативного контроля условий стерилизации в стерилизаторах до 1996 г. выпуска, не могут выступать в качестве равнозначного средства. Однако такие индикаторы мо-

гут выступать в качестве средства дополнительного, значительно повышающего надежность оперативного контроля максимальными термометрами, особенно внутри упаковок, где время выдержки изделий при нормативной температуре по каким-то не предусмотренным причинам может быть настолько малым, что вероятность стерилизации окажется равной нулю.

Чтобы исключить из результатов теста оперативного контроля регистрацию срабатывания химических термовременных индикаторов 4 класса при чрезмерно низких температурах во всех циклах стерилизации по ГОСТ 42-21-2-85, каждый из выпускаемых в настоящее время термовременных индикаторов 4 класса может быть использован в паре с максимальным термометром. За счет такого совмещения положительные свойства существующих термовременных индикаторов обретают дополнительное свойство точности работы по температуре срабатывания, придаваемое им максимальным термометром.

Однако к каждому из индикаторов оперативного контроля свой максимальный термометр все же не приложишь, хотя бы по причине возможных поломок термометров с вероятностью попадания осколков стекла и капель ртути на ИМН. С другой стороны, в связи с происходящим развитием технологии стерилизации и постепенным уходом от режимов по ГОСТ 42-21-2-85 специально разрабатывать новые индикаторы для устаревающего оборудования не имеет особого смысла.

И поэтому в связи с вышеизложенным как бы сам собою напрашивается следующий (четвертый) вывод данной статьи: **для контроля режимов паровой стерилизации остается актуальным применение таких индикаторов, которые, вне зависимости от времени своего нахождения в среде чистого насыщенного водяного пара, срабатывают при критическом значении температуры стерилизации с точностью, не выходящей за пределы допусков по ГОСТ Р ИСО 11140-1.**

К таким индикаторам относятся, например, термоиндикаторы плавления [10].

Согласно терминологии, принятой в документах по стерилизации, термоиндикаторы плавления называются химическими индикаторами. Химические индикаторы плавления имеют физический принцип действия. Широко известные в части оперативного контроля стерилизации химические индикаторы плавления называются химическими тестами [13]. Термочувствительное вещество (индикаторное средство) химических индикаторов плавления наносится на бумажные полоски, герметично запаивается в стеклянную ампулу или помещается в капсулу из полимерной пленки. Специально для контроля режимов стерилизации в паровой среде ампула или капсула некоторых химических индикаторов плавления может иметь отверстие, обеспечивающее доступ пара к термочувствительному веществу. За счет взаимодействия термочувствительного вещества со стерилизующим агентом капсульные химические индикаторы плавления реагируют на наличие в паровой среде примеси воздуха [11].

Химические индикаторы плавления (химические тесты) могут быть использованы при оперативном контроле как самостоятельно, в качестве безопасных заменителей максимальных термометров, так и в совместных тестах с химическими термовременными индикаторами, для компенсации неточности работы последних по температуре, особенно в тех случаях, когда стерилизация осуществляется по режимам ГОСТ

42-21-2-85 на оборудовании старого образца. Т.е. химические индикаторы плавления (химические тесты) при совместном оперативном контроле условий стерилизации могут выступать в качестве средств, отсекающих во времени стерилизационной выдержки недопустимо низкие температуры срабатывания химических термовременных индикаторов 4 класса, и в этом отношении — в качестве средств, равнозначных максимальному термометру.

Библиографический список

1. С.М. Савенко, Н.С. Васильев, О.Д. Лямин. Большие паровые стерилизаторы для стерилизации изделий медицинского назначения. — Дезинфекционное дело, 2005. — № 2. — С. 33.
2. ГОСТ 19569-89. Стерилизаторы паровые медицинские. Общие технические условия и методы испытаний.
3. ГОСТ Р ИСО 13683-2000. Стерилизация медицинской продукции. Требования к валидации текущему контролю. Стерилизация влажным теплом в медицинских учреждениях.
4. ГОСТ Р 51935-2002. Стерилизаторы паровые большие. Общие технические требования и методы испытаний.
5. Мунблит В.Я., Тальрозе В.Л., Трофимов В.И. Термоинактивация микроорганизмов. — М.: Наука, 1985. — 248 с.
6. ОСТ 42-21-2-85. Стерилизация и дезинфекция изделий медицинского назначения. Методы, средства и режимы.
7. ГОСТ Р ИСО 11140-1-2000. Стерилизация медицинской продукции. Химические индикаторы. Часть 1. Общие требования.
8. С.М. Иванов, В.С. Андреев, И.М. Абрамова, В.В. Дьяков. Выбор химических индикаторов для контроля условий стерилизации внутри и снаружи стерилизуемых изделий. — Дезинфекционное дело, 2004. — № 3. — С. 70.
9. Вашков В.И. Средства и методы стерилизации, применяемые в медицине. — М.: Медицина, 1973. — 368 с.
10. Абрамович Б.Г., Картавцев В.Ф. Цветовые индикаторы температуры. М.: Энергия, 1978. — 216 с., ил.
11. Патент РФ № 2143671, опубл. 27.12.99, бюл. № 36.
12. Методические указания по контролю работы паровых и воздушных стерилизаторов, № 15/5, утв. 28.02.91 г.
13. Методические указания по дезинфекции, предстерилизационной очистке и стерилизации изделий медицинского назначения, № МУ-287-113 от 30.12.1998 г.
14. Н.С. Васильев, В.С. Андреев, О.Д. Лямин, С.М. Савенко, П.А. Демидов. Экспресс-контроль соблюдения условий стерилизации внутри упаковок изделий медицинского назначения с помощью химических индикаторов в паровых стерилизаторах с гравитационным методом удаления воздуха. — Дезинфекционное дело, 2004. — № 2. — С. 59.

МОЗГОВОЙ Иван Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химической технологии органических веществ.

ПОНОМАРЕВ Анатолий Григорьевич, научный сотрудник кафедры химической технологии органических веществ.

МАЛЬЦЕВ Сергей Георгиевич, научный сотрудник кафедры химической технологии органических веществ.

Статья поступила в редакцию 22.11.06 г.

© Мозговой И. В., Пономарев А. Г., Мальцев С. Г.

УДК 681.5

А. В. КОБЫЛКИН

Омский государственный
технический университет

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ТРАНСПОРТИРОВАНИЮ

Рассматривается вопрос алгоритмизации процесса управления блоком реагентного хозяйства цеха подготовки нефти перед её транспортированием потребителям. Задача решается с использованием математического аппарата нечеткой логики и методов фази-управления. На основе изучения опыта технологов предложены лингвистические переменные для описания параметров процесса и управления, а также разработана математическая модель фази-регулятора.

В настоящее время нефть, добываемая из скважин, нуждается в обезвоживании перед её транспортированием к потребителям. Содержание воды в нефти, поступающей из скважин, может превышать 5%. В то же время поставляемый к потребителю продукт не должен содержать более 1% воды, при снижении этого содержания цена нефти повышается, что выгодно производителю.

Процесс обезвоживания нефти сводится к отстаиванию нефти с одновременной подачей реагента

Сондем 4401 в нефтяную эмульсию. Введение реагента способствует лучшему отделению воды от нефти. Блок реагентного хозяйства цеха подготовки нефти предназначен для дозированной подачи реагента.

Задача управления реагентным блоком сводится к управлению подачей реагента с дозированием подаваемой массы для обеспечения требуемого содержания воды в нефти на выходе при ограниченном времени отстаивания.

В общем случае содержание воды в нефти на выходе процесса подготовки зависит от многих факторов, основными из которых являются:

$$W_{out} = f(W_{in}, Q_p, T, t),$$

где W_{out} – влагосодержание (%) нефти на выходе процесса обезвоживания,

W_{in} – влагосодержание (%) нефти, поступающей с месторождения;

Q_p – количество вводимого реагента;

T – температура процесса,

t – время процесса обезвоживания.

В настоящее время отсутствуют достаточно обоснованные зависимости, описывающие связь между перечисленными параметрами. Это обстоятельство приводит к необходимости ручного управления процессом обезвоживания и препятствует полной автоматизации технологического процесса обезвоживания. Задача управления состоит в обеспечении $W_{out} = 0,5\ldots0,6\%$.

В настоящее время технолог на основании собственного опыта определяет количество вводимого реагента Q_p по результатам измерения величин W_{in} и W_{out} . Рассмотрим возможность автоматической реализации алгоритма действий технолога, обобщющего его профессиональный опыт. Формализованное описание такого алгоритма возможно с использованием методов нечеткой логики и фази-управления.

Для алгоритмизации процесса управления сформированы лингвистические переменные (на основе обобщения опыта технолога):

- W_{in} (очень хорошая, хорошая, плохая, очень плохая);
- W_{out} (хорошая, плохая);
- Q_p (мало, средне, много).

Припишем каждому терму лингвистических переменных функцию принадлежности, выбирая для простоты трапециевидные и треугольные функции принадлежности, как показано на рис.1.

Аналитическое описание функций принадлежности в соответствии с рис.1 примет следующий вид:

Лингвистическая переменная W_{in}
«очень хорошая»

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, \text{ если } x \leq 1,5 \\ 2,5 - x, \text{ если } 1,5 < x \leq 2,5 \\ 0, \text{ если } x > 2,5 \end{cases} \quad (1)$$

«хорошая»

$$\mu(x) = \begin{cases} x - 1,5, \text{ если } 1,5 \leq x \leq 2,5 \\ 6 - 2x, \text{ если } 2,5 < x \leq 3 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (2)$$

«плохая»

$$\mu(x) = \begin{cases} 2x - 5, \text{ если } 2,5 \leq x \leq 3 \\ 4 - x, \text{ если } 3 < x \leq 4 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (3)$$

«очень плохая»

$$\mu(x) = \begin{cases} x - 3, \text{ если } 3 \leq x \leq 4 \\ 1, \text{ если } x > 4 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (4)$$

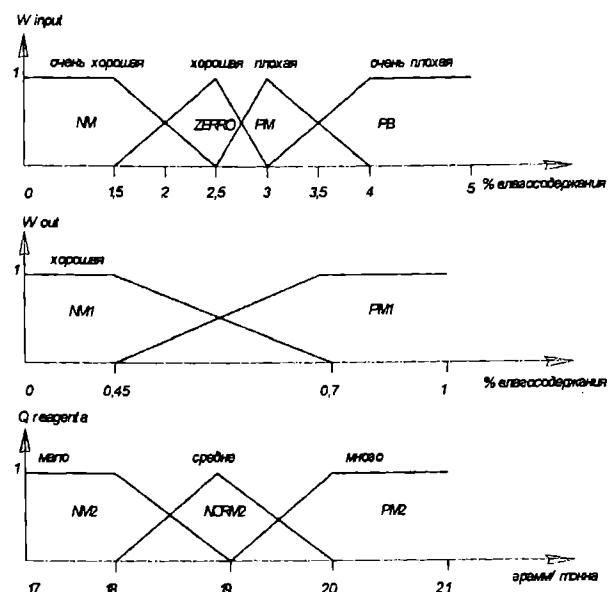


Рис. 1

Лингвистическая переменная W_{out}
«хорошая»

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, \text{ если } x \leq 0,45 \\ 2,8 - 4x, \text{ если } 0,45 < x \leq 0,7 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (5)$$

«плохая»

$$\mu(x) = \begin{cases} 4x - 1,8, \text{ если } 0,45 \leq x \leq 0,7 \\ 1, \text{ если } x > 0,7 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (6)$$

Лингвистическая переменная Q_p
«мало»

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, \text{ если } 17 \leq x \leq 18 \\ 19 - x, \text{ если } 18 < x \leq 19 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (7)$$

«средне»

$$\mu(x) = \begin{cases} x - 18, \text{ если } 18 \leq x \leq 19 \\ 20 - x, \text{ если } 19 < x \leq 20 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (8)$$

«много»

$$\mu(x) = \begin{cases} x - 19, \text{ если } 19 \leq x \leq 20 \\ 1, \text{ если } 20 < x \leq 21 \\ 0, \text{ в других случаях} \end{cases} \quad (9)$$

Для решения задачи фазификации переменной X , в качестве которой может выступать как % влагосодержания поступающей нефти W_{in} , так и % влагосодержания выходящей нефти W_{out} , используем формулы (1 – 6) с целью определения функций истинности:

$$\mu_{W_{in}}(x) = f_1(x), \quad (10)$$

$$\mu_{W_{out}}(x) = f_2(x), \quad (11)$$

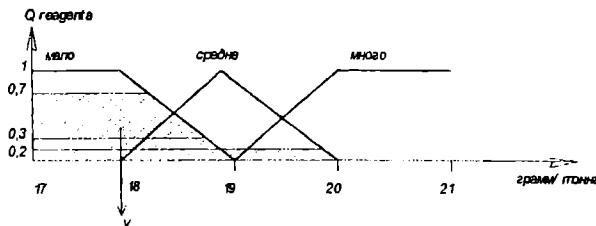


Рис. 2

где $f_1(x)$ – функции принадлежности (1) – (4), $f_2(x)$ – функции принадлежности (5) – (6), x – измеряемая величина (% влагосодержания).

Для определения взаимосвязи контролируемых величин и управления сформулируем базу правил управления, которые обобщают накопленный технологами опыт:

1. если W_{in} очень хорошая – то Q_p мало;
2. если W_{in} хорошая и W_{out} хорошая – то Q_p мало;
3. если W_{in} хорошая и W_{out} плохая – то Q_p средне;
4. если W_{in} плохая и W_{out} хорошая – то Q_p средне;
5. если W_{in} плохая и W_{out} плохая – то Q_p много;
6. если W_{in} очень плохая – то Q_p много.

Для формулирования алгоритма нечеткого вывода определим множество P посылок (условий «если») в соответствии с базой правил, для которого функция истинности будет определяться операцией «И» над нечеткими множествами W_{in} и W_{out} .

$$\mu_p(W_{in}, W_{out}) = \mu_{W_{in} \cdot W_{out}} = \min(\mu_{W_{in}}, \mu_{W_{out}}). \quad (12)$$

При этом правила 1 и 6 используют частный вид выражения μ_p , в котором $\mu_{W_{out}}$ отсутствует.

Общий алгоритм определения функции истинности для управляющего воздействия U (количество вводимого реагента) определяется основным правилом логического вывода:

$$\mu_{Q_p}(U) = \max \{ \min[\mu_p, \mu_R(W_{in}, W_{out}, U)] \}, U \in Q, \quad (13)$$

$$\text{где } \mu_R(W_{in}, W_{out}, U) = \min_{P \times Q_p} \{ \mu_p(W_{in}, W_{out}), \mu_{Q_p}(U) \} = \mu_p(W_{in}, W_{out}) \cdot \mu_{Q_p}(U),$$

или $\mu_R(W_{in}, W_{out}, U) =$

$$= \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_p(W_{in}, W_{out}) \leq \mu_{Q_p}(U) \\ \mu_{Q_p}(U), & \text{если } \mu_p(W_{in}, W_{out}) > \mu_{Q_p}(U), \end{cases}$$

где $P \times Q_p$ – декартово произведение посылок P и заключений Q_p .

Для того чтобы по полученной таким образом результатирующей функции принадлежности найти конкретное значение управляющего воздействия U , применяем процедуру дефазификации. Значение

управляющего воздействия находим как абсциссу «центра тяжести» функции принадлежности управляющего воздействия:

$$U = \frac{\max_{\min} \int U \mu(U) dU}{\max_{\min} \int \mu(U) dU}. \quad (14)$$

Рассмотрим пример для определения управляющего воздействия с использованием описанной модели. Пусть входные переменные имеют конкретные значения: $W_{in} = 2,2\%$, $W_{out} = 0,5\%$. Решение задачи фазификации в этом случае дает следующий результат:

1. $\mu_{\text{очень_хорошая}}(W_{in}) = 0,3$;
2. $\mu_{\text{хорошая}}(W_{in}) = 0,7$;
3. $\mu_{\text{хорошая}}(W_{out}) = 0,8$;
4. $\mu_{\text{плохая}}(W_{out}) = 0,2$;

Далее найдем для каждого правила соответствующие значения фази-пересечений:

1. $\mu_{p(\text{правило1})} = \mu_A = (0,3)$; (т. е. для Q_p «мало» $\mu(x) = 0,3$);
2. $\mu_{p(\text{правило2})} = \mu_{A \cdot B} = \min(\mu_A, \mu_B) = (0,7; 0,8) = 0,7$; (т. е. для Q_p «мало» $\mu(x) = 0,7$);
3. $\mu_{p(\text{правило3})} = \mu_{A \cdot B} = \min(\mu_A, \mu_B) = (0,7; 0,2) = 0,2$; (т. е. для Q_p «средне» $\mu(x) = 0,2$);
4. $\mu_{p(\text{правило4})} = \mu_{A \cdot B} = \min(\mu_A, \mu_B) = (0; 0,8) = 0$; (т. е. для Q_p «средне» $\mu(x) = 0$);
5. $\mu_{p(\text{правило5})} = \mu_{A \cdot B} = \min(\mu_A, \mu_B) = (0; 0,8) = 0$; (т. е. для Q_p «много» $\mu(x) = 0$);
6. $\mu_{p(\text{правило6})} = \mu_A = (0)$; (т. е. для Q_p «много» $\mu(x) = 0$);

Используя формулу для $\mu_{Q_p}(U)$, находим функцию принадлежности управляющего воздействия (рис. 2).

$$\mu_{Q_p}(U) = \max(\mu_{\text{правило1}}, \mu_{\text{правило2}}, \dots, \mu_{\text{правило6}}) = \max(0,3; 0,7; 0,2; 0; 0; 0);$$

Управляющее воздействие U определяется как координата центра тяжести полученной фигуры, которая на рис. 2 заштрихована. Эта величина равна 18 граммам реагента на тонну нефти.

Применив данную модель управления дозировкой реагента, можно добиться стабильности влагосодержания нефти, а также значительно сократить затраты на подготовку товарной нефти, так как реагент Сондем является достаточно дорогостоящим компонентом.

Библиографический список

1. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
2. Лукас В.А. Основы фази-управления: Учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2000. – 62 с.

КОБЫЛКИН Андрей Васильевич, аспирант кафедры АРТ, научный руководитель Хомченко Василий Герасимович, д.т.н., профессор.

Статья поступила в редакцию 06.11.06 г.

© Кобылкин А. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБЪЕКТА ОМСКОЙ ОБЛАСТИ СРЕДСТВАМИ GPSS

Наиболее распространенной системой имитационного моделирования в мировой практике является программное средство GPSS. Система построена в предположении, что моделью сложной дискретной системы является описание её элементов и логических правил их взаимодействия в процессе функционирования моделируемой системы. Предполагается, что для определенного класса моделируемых систем можно выделить небольшой набор абстрактных элементов, называемых объектами. Причем набор логических правил также ограничен и может быть описан небольшим числом стандартных операций. Комплекс программ, описывающих функционирование объектов и выполняющих логические операции, является основой для создания программной модели системы данного класса [1-3].

В работе в качестве объекта моделирования рассматривается парк сельскохозяйственной техники, состоящий из 20 комбайнов «Енисей» и грузового транспорта в количестве пяти автомобилей ГАЗ-53, трех — КамАЗ, пяти — ЗИЛ и четырех тракторов К-700. Необходимо оптимизировать перевозки зерна при уборке 6000 га посевной площади. Оптимизация подразумевает собой минимизацию затрат на перевозку и времени уборки путем подбора определенного количества используемого транспорта того или иного вида.

В результате экспериментальных наблюдений известно время, расходуемое на одну поездку (туда и обратно), и расход топлива на десять поездок для каждого вида транспорта, а также вместимость, определяемая количеством бункеров. Для оценки стоимостных затрат полагается, что заработка плата водителей автомобилей составляет 12 руб./час, трактористов — 15 руб./час. Цена на бензин и дизельное топливо условно берется равной 8,0 и 7,5 рубля соответственно.

Время разгрузки одного бункера составляет 15–25 минут.

Считается, что серьезных поломок с комбайном не случается. Вероятность мелкой поломки комбайна зависит от длительности работы после последнего ремонта. Поломка устраняется за 1–3 часа.

Чтобы набрать полный бункер, комбайну необходимо убирать площадь, равную 1,85–2,15 га, затрачивая при этом 40–60 минут.

Структурная схема программы моделирования приведена на рис. 1 и 2.

Моделирование начинается, когда комбайны и транспорт уже в поле, заканчивается — когда весь транспорт в поле, а все комбайны помещены в список пользователя DOM. При таком распределении мы учтываем все затраты на перевозки.

Во время работы модели комбайны работают в цикле, критерием выхода из которого является значение, большее или равное 6000 в ячейке Ubr_S. Тело цикла включает в себя (последовательно) статистический переход в неисправное состояние и задержку в случае поломки, проверку конца уборки (стоит ли начинать следующий заход), расчет убранной площади и задержку на наполнение бункера, распределение на разгрузку и задержку на разгрузку.

Статистический переход в неисправное состояние осуществляется с помощью блока TRANSFER, у которого в качестве аргумента стоит функция P_polomki — функция вероятности поломки в зависимости от наработанного времени. В случае поломки транзакт заходит на ремонт, что обеспечивается задержкой в блоке ADVANCE, после этого отмечается блоком MARK, это обеспечивает начало нового отсчета времени безотказной работы для данного транзакта. Таким образом, каждый транзакт имеет свою вероятность поломки, отличную от других.

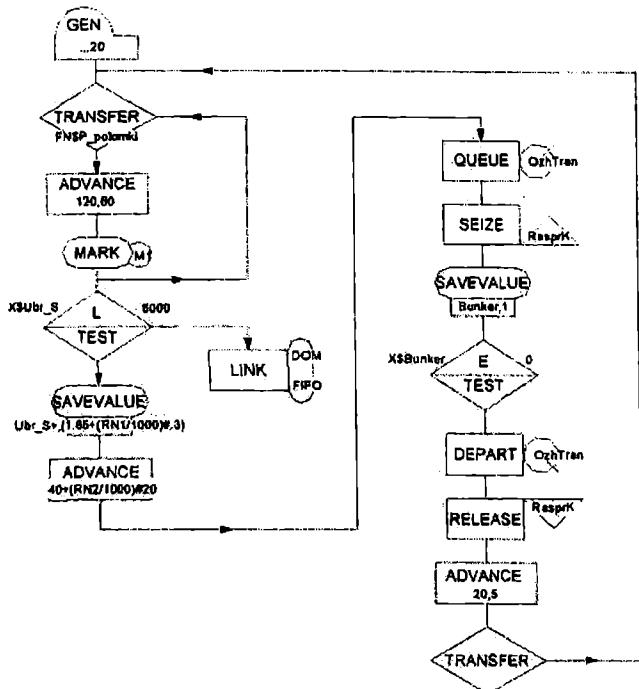
После ремонта или минуя его транзакт приступает к уборке — расчет убранной площади и временная задержка. Причем расчет производится ранее, что закрывает путь другим транзактам в случае конца уборки.

Распределение комбайнов и транспорта между собой при разгрузке организуется с помощью двух одноканальных устройств — RasprK, RasprTr и ячейки памяти Bunker. Полный комбайн, заходя в устройство RasprK, помещает в Bunker единицу и задерживается до тех пор, пока эта ячейка не станет равной нулю. Обнаружив «пустой Bunker», комбайн тут же выходит из устройства и освобождает место следующему. Таким образом, комбайны распределяются по очереди, но фактически одновременно, насколько позволяет наличие транспорта. Статистика ожидания транспорта для комбайнов собирается посредством очереди OzhidTran. Далее, после задержки на разгрузку, транзакт возвращается в начало цикла.

Если обнаруживается, что убранная площадь достигла необходимого предела, транзакт блоком TEST направляется к метке «Domoj», где помещается в список пользователя DOM.

Модель обеспечения перевозок содержит устройство распределения транспорта на погрузку (RasprTr). Связь между устройствами распределения транспорта и комбайнов при разгрузке осуществляется посредством ячейки Bunker. Первый транзакт, подошедший к устройству RasprTr, заходит в него и находится там, пока не заполнит все свое свободное место. Находясь в устройстве, транзакт ожидает ненулевого состояния ячейки Bunker.

Сегмент 1
Уборка урожая



Сегмент 3
Потоки данных

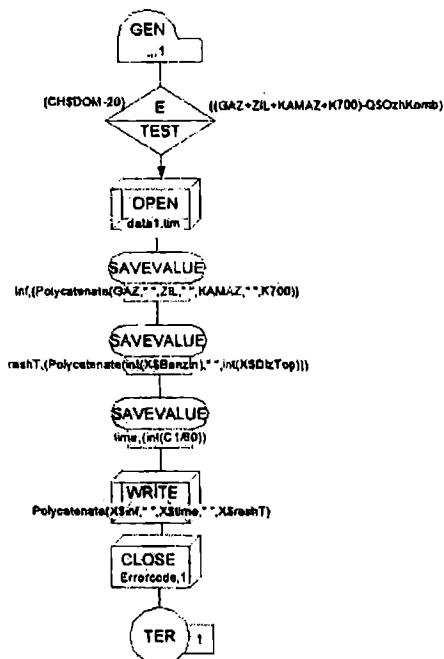


Рис.1. Структурная схема (сегменты 1 и 3) программы моделирования

Сегмент 2
Перевозки

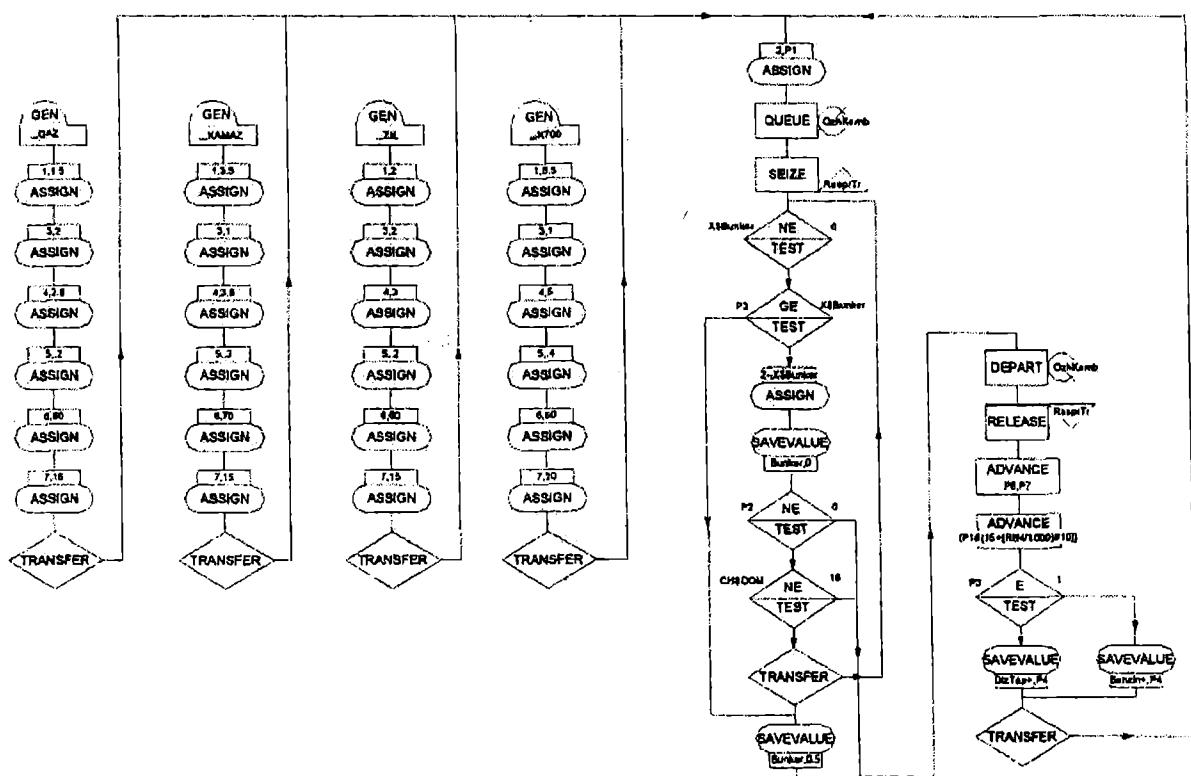


Рис. 2. Структурная схема (сегмент 2) программы моделирования

Обнаружив такое состояние, он опустошает ее, освобождая тем самым комбайн в устройстве RasprK. Если же не хватает места для того, чтобы забрать весь бункер, он забирает половину и освобождает устройство для следующего транзакта, который, возможно, ожидает на входе. Задержка на погрузку осуществляется вне устройства распределения. Таким образом, распределение организуется по очереди, а разгрузка — одновременно.

После разгрузки транзакт-транспорт, задержавшись в блоке ADVANCE (путь туда и обратно, плюс разгрузка на зернотоке), попадает в блок TEST, с помощью которого осуществляется учет расходуемого топлива.

Транзакт отправляется в путь не полностью нагруженным в том случае, когда обнаруживает, что в списке пользователя уже накопилось 19 транзактов. Это означает, что комбайнов больше не будет, и следует отвезти то, что уже нагружено. Отвезя груз, последний транзакт возвращается в поле и занимает очередь перед устройством RasprTr.

Таким образом, к концу уборки все комбайны находятся в списке пользователя DOM, а весь транспорт — в очереди перед устройством распределения транспорта. Если эти два условия выполняются, в третьем сегменте генерируется один транзакт. Этот транзакт формирует поток данных в виде связи с файлом на диске (data.tim), подготавливает все данные для записи (см. ячейки памяти inf, rashT и time в таблице определений), записывает все данные в режиме вставки, закрывает поток данных (файл) и, уничтожаясь в блоке TERMINATE, завершает процесс моделирования.

Модель прогоняется 719 раз — все возможные комбинации транспортных средств, сохраняя каждый раз результат в файл. После последнего прогона модели на диске сформируется файл с 719-ю строками, в которых через пробел записаны интересующие нас результаты моделирования.

Результаты моделирования обрабатывались в Microsoft Excel 2002. Для каждого результата вычисляются затраты на топливо, затраты на заработную

плату водителям транспортных средств и показатель эффективности.

Затраты на топливо определяются по формуле:

$$Z_T = (C_{\text{бенз}} + C_{\text{ДТ}} \cdot DizTop), \quad (1)$$

где C — стоимость горючего;

$Benzin$ и $DizTop$ — содержание соответствующих ячеек при моделировании. Затраты на заработную плату и показатель эффективности вычисляются по выражениям:

$$Z_{3/п} = T(12 \cdot (N_1 + N_2 + N_3) + 15 \cdot N_4), \quad (2)$$

$$k = \frac{10^5}{T \cdot (Z_{3/п} + Z_T)}, \quad (3)$$

где T — время, затраченное на уборку;

N_1, N_2, N_3, N_4 — число используемого транспорта ГАЗ-53, ЗИЛ, КамАЗ и К-700.

В результате обработки установили, что минимальное время уборки составляет 220 часов при использовании всего автопарка, поэтому для более эффективной работы может потребоваться больше грузового транспорта, чем имеется в хозяйстве.

Библиографический список

1. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS. — М.: Машиностроение, 1980. — 592 с.
2. Бычков С. П., Храмов А. А. Разработка моделей в системе моделирования GPSS. — М.: Изд-во МГТУ, 1997. — 312 с.
3. Спиридовон В. А. Имитационное моделирование информационных систем железнодорожного транспорта: Учебное пособие. — Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 1999. — 32 с.

СПИРИДОНОВ Владимир Андреевич, доцент кафедры «Автоматика и системы управления».

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.

© Спиридовон В. А.

Книжная полка

Блиндер И.Д. Цифровая оперативно-технологическая связь железнодорожного транспорта России. Учебное пособие. — М.: Маршрут, 2005. — 55 с.: ил. — ISBN: 5-89035-178-8.

Учебное иллюстрированное пособие для студентов вузов, техникумов и колледжей железнодорожного транспорта.

Набоких В.А. Эксплуатация и ремонт электрооборудования автомобилей и тракторов. Учебник для вузов. — 2-е изд. — М.: Академия, 2005. — 240 с.: ил. — ISBN: 5-7695-1451-5.

Приведены материалы по условиям эксплуатации и методам обеспечения работоспособности изделий и систем электрооборудования, отвечающих за безопасность движения. Рассмотрены закономерности восстановления работоспособности изделий в процессе ремонта, вопросы обеспечения экологической безопасности и формирования системы технического обслуживания изделий, особенности эксплуатации изделий в экстремальных условиях, виды технического обслуживания и роль диагностики изделий.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 180800 «Электрооборудование автомобилей и тракторов»: может быть полезен для работников автотранспортных организаций и автолюбителей.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.396

Ю. Н. КЛИКУШИН

Омский государственный
технический университет

МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ

Предлагаются методика и алгоритм классификации сигналов, предназначенные для решения задач их автоматического распознавания. Разделение множества сигналов проводится по идентификационным параметрам амплитудных и частотно-временных распределений, в результате чего образуются группы, объединенные нечеткими отношениями вида: «аддитивные смеси с большим и малым отношением сигнал-шум» или «периодические сигналы с большим или малым разрешением».

Введение

При разработке интеллектуальных средств измерения, контроля и диагностики возникает необходимость в автоматическом разделении исходной группы сигналов на некоторое количество классов, объединяющих попавшие в них реализации по определенному качественному признаку. Для примера можно привести задачу кардиологического обследования пациентов, при котором требуется классифицировать кардиограммы по 4-5 диагностическим признакам, описывающим различные состояния человека из диапазона понятий «здоровый – больной». Подобная ситуация имеет место и при технической диагностике подшипников колесно-моторных пар, когда требуется идентифицировать состояние подшипника с указанием видов возможных дефектов.

Сложность решения подобных задач связана со следующими обстоятельствами. Во-первых, абсолютное большинство таких задач не имеет аналитического описания вообще или это описание настолько сложно, что не может быть непосредственно реализовано в рамках имеющихся аппаратных, программных или временных ресурсов. Во-вторых, имеется значительная неопределенность в выборе инструментов и методик исследований того, какие характеристики и параметры сигналов могут быть информативными в данной предметной области. В-третьих, даже если группа идентифицирующих параметров известна, приходится искать такие их сочетания, при которых обеспечивается требуемое качество разделения или группировки сигналов.

В настоящее время наиболее распространенным методом анализа диагностических сигналов явля-

ется спектральный анализ. При этом вполне обоснованно предполагается, что между состояниями объекта диагностики и формой спектральной характеристики сигнала существует логическая связь, используя которую можно сформировать количественные критерии, описывающие изменения состояния. Однако спектральному анализу присущ ряд недостатков общеметодического и специального характера, к которым, в частности, относятся:

- сложность измерения низкочастотных компонентов спектра из-за необходимости использования больших времен измерения;

- влияние шумов вида $1/F$, где F — частота измеряемой гармоники, на точность измерения ее амплитуды в низкочастотной части спектра;

- сложность алгоритмов спектрального анализа (в том числе быстрого преобразования Фурье — БПФ) и, как следствие, большие затраты времени на их реализацию при больших объемах исследуемых выборок;

- отсутствие инструментов непосредственного измерения формы спектра, в результате чего приходится измерять множество частных спектральных параметров и связывать их оценки с исследуемым свойством сложными логическими построениями.

В последние годы успешно развивается подход, связанный с анализом фрактальных свойств сигналов во временной области. При этом в качестве интегральной числовой характеристики состояния объекта выступает так называемая фрактальная размерность. Классификационная мощность этого понятия доказана рядом исследований [1]. Однако фрактальный анализ в его классической постановке по Херсту-Мандельброту не различает периодических и стационарных случайных сигналов и их смесей. Поэтому приходится искать новые, более универсальные пути решения задачи классификации сигналов и, следовательно, свойств объектов, которые эти сигналы представляют.

В данной работе описана методика построения алгоритмов автоматической классификации сигналов, основанная на теории идентификационных шкал, и рассмотрены основные ее особенности на примере одного из простейших алгоритмов.

Исходные теоретические модели

В основу методики построения алгоритмов автоматической классификации сигналов автором положены следующие идеи и модели.

1. Любой аналоговый (непрерывный во времени) сигнал полностью характеризуется своей формой.

2. Форма реализации сигнала является интегрированной характеристикой состояния сигнала за время наблюдения. Сигнал есть его реализация, наблюдаемая на бесконечном интервале.

3. Форма сигнала не меняется при изменении сдвига и масштаба по оси амплитуд, если при этом на интервале наблюдения сохраняется весь сигнал.

4. Форма сигнала не меняется при изменении сдвига и масштаба по оси времени, если при этом на интервале наблюдения сохраняется весь сигнал.

5. Любой аналоговый (непрерывный во времени) сигнал после равномерной дискретизации по времени частично характеризуется распределением мгновенных значений (РМЗ).

6. Любой аналоговый (непрерывный во времени) сигнал после равномерного квантования по уровню частично характеризуется совокупностью распределений временных интервалов (РВИ) каждого уровня.

7. Оба распределения (РМЗ и РВИ) в совокупности полностью характеризуют форму отдельной реализации (временного ряда наблюдений) сигнала.

8. При известной и постоянной на интервале наблюдений форме реализации сигнала полная информация о сигнале заключена в одном из распределений (РМЗ или РВИ).

Указанные положения позволяют сформулировать условия, необходимые для реализации методики классификации сигналов. Первое условие связано с необходимостью иметь инструменты измерения РМЗ и РВИ. Второе условие состоит в установлении закономерностей, определяющих эволюцию сигналов.

До недавнего времени выполнение первого условия было затруднительно, поскольку не существовало инструментов измерения формы распределений. Известная в математической статистике технология проверки гипотез позволяет только распознавать сигналы путем сравнения их по форме распределений, выдавая результат сравнения в виде суждения «равны — не равны». Однако для исследования процессов изменения состояния объектов этого мало — надо уметь выявлять направление этих изменений и оценивать порядок величин в виде «больше — меньше». Для этого требуется иметь как минимум порядковую (а не номинальную, как при технологии проверки гипотез) шкалу распределений.

Возможность построения и основные особенности применения порядковых шкал для РМЗ были показаны в работах [2, 3]. Первая публикация [4], посвященная порядковой шкале РВИ, стимулировала поиск других, аналогичных по назначению измерительных шкал [5].

Подобные шкалы получили название идентификационных шкал (ИШ). С математической точки зрения идентификационная шкала отображает множество чисел, например, временной ряд наблюдений объема N , в одно число — идентификационный параметр (IdP) с присоединением к нему (посредством логического вывода) качественной характеристики в виде имени распределения (I).

Имена распределений и связанные с ними численные оценки идентификационных параметров образуют реляционную базу данных (БД). Можно сказать, что ИШ есть БД, автоматически управляемая входным сигналом. Управление такой БД состоит в пересортировке первоначального списка имен и их фильтрации. При упорядочении чисел (IdP) автоматически ранжируются имена (I) и соответственно те свойства объекта или процесса, которые эти имена и числа представляют. Если по технологии ИШ сравнивать два сигнала с различными значениями идентификационного параметра, то формальная запись $IdP_2 > IdP_1$ будет иметь ясный физический смысл, состоящий, например, в том, что степень хаотичности второго сигнала больше, чем первого. Следовательно, если установить границы в некотором диапазоне изменения идентификационного параметра, то можно классифицировать свойства объекта исследования. Совместное использование ИШ РМЗ и РВИ позволяет проводить комплексное, интегральное оценивание состояния объекта, представляемого времененным рядом наблюдений.

Таким образом, в ИШ происходит объединение технологий измерения и технологии БД для решения задач распознавания образов.

Наличие такого инструмента, как ИШ, дало возможность поставить и решить задачу исследования особенностей эволюции сигналов. В данном случае

под эволюцией понимается зависимость состояния сигнала смеси от соотношения интенсивностей взаимодействующих компонентов [6].

В качестве исходной модели сигнала, которая может быть лингвистически классифицирована как «СМЕСЬ», был использован классический пример:

$$U(t) = U_s(t) + U_n(t) = U_m \sin(\omega t + \phi) + U_n(t) \quad (1)$$

аддитивной смеси $U(t)$ периодического синусоидального сигнала $U_s(t)$ («полезный» компонент) и нормального «белого» шума $U_n(t)$ («вредный» компонент). Качественное отличие смешиваемых компонент определяется существенным отличием вида плотности их распределения – синусоидальный компонент имеет «вогнутую», а нормальный – «выпуклую» гистограмму. Область существования сигнала (1) может быть описана условиями:

$$\begin{aligned} \text{if } \text{SNR} = 0 \text{ then } U(t) = U_n(t), \\ \text{DN}[U(t)] = \text{DN}[U_n(t)] = \text{HOPM}, \\ \text{if } \text{SNR} = \infty \text{ then } U(t) = U_s(t), \\ \text{DN}[U(t)] = \text{DN}[U_s(t)] = \text{APKC}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\text{SNR} = (P_A/P_C)$ – отношение мощностей синусоидального и нормального компонентов, соответственно (SignalNoiseRelation), $\text{DN}[\cdot]$ – имя распределения (DistributionName). Таким образом, в процессе эволюции распределение смеси изменяется от нормального (HOPM) до арксинусного (APKC) или наоборот. Соответственно изменяется значение идентификационного параметра, характеризующего состояние смеси, например, в диапазоне от $\text{IdP} = 40$ ($\text{DN} = \text{HOPM}$) до $\text{IdP} = 8$ ($\text{DN} = \text{APKC}$).

В соответствии с (2) для модели (1) – лингвистически – процесс эволюции объекта $U(t)$ есть качественный переход из состояния, характеризуемого

именем HOPM, в состояние, характеризуемое именем APKC (или наоборот, в зависимости от направленности). С количественной точки зрения закон эволюции объекта $U(t)$ есть зависимость идентификационного параметра IdP от отношения сигнал – шум.

Основная проблема исследования эволюции сигналов заключается в выборе идентификационных параметров, предназначенных для измерения состояния этих сигналов.

В данной работе рассматривается базовый алгоритм (рис. 1) классификации сигналов, использующий всего один идентификационный параметр, названный коэффициентом вариабельности (табл. 1). Однако этот параметр определяется дважды – для исходного сигнала и его приращений. Поэтому логический анализ принадлежности имен сигналов измеренным значениям IdP ведется, в соответствии с алгоритмом рис. 1, по двум диапазонам изменений значений $K1$ и трем диапазонам – $K2$.

Структурная схема интеллектуального анализатора (ИА), позволяющего полностью автоматизировать процедуру классификации, представлена на рис. 2.

Исходный непрерывный во времени сигнал $X(t)$ представляется после аналого-цифрового преобразования в виде дискретной выборочной реализации объема N и записывается в файловом формате в память компьютера. Операции дифференцирования (Диф-1, Диф-2), определения модуля ($M1, M2, M3$), усреднения ($\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{X}_3$) и вычисления ($\Delta U_1, \Delta U_2$) идентификационных параметров $K1$ и $K2$ реализуются на программном уровне.

Процедура классификации выполняется логическим анализатором (ЛА). В структурном отношении ЛА представляет собой обычную реляционную БД, записями которой являются имена файлов выборочных реализаций сигналов, а полями – имена

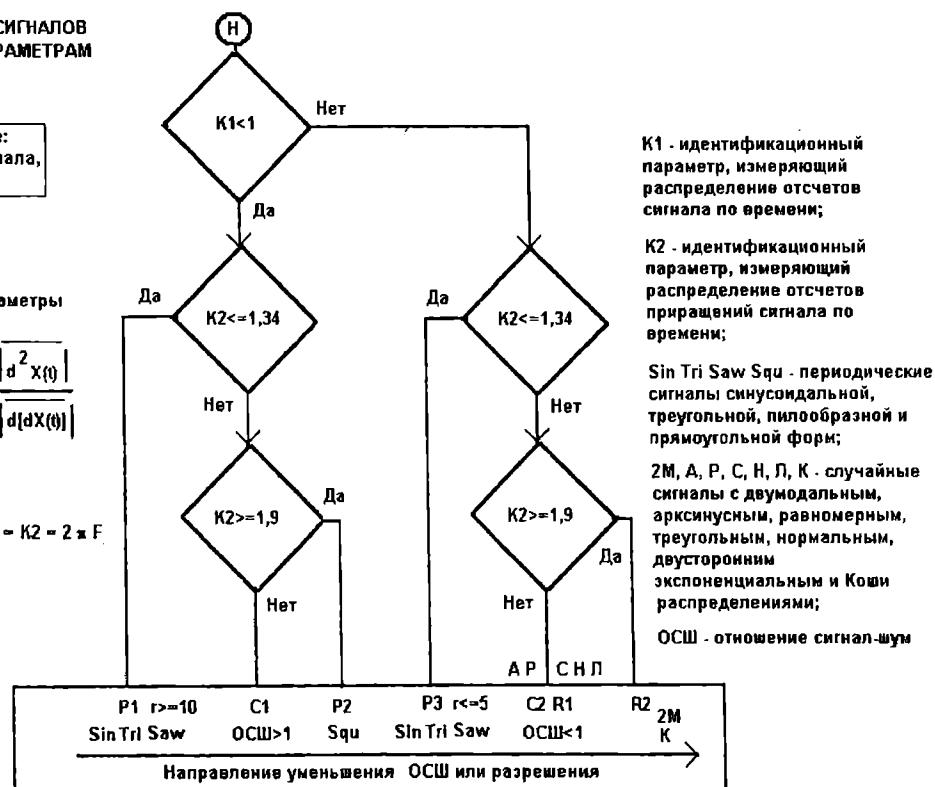
АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ СИГНАЛОВ ПО ИДЕНТИФИКАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

Разрешение = (N/P) , где:
N – объем выборки сигнала,
P – кол-во периодов

Идентификационные параметры

$$K1 = \frac{|\overline{dX(t)}|}{|X(t)|}; \quad K2 = \frac{|\overline{d^2X(t)}|}{|\overline{d[dX(t)]}|}$$

если $X(t) = U_m \sin(\omega t)$, то $K1 = K2 = 2 \times F$



$K1$ – идентификационный параметр, измеряющий распределение отсчетов сигнала по времени;

$K2$ – идентификационный параметр, измеряющий распределение отсчетов приращений сигнала по времени;

Sin Tri Saw Squ – периодические сигналы синусоидальной, треугольной, пилообразной и прямоугольной форм;

2M, A, P, C, Н, Л, К – случайные сигналы с двумодальным, арксинусным, равномерным, треугольным, нормальным, двусторонним экспоненциальным и Коши распределениями;

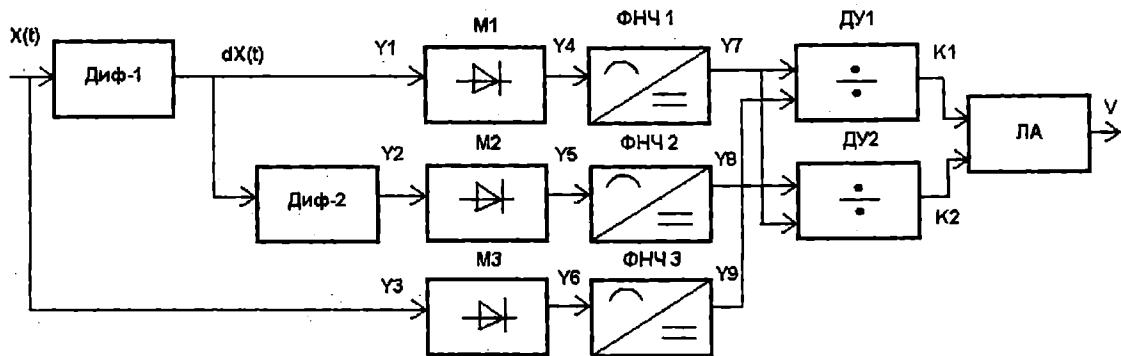
ОСW – отношение сигнал-шум

Рис. 1. Базовый алгоритм классификации сигналов

Математические и физические модели идентификационных параметров сигналов

№ п/п	Имя IdP	Обозначение IdP	Физический смысл IdP	Математическая модель
1	Коэффициент вариабельности	K-1	Измерение среднего значения модуля относительной скорости сигнала	$K_1 = \frac{ \Delta X(t) }{ X(t) }, 0 \leq K_1 \leq 2$ если $X(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, то $K_1 = \omega = 2\pi F$
2	Коэффициент вариабельности	K-2	Измерение среднего значения модуля относительного ускорения сигнала	$K_2 = \frac{ \Delta[\Delta X(t)] }{ \Delta X(t) }, 0 \leq K_2 \leq 2$ если $X(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$, то $K_2 = \omega = 2\pi F$

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР СИГНАЛОВ



$X(t)$ - входной сигнал $Y_1 = dX(t)$ $Y_2 = d[dX(t)]$ $Y_3 = X(t)$ $Y_4 = |Y_1|$ $Y_5 = |Y_2|$ $Y_6 = |Y_3|$
 $Y_7 = \overline{Y_4}$ $Y_8 = \overline{Y_5}$ $Y_9 = \overline{Y_6}$

Диф-1, Диф-2 - Дифференциаторы ФНЧ1, 2, 3 - Фильтры низких частот
ДУ1, ДУ2 - Делительные устройства ЛА - Логический анализатор
M1 M2 M3 - Измерители модуля K1, K2 - Идентификационные параметры

Идентификационные параметры
 $K_1 = \frac{|\Delta X(t)|}{|X(t)|}; K_2 = \frac{|\Delta[\Delta X(t)]|}{|\Delta X(t)|}$
если $X(t) = U_m \sin(\omega t)$, то $K_1 = K_2 = 2\pi F$

Решение $V = \{P_1 \text{ or } P_2 \text{ or } P_3 \text{ or } C_1 \text{ or } R_1 \text{ or } R_2\}$

Рис. 2. Структурная схема интеллектуального анализатора сигналов

идентификационных параметров (K_1, K_2). В ячейки БД (на пересечении строк и столбцов) записываются численные оценки идентификационных параметров. Анализ сочетаний значений идентификационных параметров позволяет определить, по какому из шести направлений ($P_1, C_1, P_2, P_3, R_1, R_2$) фильтруется данная запись. Каждое направление имеет свой собственный адрес. Адрес образуется путем перечисления единиц и нулей, соответствующих выполнению условий (Да \rightarrow «1», Нет \rightarrow «0») при прохождении алгоритма (рис. 1) от входа до выхода. Разрядность адреса определяет «длину пути» прохождения анализа. Чем больше разрядность адреса, тем более «точно» определяется некоторое свойство сигнала, например, в том смысле, что увеличивается число различных градаций интенсивности проявления данного свойства. Если разрядность адресов всех выходных направлений одинакова, то подобный алгоритм будем называть алгоритмом с равномерной дискретизацией (квантованием) свойств. Таким образом, можно утверждать, что адрес записи является количественной характеристикой данного классификационного алгоритма. Соответственно, появляется возможность объективно и автоматически

сравнивать между собой эффективность различных классификационных алгоритмов, работающих с одной и той же БД.

Если в БД имеется множество записей, идентификационные параметры которых полностью покрывают диапазон возможных значений IdP $0 \leq (K_1, K_2) \leq 2$, то такую БД будем называть *представительной*. Сигналы, на основе анализа которых формируется представительная БД, называются *эталонами* БД. Подразумевается, что для эталонов известны не только оценки их идентификационных параметров, но также другие характеристики, в том числе и качественные.

Технология классификации сигналов

Чтобы проиллюстрировать основные особенности предлагаемого алгоритма, рассмотрим технологию его использования, заключающуюся в следующем.

Создадим эталонную БД, состоящую из списка сигналов, состояние которых охватывает максимально возможный диапазон в направлении эволюции этих сигналов – от периодических до случайных (табл.2). В качестве эталонов случайных сигналов в

Таблица 2

Классы эталонных сигналов исходной базы данных

№ п/п	Класс сигнала	Обозначение выходного направления	Форма	Характеристика
1	Периодические	P	Squ – прямоугольная (меандр), Sin – синусоидальная, Tri – треугольная, Saw – пилообразная	Число периодов от 1 до 25000 в объеме выборки N = 100000
2	Случайные	R	2M – двумодальное, A – арксинусное, P – равномерное, C – треугольное, N – нормальное, L – двустороннее экспоненциальное, K – Коши распределения	С различными значениями параметров смещения и разброса
3	Бинарные аддитивные смеси типа PR	C	Различные комбинации периодических и случайных сигналов, например, gaus + sin-100-10, что означает смесь синусоидального сигнала с числом периодов 100 и ОСШ = 10 и нормального шума	ОСШ варьируется в диапазоне от 0 до 500
4	Бинарные аддитивные смеси типа RR	C	Различные комбинации случайных сигналов, например, gaus + asin-10. Это означает, что действующее значение арксинусного сигнала в 10 раз больше нормального шума	Отношение действующих значений в диапазоне от 0 до 200

Таблица 3
Фрагмент исходной БД эталонных сигналов

№	FileName	K-1	K-2
1	2mod	1,000011	1,999989
2	gaus + asin-200	1,273195	1,779737
3	asin	1,273297	1,779796
4	gaus + asin-100	1,273644	1,779734
5	gaus + asin-50	1,273861	1,779083
6	gaus + asin-20	1,276379	1,777054
7	gaus + asin-10	1,282444	1,771873
8	gaus + asin-5	1,304039	1,760182
9	even	1,332923	1,749817
10	gaus + asin-2	1,372276	1,736869
11	simp	1,400004	1,733029
12	gaus + asin-1	1,406532	1,732413
13	gaus + asin-0,5	1,411261	1,732115
14	gaus	1,411834	1,732186
15	lapl	1,499574	1,74067
16	kosh	1,730472	1,939776
17	squ-1	0,00002	1,00002
18	squ-10	0,00038	1,900038
19	squ-100	0,00398	1,99004
20	squ-1000	0,03998	1,99904
21	squ-10000	0,399984	1,99994
22	squ-20000	0,833321	1,99999
23	squ-25000	0,99999	2
24	gaus + sin100- 0,5	1,330149	1,73197
25	gaus + sin100- 1	1,145371	1,731756
26	gaus + sin100- 2	0,781771	1,732275
27	gaus + sin100- 5	0,348395	1,73184
28	gaus + sin100- 10	0,176713	1,731421
29	gaus + sin100- 20	0,088858	1,728405
30	gaus + sin100- 50	0,035932	1,710751

Таблица 4

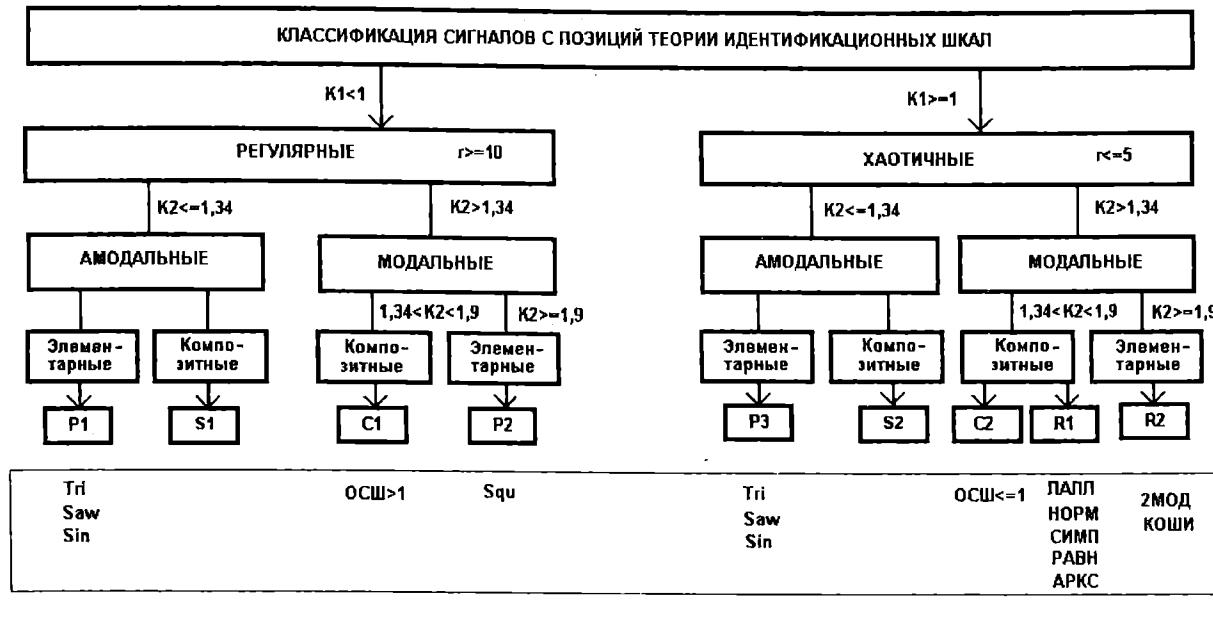
Фрагмент сортированной БД и список имен сигналов, отфильтрованных алгоритмом по направлению Р1

№	FileName	K-1	K-2	№	FileName	K-1	K-2
17	squ-1	0,00002	1,00002	48	tri 1	0,00008	0,00004
34	sin 1	0,000063	0,000063	34	sin 1	0,000063	0,000063
47	cos 1	0,000063	0,000063	47	cos 1	0,000063	0,000063
48	tri 1	0,00008	0,00004	49	tri 10	0,0008	0,0004
61	saw 1	0,00008	1,00002	35	sin 10	0,000628	0,000628
18	squ-10	0,00038	1,900038	46	cos 10	0,000628	0,000628
35	sin 10	0,000628	0,000628	50	tri100	0,008	0,004
46	cos 10	0,000628	0,000628	36	sin100	0,006283	0,006283
49	tri 10	0,0008	0,0004	45	cos100	0,006283	0,006283
60	saw 10	0,0008	1,00011	51	tri1000	0,08	0,040001
19	squ-100	0,00398	1,99004	44	cos1000	0,062853	0,062789
74	gaus+squ-100-500	0,006237	1,901749	37	sin1000	0,062852	0,062792
36	sin100	0,006283	0,006283	52	tri10000	0,666665	0,50001
45	cos100	0,006283	0,006283	43	cos10000	0,618037	0,618026
75	gaus+squ-100-400	0,006801	1,887415	38	sin10000	0,618031	0,618042
73	lapl+squ-100-500	0,006975	1,887164	89	gaus+tri-100-500	0,008399	0,934698
76	gaus+squ-100-300	0,007743	1,868228	17	squ-1	0,00002	1,00002
59	saw100	0,007992	1,001011	61	saw 1	0,00008	1,00002
50	tri100	0,008	0,004	60	saw 10	0,0008	1,00011
89	gaus+tri-100-500	0,008399	0,934698	59	saw100	0,007992	1,001011
90	gaus+tri-100-400	0,008909	1,100704	58	saw1000	0,079197	1,010111
72	lapl+squ-100-300	0,00897	1,853853	90	gaus+tri-100-400	0,008909	1,100704
102	gaus+saw-100-500	0,009592	1,649344	57	saw10000	0,720003	1,111123
77	gaus+squ-100-200	0,009625	1,840981	91	gaus+tri-100-300	0,010086	1,296536

Таблица 5

Классификационные характеристики сигналов, отфильтрованных алгоритмом

№ п/п	Имя направления и количество сигналов	Адрес направления	Имена переключателей и их параметры	Качественная характеристика сигналов
1	P1; (24)	11	K1<1; K2<=1,34	Периодические сигналы синусоидальной (sin), треугольной (tri) и пилообразной форм (saw) с разрешением $r \geq 10$;
2	C1; (46)	100	K1<1; K2>1,34 AND K2<1,9	Смеси с ОСШ>1
3	P2; (7)	101	K1<1; K2>=1,9	Периодические сигналы прямоугольной формы (squ) с разрешением $r \geq 4$
4	P3; (8)	01	K1>=1; K2=<1,34;	Периодические сигналы синусоидальной (sin), треугольной (tri) и пилообразной форм (saw) низкого разрешения ($r \leq 5$)
5	R1; C2; (27)	000	K1>=1; K2>1,34 AND K2<1,9	Случайные сигналы с немодальными распределениями аркс, равн, симп, норм, лапл форм, а также смеси случайных сигналов, смеси случайных и периодических сигналов с ОСШ<1
6	R2; (2)	001	K1>=1; K2>=1,9	Случайные сигналы с модальными распределениями вида 2мод и Коши формы



ОБЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МОДЕЛЕЙ СИГНАЛОВ – ОТ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ДО СЛУЧАЙНЫХ

Примечание: K1, K2 - идентификационные параметры распределений временных интервалов

Рис. 3. Классификация сигналов с позиций теории идентификационных шкал

данной работе выбраны сигналы с симметричными распределениями, что характерно для измерительных задач. Однако эталонную БД можно легко адаптировать под заданную предметную область путем введения новых эталонов, например, с несимметричными распределениями (Вейбулла, Релея, Стьюдента и др.).

Вопрос о полноте используемой БД имеет две стороны. Первая – связана с понятием *представительности*, о чём было сказано в предыдущем разделе. В этом смысле БД является полной в отношении именно этих идентификационных параметров (K1, K2). Вторая сторона подразумевает дискретность БД за счет конечного числа записей эталонов. В этом смысле понятие полноты реализуется за счет возможностей интерполяции положения неизвестного сигнала между реперными точками. В данной работе этот аспект не анализируется, но учитывается путем формирования значительного количества эталонов.

Фрагмент (из 30 первых файлов сигналов) исходной базы данных, состоящей из 114 образцов сигналов, представлен в табл.3.

Выявление закономерностей в структуре созданной БД проводим путем применения стандартных операций упорядочения и фильтрации записей по идентификационным параметрам K1, K2. В табл.4 показан фрагмент БД, соответствующий реализации двух условий ($K1 < 1 \rightarrow$ Да, $K2 < 1,34 \rightarrow$ Да, адрес направления $P1 \rightarrow 11$) алгоритма.

Анализ выходного состояния БД показывает, что:

- по направлению P1 действительно фильтруются периодические сигналы синусоидальной (Sin), треугольной (Tri) и пилообразной (Saw) форм с числом периодов от 1 до 10000, что соответствует разрешению $r = 10$. Эта часть БД представляет идеальное (желаемое) ее состояние;

- отклонения от идеальности проявляются в наличии «посторонних» записей, представляющих сигналы смесей типа gaus + tri-100-(500-400-300). Данную ситуацию можно интерпретировать таким об-

разом, что классификационная система при таких больших $ОСШ = 300$ нечувствительна к наличию шумового компонента и воспринимает эти смеси как чисто периодические сигналы треугольной формы;

возможность фильтрации «посторонних» записей связана с введением дополнительного условия по идентификационному параметру, отличному от K1, K2. Введение дополнительных условий на выходах алгоритма позволяет увеличить количество направлений и соответственно провести более детальную классификацию сигналов.

Величины K1, K2 можно рассматривать как проекции двухкомпонентного идентификационного вектора на плоскости ХОУ и, следовательно, использовать для решения задач идентификации векторные понятия модуля и фазы. Соответственно частотные зависимости модуля и фазы будут являться аналогами амплитудо- и фазочастотных характеристик исследуемых сигналов.

В табл.5 представлено описание всех выходных направлений алгоритма. Расположение направлений и симметрия структуры алгоритма позволяют выделить общее направление (при движении слева – направо) эволюции сигналов от чисто периодических к случайным. В качестве упорядочивающего фактора выступает отношение сигнал – шум для смесей или разрешение для периодических сигналов. В данном случае понятие разрешения определяется по формуле (3):

$$r = \frac{N}{P}, \quad (3)$$

где P – число периодов сигнала, укладывающихся в объеме N выборки.

Заключение

Предложенный алгоритм имеет иерархическую классификационную структуру, отличающуюся от известных подобных построений тем, что она допус-

кает «послойную» детализацию с делением групп на подгруппы, причем внутри каждого слоя наблюдается упорядоченность описаний по «горизонтали». Дальнейшая детализация производится введением дополнительных условий по идентификационным параметрам (K_1, K_2 или их комбинаций, например, в форме отношения K_2/K_1) на входах направлений.

Если иерархичность классификационной структуры отражает взаимосвязь ее компонентов, то «горизонтальная» упорядоченность служит подтверждением фундаментальной закономерности – эволюции сигналов в направлении от детерминированности (периодические сигналы) к хаосу (стационарные случайные сигналы).

На основе данного алгоритма можно построить обобщенную классификацию сигналов (рис.3), в которой предусмотрены дополнительные (отсутствующие на рис.1, но возможные) направления (S_1, S_2) для выхода таких сигналов, которых нет в исходной БД.

Возможно, что в предложенной классификации, используемые качественные понятия «регулярность», «хаотичность», «модальность», «амодальность» не совсем четко отображают свойства сигналов, оцениваемые с помощью параметров K_1, K_2 . Однако, во-первых, формулировка и физический смысл этих понятий будут уточняться в процессе дальнейших исследований, и, во-вторых, такая классификация отличается тем, что классификационные признаки в ней являются измеримыми. Следовательно, классификационная модель становится объективной и относительно независимой от интуитивных соображений создателей подобных классификаторов.

Практическое применение предложенного алгоритма связано с созданием «интеллектуальных» вир-

туальных приборов (ВП), автоматически выбирающих (в зависимости от формы входного сигнала) алгоритмы обработки. Подобные ВП обладают свойством адаптивности не только в отношении количественных изменений параметров сдвига и масштаба сигнала, но и в отношении его интегральных, качественных характеристик.

Библиографический список

1. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991.
2. Кликушин Ю.Н. Нечеткая идентификация формы распределения вероятностей. – М.: Измерительная техника, № 9, 1992, С. 4-7.
3. Кликушин Ю.Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности Интернет-статья, М.: Журнал радиоэлектроники, ИРЭ РАН, № 11 (ноябрь), 2000 г.
4. Гуменюк А.С., Данилюк Р.В., Кликушин Ю.Н. Виртуальный прибор для исследования эволюции аддитивной смеси сигнал – шум. Материалы 5-й МНТК «Динамика систем, механизмов и машин». Кн.1, ОмГТУ, Омск, 2004, С. 373-376.
5. Кликушин Ю.Н., Кошевок К.Т. Модель роста популяции в задаче автоматической классификации сигналов. – Омский научный вестник, ОмГТУ, Омск, №4(33), 2005, С. 160-163.
6. Кликушин Ю.Н., Кошевок К.Т. Исследование эволюции бинарных смесей сигналов. Вестник КазНУ. – Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, серия «Математика, механика, информатика», № 1(44), 2005, С. 94-100.

КЛИКУШИН Юрий Николаевич, доктор технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой информационно-измерительной техники.

Статья поступила в редакцию 22.09.06 г.

© Кликушин Ю. Н.

Информация

В рамках деятельности рабочей группы Военно-промышленной комиссии Российской Федерации генеральный директор ОмПО «Радиозавод имени А.С. Попова» Иван Поляков будет курировать разработку предложений о критериях отбора инновационных проектов и их реализации на основе государственно-частного партнерства; по приоритетным инновационным проектам ОПК; и решения организационных, нормативных, правовых и финансово-экономических проблем в области коммерциализации инновационных разработок на основе изобретений в ОПК и создания высокотехнологичных производств двойного и гражданского назначения.

Такое решение было принято по результатам первого пленарного заседания рабочей группы.

Поляков внес предложение разработать систему мер по сертификации и унификации систем связи и управления, используемых крупнейшими российскими транснациональными инфраструктурными компаниями. «Роль государства при этом должна сводиться к разработке стандартов, обеспечивающих безопасность и независимость России, в том числе и технологическую, к контролю за соответствием систем связи и управления этим стандартам и к продвижению новых российских технологий в мире», – считает Иван Поляков, – «Мы должны запараллелить процессы продажи нефти, газа, электроэнергии с продвижением высоких технологий, оснащая наши крупнейшие компании собственными высокотехнологичными решениями. Тем самым мы увеличиваем долю своих технологий и степень нашей безопасности и защищенности внутри страны. Транснациональный характер деятельности компаний в рамках реализации Энергетической стратегии России, совмещенный с применением заданных стандартов существенно увеличит долю российских технологий в мире».

По оценкам специалистов, подобные меры позволят увеличить долю российских инновационных технологических решений на мировом рынке минимум до 10 %.

ПУТИ ПОСТРОЕНИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ СВЕРХНИЗКИХ ЧАСТОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНАРНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ

На основе анализа известных вариантов построения систем радиосвязи сверхнизких частот и результатов эксперимента предлагается практический вариант помехозащищенной системы радиосвязи с использованием бинарных широкополосных сигналов.

Особенности радиосвязи в диапазоне крайне низких и сверхнизких частот

В соответствии с регламентом радиосвязи самыми низкочастотными диапазонами радиоволн являются декаметровый диапазон крайне низких частот (КНЧ) от 3 до 30 Гц (длиной волн 10^6 – 10^7 м) и мегаметровый — сверхнизких частот (СНЧ) от 30 до 300 Гц (длиной волн 10^7 – 10^6 м).

Радиоволны указанных диапазонов распространяются как бы в своеобразном сферическом волноводе, внутренняя стенка которого представляет собой поверхность Земли, а внешняя — нижнюю границу слоя Д в дневные часы или нижнюю границу слоя Е в ночные часы.

Основным преимуществом данного диапазона частот для связи с подводными аппаратами является малый коэффициент затухания в морской воде и в волноводе «Земля — ионосфера».

Ослабление электромагнитной волны [дБ/м] в морской воде определяется выражением

$$\alpha(f) = 0,0345\sqrt{f}, \quad (1)$$

где f выражается в герцах.

Для глубины подводного приема 300 м (требуемая глубина связи с подводными лодками) частоты, превышающие несколько десятков герц, использовать уже нельзя.

Например, для частоты $f = 100$ Гц затухание на глубине 300 м согласно (1) составит 90 дБ. При таком резком ограничении наибольшей рабочей частоты абсолютная полоса частот сигналов будет составлять доли герца, и скорость передачи информации будет мала.

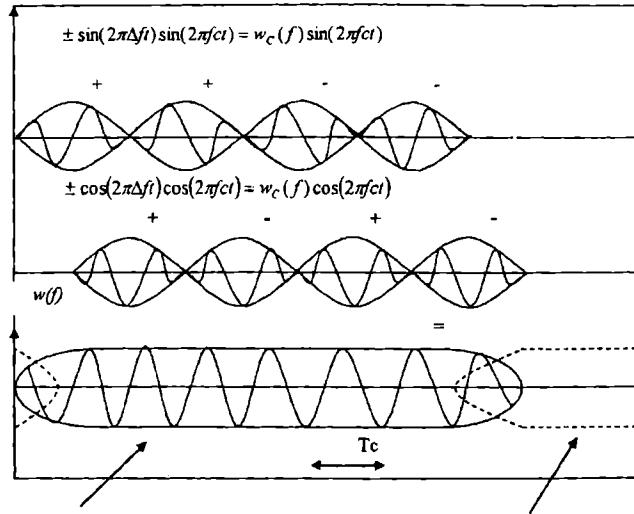
Тем не менее сигналы с рабочей частотой ниже 100 Гц проникают в морскую воду настолько глубоко (при излучении мощной передающей радиостанцией), что для их приема на подводном объекте его приемной антенне нет необходимости находиться

на малой глубине. Во-вторых, скорость затухания сигналов в волноводе «Земля — ионосфера» по удалению от передатчика настолько низка, что сигналы данных диапазонов часто могут распространяться по всему земному шару. В-третьих, распространение сигналов этих частот в волноводе «Земля — ионосфера» носят высокостабильный характер, что особенно важно ввиду возникновения искусственных помех в ионосфере. В-четвертых, можно построить передающий комплекс, работающий в упомянутых диапазонах частот, который сможет функционировать после ядерного нападения.

Однако для генерирования таких волн требуется, чтобы передающие радиостанции обладали высокой выходной мощностью.

Учитывая уникальные качества систем радиосвязи этих диапазонов частот, специалисты США и СССР проводили в 1960–80 гг. широкий круг исследований в целях лучшего понимания природных свойств данной области частот и создания конкретных проектов систем связи между стационарными передающими станциями, находящимися на территории США и СССР, и подводными лодками, погруженными в любой точке мирового океана. Комплекс связи США называется «Сангвин», а радиолиния комплекса СССР называлась «Вариация» с передающей станцией под названием «Зевс».

В то же время в диапазоне низких частот 300 – 3400 Гц в Японии и СССР начали разрабатываться малогабаритные устройства речевой радиосвязи с использованием токов проводимости. Работы велись в четырех направлениях. Первые два направления связаны с разработкой устройств речевой связи между аквалангистами и обеспечивающим судном, а также аквалангистами между собой. Основные принципы речевой радиосвязи на токах проводимости для работы в морской воде очень просты. Поскольку рост частоты в данных условиях приводит только к увеличению затухания сигнала, то при этом не требуется устройств переноса спектра речевого



Знак определяется с помощью разряда проверки на четность

Огибающая следующего канального символа

Рис. 1. График одного канального символа

сигнала вверх (амплитудной или частотной модуляции). Поэтому используются сигналы, излучаемые непосредственно с микрофона, усиленные и согласованные с передающей антенной. Технические характеристики радиосвязной аппаратуры этого типа в основном определяются габаритами антенны и мощностью передатчика, которые, в свою очередь, зависят от роста человека и технических параметров батарей (вес, емкость и т.д.), питающих связную автономную аппаратуру аквалангиста.

Третьим направлением разработки аппаратуры подводной электромагнитной связи на токах проводимости является создание радиоканалов аварийной связи между аквалангистами и обеспечивающим судном, а также между аварийным судном и службами спасения (корабль спасения и аквалангисты-спасатели).

Четвертое направление — это создание аппаратуры подводной электромагнитной связи для обеспечения буровых работ на морском шельфе, в том числе и подводного бурения.

Особенности и принципы построения систем радиосвязи СНЧ диапазона

Исследования в области практического использования СНЧ диапазона как в нашей стране, так и за рубежом в основном были обусловлены стратегической целью изыскания путей построения эффективной системы радиосвязи с глубоко погруженными подводными лодками (ГППЛ), находящимися в любой акватории Мирового океана.

Работы охватывали широкий круг исследований: измерения условий распространения радиоволн; проектирование передающей системы (сверхмощный передатчик и передающая антенна), способной противостоять ядерному нападению; сбор данных о распределении длительности сигналов станции организованных помех.

Уникальные качества систем радиосвязи СНЧ диапазона частот, способных проникать через толщу морской воды и имеющих малое затухание сигнала при распространении в волноводе «Земля — ионосфера» (≈ 1 дБ на 1000 км), позволяют скрыть приемную аппаратуру (в том числе приемную антенну) глубоко под водой и стабильно осуществить глобальную связь с помощью одного передатчика.

Ввиду того, что основная доля стоимости всей системы радиосвязи падает на постройку излучающей системы (радиостанции — передатчик и антенна), то в первую очередь необходимо было выбрать оптимальную структуру сигнала, эффективный способ кодирования, позволяющий получить требуемую помехоустойчивость приема сообщения при минимальном отношении сигнал/шум, что при заданных значениях скорости и достоверности в значительной степени определяет стоимость всей системы радиосвязи.

Известно [1], что при выборе способа кодирования сравнение систем радиосвязи производится по пороговому отношению сигнал/шум, который определяется

$$h_{0\min}^2 = \ln 2 \approx 0,7 \quad (2)$$

Следует отметить, что блочное кодирование реализуется в широкой полосе, равной

$$F_c = R \cdot 2^{n-1/n} \text{ [Гц]}, \quad (3)$$

где R — скорость передачи информации, бит/с, n — длина блока.

Исследования [1,2,3] показали, что сверточное бинарное кодирование и последовательное декодирование позволяют минимизировать отношение сигнал/шум при ограниченной полосе информационного сигнала и относительно малой сложности декодера.

При выборе структуры сигнала следует учитывать ряд ограничений, основными из которых являются следующие:

- ограничение сигнала шириной полосы пропускания передающей антенны;
- для высокомощных передатчиков с большими реактивными нагрузками передаваемый сигнал не должен иметь разрывов непрерывности (фазы).

С точки зрения защиты от преднамеренных (структурных) помех желательно менять параметры сигнала от бита к биту, чтобы станция организованных помех не смогла создать сигнал, аналогичный переданному, что лишает возможности организовать мощность P_p помехи более эффективную, нежели гауссов шум с равномерным спектром в полосе частот F , занимаемых передаваемым сообщением. Если это будет достигнуто, то станция организованных помех

будет добавлять P_n / F к спектральной плотности шума N_o .

В этом случае связь осуществляется при заданной скорости передачи информации до тех пор, пока выполняется условие

$$\frac{P_c}{N_o + P_n / F} = \frac{R \cdot P_b}{N_o + P_n / F} > R \left(\frac{P_b}{N_o} \right)_{\text{треб}} \quad (4)$$

Отношение организованная помеха/сигнал для замедления передачи можно выразить в следующем виде

$$\frac{P_c}{P_c} > \frac{F}{R(P_b / N_o)_{\text{треб}}} \cdot \left[1 - \frac{(P_b / N_o)_{\text{треб}}}{P_b / N_o} \right] \quad (5)$$

Выражение (5) показывает, что требуемая мощность станции организованных помех обратно пропорциональна скорости передачи информации. Это означает, что при одной и той же ширине полосы F_c с уменьшением скорости передачи информации необходима большая мощность станции помех.

Требуемая мощность P_n обратно пропорциональна $(P_b / N_o)_{\text{треб}}$, откуда следует, что эффективно кодируемые системы трудно забить.

Второй член в квадратных скобках выражения (5) – это величина обратная отношению сигнал/шум в отсутствии глушения.

С запасом требуемое отношение помеха/сигнал растет до величины

$$\frac{P_n}{P_c} > \left(\frac{F}{R} \right) / \left(\frac{P_b}{N_o} \right)_{\text{треб}}. \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что при полосе частот 15 – 20 Гц, занимаемой системой, и скорости передачи информации $R \leq 1$ бит/с требуемая мощность глушения больше чем в 10 раз превышает сигнал.

Вышеперечисленным требованиям, как показано в [1], удовлетворяют сигналы двоичной частотной манипуляции с минимальным сдвигом частоты (ММе), который в общем виде можно записать

$$S(t) = \pm \cos 2\pi [f_c \pm f_\Delta(n)] \cdot t, \quad (7)$$

где f_c – несущая частота;

$f_\Delta(n)$ – сдвиг частоты на интервале $nT_c \leq t \leq (n+1) \cdot T_c$;
 $1/T_c$ – скорость переключения частоты.

Излучаемый сигнал на интервале T_c называется дискретом, или «чипом».

Если в выражении (7) выбрать параметры сигнала следующим образом:

$$f_c = \frac{1}{4T_c} [1 \text{ Гц}], \quad (8)$$

где 1 – целое число, $\Delta f = \frac{1}{4} T_c$ [Гц], то при правильно выбранном знаке $S(t)$ сигнал не будет иметь разрывов непрерывности (частота всегда изменяется в максимуме или нуле). При этом достигаются максимальная равномерность спектра шумоподобной несущей и максимальная экономия полосы частот.

Несущая частота, девиация частоты и частота псевдослучайной частотной модуляции (количество чипов в единицу времени) жестко связаны между собой. Такая связь этих параметров обеспечивает непрерывность фазы и постоянство амплитуды каждого канального символа.

При этом достигаются максимальная равномерность спектра шумоподобного сигнала и максимальная экономия полосы частот (полоса равна 0,6 от частоты модуляции).

Например, реальные испытания системы радиосвязи проводились на частоте $f_c = 76$ Гц с девиацией частоты $f_\Delta = \pm 4$ Гц, частота псевдослучайной частотной модуляции в 4 раза больше девиации частоты $f_{\text{псп}} = f_\Delta \cdot 4 = 16$ Гц.

На рисунке 1 показана структура описанного сигнала (8 дискретов на каждый канальный символ при $l = 4$), выраженного формулой (9)

$$S(t) = \pm [\cos(2\pi\Delta f) \cdot \cos(2\pi f_c t)] \pm [\sin(2\pi\Delta f) \cdot \sin(2\pi f_c t)] = \\ = \pm [w_c(t) \cdot \cos(2\pi f_c t)] \pm [w_s(t) \cdot \sin(2\pi f_c t)], \quad (9)$$

где $w_c(t)$ и $w_s(t)$ – серии импульсов с синусоидальными и косинусоидальными составляющими $\cos(2\pi\Delta f \cdot t)$ и $\sin(2\pi\Delta f \cdot t)$.

Используя помехозащищенную псевдослучайную последовательность для перемены знаков (модулирующих сигналов), получаем псевдослучайную частотную модуляцию.

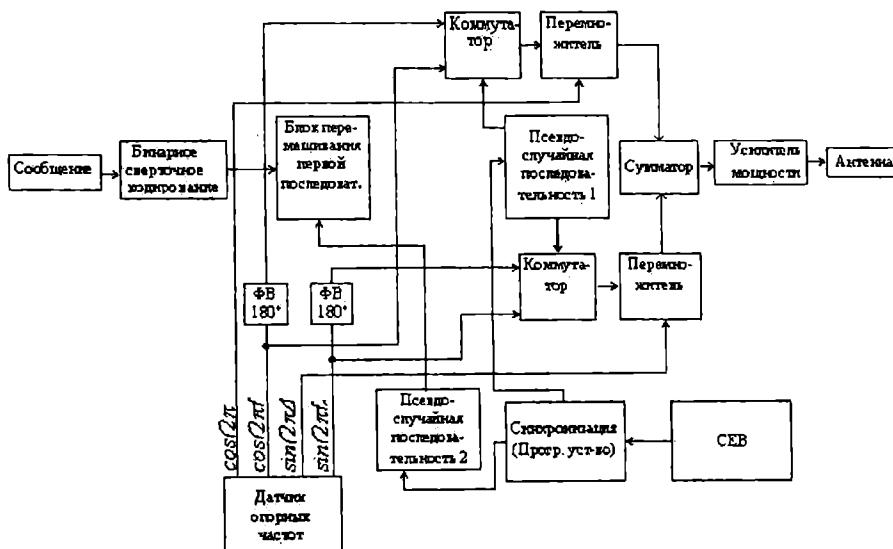


Рис. 2. Передающая часть радиолинии

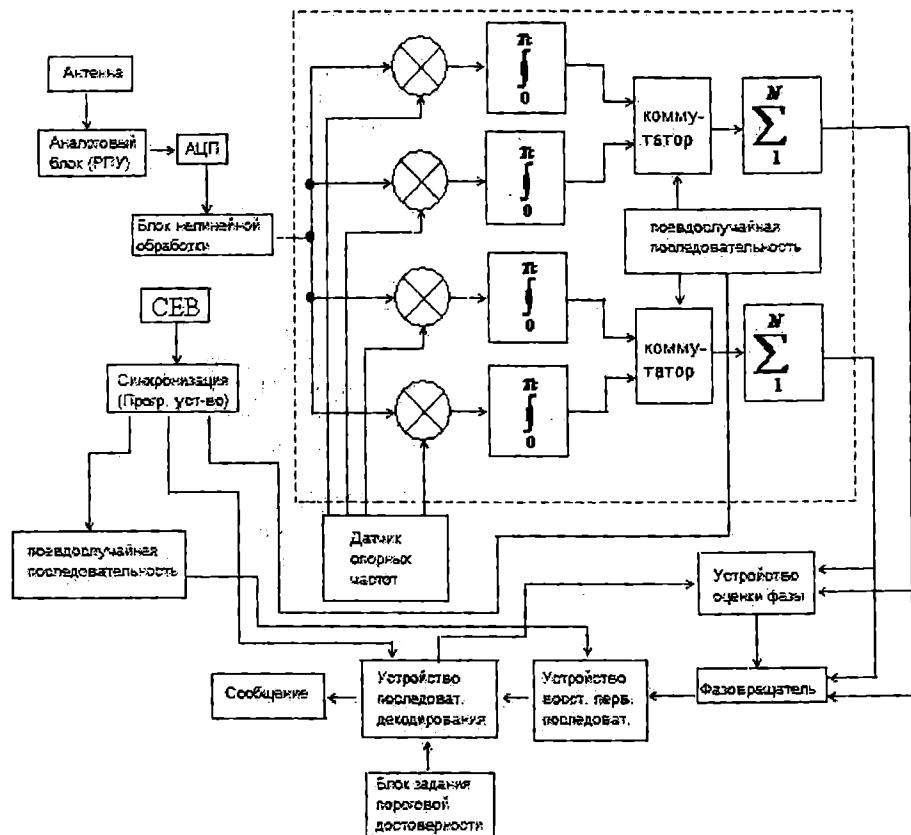


Рис. 3. Приемная часть радиолинии

Поскольку знак сдвига частоты $f_D(n)$ псевдослучаен и известен лишь на передаче и приеме, сигнал $S(t)$ трудно имитировать и, как следствие, трудно организовать имитационную помеху.

Расчеты показывают, что подавление приема узкополосной гармонической помехой, сформированной на несущей частоте, малоэффективно. Ввиду того, что длительность дискрета незначительна — 30—60 мс, то глушение с ретрансляцией ненадежно, ибо времени на обнаружение сигнала и организацию структурной помехи мало даже в том случае, если станция обнаружения находится вблизи передатчика.

Таким образом, ЧТ манипуляция без разрыва фазы (манипуляция минимальным частотным сдвигом) в наибольшей степени противостоит забитию и обеспечивает высокую эффективность использования мощности передатчика.

Следовательно, выбор оптимальной структуры сигнала эффективного метода формирования, а также когерентного приема позволил спроектировать реальную систему радиосвязи с параметрами, близкими к расчетным. В частности, такая система реализована ранее в упомянутом комплексе, выполненнном в рамках проекта «Сангвин».

Система радиосвязи «Сангвин» и ее технические средства

На рисунках 2 и 3 показаны функциональные схемы передающих и приемных частей радиолинии.

Из рисунка 2 видно, что информация от источника сообщения поступает в устройство бинарного сверточного кодирования, где осуществляется избыточное помехоустойчивое кодирование.

Закодированное сообщение поступает в блок образования первичной последовательности. Назна-

чение блока образования (перемешивания) первичной последовательности заключается в следующем.

Во-первых, путем псевдослучайной перестановки обеспечивается устранение групповых ошибок, обусловленных, например, наличием импульсного компонента шума.

Во-вторых, псевдослучайная перестановка осуществляется не в пределах всего сообщения, а в пределах группы элементов закодированного сообщения, то есть блок образования первичной последовательности выбирает первые посылки кодовых групп и производит их перемешивание, затем — вторые и так же производит их перемешивание, и т. д.

Это позволяет декодировать принятное сообщение после приема только части переданного сообщения в зависимости от соотношения сигнала/шум, не дождаясь окончания сеанса связи.

Важно, чтобы подводные лодки, находящиеся в лучших условиях связи (ближе, на меньшей глубине), произвели прием сообщения как можно быстрее.

После образования первичной последовательности сообщение поступает в модулятор. Каждый канальный символ передается дискретами на частотах нажатия f_n и отжатия f_o , чередующихся по псевдослучайному закону. Причем посылкам «0» и «1» соответствует своя псевдослучайная последовательность, заданная программным устройством, синхронизированным по системе единого времени СЕВ.

С целью получения непрерывных колебаний частотная манипуляция получается путем сложения колебаний несущей частоты (синусных и косинусных составляющих или противофазных им), помноженных на синусные или косинусные составляющие частоты манипуляции.

Выбор той или иной временной функции определяется псевдослучайной последовательностью, что обеспечивает имитостойкость сигнала. Сформули-

рованный таким образом сигнал поступает на усилитель мощности и далее излучается передающей антенной.

На приемном конце радиолинии (рисунок 3) принятый сигнал усиливается и подвергается предварительной фильтрации в аналоговой части приемника, которая состоит из малошумящего предусилителя, фильтров нижних частот, фильтров верхних частот, режекторных фильтров сети и её гармоник и усилителя с цифровым управлением коэффициентом усиления. Регулировка осуществляется в соответствии с уровнем атмосферных помех, скоростью и глубиной погружения подводной лодки.

Полосовые фильтры выбираются из компромиссных соображений, а именно:

- достаточно широкой полосы для обеспечения максимальной эффективности нелинейной обработки шумов;
- и узкой полосы, необходимой для минимизации частоты выборки, а также уменьшения шумов квантования при АЦП-преобразовании.

Экспериментально выбранная полоса пропускания переселектора составляет 20 – 200 Гц. Расширение полосы пропускания не дает существенного улучшения характеристик приемника.

С выхода аналоговой части приемника сигнал преобразуется в цифровую форму аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). АЦП имеет 12 разрядов плюс один знаковый разряд, частота выборки равняется 512 Гц.

Кроме АЦП в цифровую часть приемника входят следующие элементы: фильтр нижних частот, обратный океанический фильтр, следящие режекторные фильтры, фильтр предыскажений, компенсатор задержки, ограничитель шумов, квадратурные согласованные фильтры, устройство оценки фазы, фазовращатель, устройство восстановления первичной последовательности, устройство последовательного декодирования.

После преобразования в цифровую форму сигнал подвергается нелинейной цифровой обработке с целью устранения импульсного компонента СЧЧ шума. Затем сигнал подается на квадратурные согласованные фильтры, где производится оптимальная демодуляция принимаемых канальных символов на фоне нормализованного шума, для чего в качестве опорного сигнала производится оценка фазы канальных символов, с тем чтобы символы проходили с весом, обратно пропорциональным косинусу угла отклонения фазы. Данная операция осуществляется устройством оценки фазы и управляемым фазовращателем.

Взвешенная последовательность канальных символов преобразуется в первоначальную последовательность. Данная операция реализуется устройством восстановления первичной последовательности, осуществляющим операцию, обратную перестановке на передаче.

Устройство последовательного декодирования осуществляет свертку сложения с весом нескольких символов, что позволяет достигнуть высокой надежности при малом отношении сигнал/шум. После осуществления свертки принимается решение по правилу максимума правдоподобия о том, что принятый символ имеет знак «ноль» или «единица». Кроме того, декодер осуществляет ряд вспомогательных операций: реализует заданную методику оценки фазы, осуществляет синхронизацию сообщений (реализуется 3-уровневая синхронизация дисcreteta, синхронизация проверочных символов и син-

хронизация всего сообщения), обеспечивает оценку достоверности всего сообщения, принимая решение о том, что максимальная вероятность ошибки меньше заданной.

Эксперименты по связи в реальных условиях

С целью проверки возможности функционирования системы радиосвязи в целом была проведена серия экспериментов в реальных условиях.

Прием осуществлялся в реальном масштабе времени на два береговых приемника, а третий был установлен на борту атомной подводной лодки «Tinosa» во время перехода из Неаполя в Нью-Лондон в декабре 1972 г.

В ходе эксперимента сигналы излучались на частоте 76 ± 4 Гц. Передавалось сообщение «От знания к морскому могуществу». Каждый из 20 символов этого сообщения передавался пятиэлементным кодом (код МТК-2). Текст сообщения короткими блоками передавался системой «Сангвин» со скоростью 0,03 бит/с.

База системы составляла $B = F \cdot T = 9,6 \cdot 0,03 = 320$. На подводной лодке использовалась антenna в виде пары буксируемых электродов. Спиральные электроды имели разнесение 300 м; в развернутом состоянии от точки ввода до средней точки расстояние между электродами составляло 330 м.

Аналоговая часть приемника имела полосу пропускания 20 – 180 Гц. Уровень ограничения устанавливался таким образом, чтобы можно было получить 60%-ное ограничение выборок, что дает наилучшее отношение сигнал/шум в пункте приема.

Частота среза обратного океанического фильтра изменялась от 175 Гц при малых скоростях и глубинах до 100 Гц при увеличении скорости и глубины.

Цифровая часть приемника построена на основе ЭВМ с временем обращения 0,95 мкс. Вся обработка сигнала составляла 30% машинного времени, и 70% машинного времени тратилось на осуществление операции последовательного декодирования.

Регистрация информации производилась телетайпом со скоростью 30 знаков в секунду.

В процессе испытаний передающий комплекс и приемники работали надежно.

Испытания на подводной лодке показали, что передающая и приемная система в целом может успешно работать в реальных условиях при различных скоростях, глубинах и значительных удалениях от передатчика. Расстояние от передатчика составляло свыше 6000 км, скорость движения — от 6 до 16 узлов и глубина погружения — от 85 до 102 м. Излученная мощность передатчика составляла меньше 1 ватта при подводимой к антенне полной мощности около 1 МВт.

По материалам зарубежной печати [2, 3], при исследованиях и экспериментальных разработках было проанализировано несколько вариантов построения передающих комплексов системы «Сангвин».

Основной вариант передающего комплекса состоит из 100 передатчиков мощностью по 100 кВт каждый, размещенных на антенном поле площадью $75 \times 150 = 11250 \text{ км}^2$. Полная мощность, подаваемая в антенну систему, — 10 МВт.

Передающая антenna система представляет собой ряд ортогональных антенных решеток, состоящих из длинных отрезков горизонтально расположенного изолированного кабеля, концы которых заземлены. Для кабеля используются жилы из алюминиево-магниевого сплава сечением 25 мм^2 . Передат-

чики размещены в узлах пересечения перпендикулярных элементов антенны на глубине 10 м в упрочненных капсулах и соединены антенным кабелем на глубине 1,8 метра с четырьмя соседними станциями.

Каждая капсула содержит два усилителя мощности: один для линии север-юг, другой – для линии восток-запад. Такая система размещения антенны и подключения передатчиков обладает избыточностью, а автоматическая система коммутации восстанавливает antennную решетку, минимизируя полный момент тока, если капсулы или antennные линии будут повреждены (даже ядерным взрывом).

Antenna радиоцентра состоит из длинных отрезков горизонтально расположенного изолированного кабеля, концы которых заземлены.

Известно [4], что наиболее эффективно излучение электромагнитных волн происходит тогда, когда размеры антенны соизмеримы с длиной волны. Исходя из этого, для излучения, например, на $f = 75$ Гц потребовалась бы антenna $L = 4000$ км, что практически нереально, и поэтому кПД таких антенн очень низок $\eta_{\text{СНЧ}} \approx 1 \cdot 10^{-4}$.

Antenna радиостанции в штате Висконсин представляет собой X-образную конструкцию, в которой каждое плечо содержит два отрезка кабеля общей длиной 22 км, подвешенных на столбах и заземленных на концах. При подводимой мощности 1 МВт излученная в эфир мощность составляет около 2 Вт.

Antenna в штате Мичиган имеет конструкцию, по форме напоминающую латинскую букву F, а общая длина ее жесткого кабеля в защищенной оплете составляет 90 км.

Центр связи с подводными лодками находится в штате Вирджиния, откуда на передающие станции по телетайпным или ЗАС телефонным каналам поступают кодированные команды.

В настоящее время реально действует передающий центр в штате Висконсин, в операторском помещении которого установлены 7 телевизионных индикаторов системы внешней охраны станции, а также цифровые индикаторы, контролирующие различные параметры радиопередающего центра, в том числе силу тока I_A , напряжение U_A и рабочую частоту. Для проверки работоспособности передающего устройства производится передача буквенной комбинации. Для однократной передачи 3-значного кодированного сообщения требуется 5 минут.

Расположенная на Кольском полуострове [5] радиостанция СНЧ диапазона «Зевс» имеет antennную систему, представляющую собой две параллельные линии электропередачи длиной 60 км каждая, которые питаются от двух свич-генераторов синусоидального напряжения, установленных у ближних заземлений. Передатчик обеспечивает ток в антенах до 200 – 300 А в диапазоне частот от 20 до 200 Гц. Коэффициент преобразования (кПД) радиостанции «Зевс» относительно низок 10^{-6} , а это значит, что на каждый ватт излучаемой мощности необходимо затрачивать до 100 кВт мощности передающих генераторов.

Поэтому в [6, 7] предлагаются новые направления в развитии СНЧ радиосвязи. Кроме работы мощных радиостанций для обеспечения односторонней радиосвязи с подводными объектами осуществляется решение задач фундаментальной и прикладной геофизики (изучение глубинного строения земной коры, поиск рудных и нефтяных месторождений, прогноз землетрясений и цунами).

Приемный комплекс подводных аппаратов радиолиний СНЧ диапазона состоит из приемных ан-

тенн и специализированных радиоприемных устройств. Наилучшую эффективность при этом дают буксируемые приемные antennы положительной плавучести. Разработанная antenna по проекту «Сангвин» представляет собой горизонтально буксируемый кабель положительной плавучести общей длиной 500 – 600 м, в который вмонтированы два электрода. Расстояние между электродами подбирается таким образом, чтобы в наибольшей степени снизить «электрические» помехи, возникающие из-за изменения электрохимической активности (турбулентности) вблизи электродов при движении подводного объекта. Для гашения колебаний последнего электрода antenna заканчивается демпфером, благодаря которому «уменьшаются» «скоростные» помехи, появляющиеся из-за вибрации в магнитном поле движущегося подводного объекта. Так как длина antennы намного меньше длины волны, то диаграмма направленности имеет вид восьмерки. Типичным представителем специализированного радиоприемника СНЧ диапазона является экспериментальный приемник, разработанный в рамках проекта «Сангвин». Блок-схема приемника показана на рисунке 3.

Отличительная особенность приемника состоит в том, что он по своей структуре является приемником прямого усиления. Экспериментальная схема включает в себя большинство функций, которые будут выполняться реальным приемником. Приемник состоит из двух частей: аналоговая часть, предназначенная для первоначального усиления и фильтрации, и цифровая часть приемника, предназначенная для дальнейшей фильтрации, обработки шума, демодуляции и декодирования. Вся цифровая часть выполнена на небольшом компьютере специального назначения. Низкая скорость передачи информации, узкая полоса пропускания позволили достичь желаемых результатов при обработке сигнала, искаженного шумами.

Аналоговая часть состоит из малошумящего предусилителя; фильтра низких частот; фильтров верхних частот; режекторных фильтров, работающих на частоте энерголинии и ее гармоник; дополнительно установленных усилителей и усилителя с цифровым управлением. Полосовые фильтры выбираются из компромиссных соображений между широкой полосой, максимизирующей коэффициент обработки нелинейного шума, и узкой полосой, минимизирующей требуемую скорость взятия выборок и воздействие нежелательных компонентов шумов округления, в котором работает приемник.

Универсальная система фильтров аналогового блока обеспечивает нормальную работу при наличии различных помех. Предварительные усилители защищены экранами от электромагнитных помех силовой сети и механически изолированы от шасси, что исключает вибрацию на частотах, соответствующих его полосе пропускания. Аналоговый входной тракт обеспечивает постоянный коэффициент усиления (не менее 160 дБ) в соответствии с уровнем атмосферных помех, скоростью и глубиной погружения подводного объекта (его приемной antennы).

Сигнал с выхода аналогового блока выбирается и преобразуется в цифровую форму аналого-цифровым преобразователем ЭВМ, которая и является основой приемника, время выборки определяется по точным часам (по системе единого времени). Такая обработка сигнала при низких скоростях передачи (1 бит информации за 100 секунд) наиболее экономична. ЭВМ имеет память 16 кбит и время обращения 0,95 мкс. Входной сигнал обрабатывается ЭВМ с

учетом скорости, глубины и удельной проводимости подводного объекта, времени суток. Выходная информация регистрируется (обрабатывается) телетайпом со скоростью 303 м/с.

Фильтр низких частот исключает прохождение составляющих шума антенны, фильтр компенсации влияния океана восстанавливает характеристику сигнала и помех, которые искажаются с изменением глубины приемной антенны. Следящие режекторные фильтры понижают уровень помех от электродвигателей подводного объекта (подавляют частоту 60 Гц и ее гармоники). Фильтр предыскажений сглаживает спектр атмосферных помех, а ограничитель шумов адекватно понижает уровень шумов. Квадратурные согласованные фильтры восстанавливают как можно больше информации о принимаемом сигнале. Благодаря перечисленным мерам последовательной фильтрации в приемнике получена оптимальная полоса пропускания (около $4 \cdot 10^3$ Гц). Устройство оценки фазы (ошибка должна быть минимальной, так как она уменьшает энергию входного сигнала в число раз, соответствующее \cos^2 фазовой ошибки) оценивает ее из самого информационного сигнала на каждом интервале путем интерполяции. Причиной флюктуации фазы могут быть внезапное изменение глубины подводного аппарата и ионосферные возмущения.

Последовательное кодирование и сверточное декодирование обеспечивают наилучшую высокую надежность приема сообщений при низком отношении сигнал/шум.

Синхронизация приемника достигается на трех уровнях: синхронизация дискрета, синхронизация проверочных символов и синхронизация сообщений.

Синхронизация дискрета происходит в пределах части длительности дискрета путем синхронизации генератора помехозащищенного потока (ПСП) в реальном времени на передаче и приеме (в системе СЕВ). Затем, зная расстояние между приемником и передатчиком, можно компенсировать задержку при распространении.

Синхронизация проверочных символов достигается тогда, когда они начинаются на заранее обусловленных границах дискрета (чила).

Синхронизация сообщений осуществляется тем, что сообщения начинаются в точно установленное время, известное на передаче и приеме (работа в СЕВ).

Принципиальным элементом СНЧ приема на подводном объекте является антenna с Е-полем, размещенная в длинном плавучем кабеле, расположенным сзади ПЛ. Антenna состоит из пары спиральных электродов, изготовленных из титанового провода и находящихся в контакте с водой. Соединительная линия передачи, скрученная из пары проводов, соединяет электроды с приемником. Типичная плавучесть кабеля равна 0,85. Расстояние между электродами равно 300 м, между передним электродом и точкой развертывания на ПЛ — приблизительно 625 фут. В качестве стабилизатора используется кабель длиной 250 фут, находящийся за кормовым электродом.

Для наземных приемных станций используется вертикальная антенная решетка, принимающая горизонтальное Н-поле.

Испытания приемника

Аналитическим путем оказалось трудно определить рабочие характеристики, поэтому они, кроме расчетов, определялись экспериментальным методом.

Наличие большого количества параметров приемника и широкого диапазона условий его применения сделало невозможным проведение полной оптимизации всех параметров и условий; инженерная мысль была направлена на выбор правильной методики проведения опытов и на оптимальное применение их результатов при разработке схемы приемника.

Главная цель всех испытаний — подтвердить, что экспериментальный приемник может функционировать в оперативной обстановке и при любом положении подводного аппарата.

Для более полного представления всей схемы приемника некоторые испытания, проведенные на отдельных элементах, необходимо проверить несколько раз. После того как оптимизированы все блоки отдельно, они были собраны в более крупные узлы для дальнейшей оптимизации. Сначала были проведены испытания более крупных узлов. Затем рабочие характеристики были проверены в различных симулированных условиях и при различных положениях платформы.

Испытания приемника были разделены на две части:

- 1) испытания по обработке сигнала;
- 2) испытания элементов, стоящих после согласованного фильтра.

Испытания по обработке сигнала (использовалась сумма записанного атмосферного шума с сигналами ЧТ-манипуляции без разрыва фазы) были проведены на тех программах, которые минимизируют отношение сигнал/шум на выходе согласованного фильтра. Моделировались также эффекты распространения сигнала в толще морской воды, выходы согласованного фильтра и шумы антенн.

Испытания второй группы выполнялись на остальных программах управления: усилением канального символа, устройства оценки фазы, фазовращателя, разделения и последовательного декодера (десифратора); здесь критерием для определения характеристик является вероятность отказа цикла декодирования.

В испытаниях по обработке сигналов были получены хорошие статистические результаты по отношениям сигнал/шум (данные, соответствующие длительности нескольких сообщений). В испытаниях элементов, стоящих после согласованного фильтра, удовлетворительные оценки вероятности непринятия решения декодером обуславливают необходимость обработки большого количества сообщений.

Заключительная часть конструкции целого приемника была проверена с помощью ряда полевых испытаний, в которых модулированные сигналы передавались с помощью испытательной станции штата Висконсин и принимались в трех местах.

Экспериментальный передатчик WTF был специально построен ВМФ для изучения эффективности устройств, понижающих (уменьшающих) интерференцию (помехи) в области нахождения передатчика.

WTF состоит из двух пересекающихся 14-мильных дипольных антенн, заземленных на каждом конце. Ток антенн достигает 300 А ($P_{вх} \approx 300$ кВт), и хотя измеренная излученная мощность составляла менее 1 Вт, она обеспечивала уровень сигнала приемника на достаточно большом расстоянии от передатчика.

Хотя лабораторные испытания были всесторонними, заключительная демонстрация конструкции целого приемника была произведена с помощью ряда

Таблица 1

Частота среза, Гц (а)	Относительное отношение сигнал/шум, дБ
— (нет нч)	-1,9
175	-0,3
150	-0,3
125	0
100	+0,1
Эксперимент (в)	Относительное отношение сигнал/шум, дБ
Режекторный 60 и 120 Гц	0
Ограничитель шума 60%	
Глубина 94 м	
Ограничитель шума 75%	-0,1
Глубина 99 м	+0,2
Глубина 104 м	-0,2

(а) - эффект модифицирования частоты среза ФНЧ;
 (в) - результаты изменений других параметров
 при частоте среза ФНЧ – 125 Гц

полевых испытаний, в которых модулированные сигналы передавались испытательной станцией штата Висконсин и принимались в трёх местах. Первая серия испытаний проводилась в начале августа 1972 года на о. Плюм (США, Массачусетс), вторая — также в наземных условиях в сентябре 1972 года около Тромсё (Норвегия), третья и наиболее важная — в начале декабря 1972 года на борту действующей ядерной ПЛ США «Тиноса» (SSN-606) при переходе из Неаполя в Нью-Лондон (Коннектикут).

В процессе экспериментов, как ранее упоминалось, испытательная станция штата Висконсин передавала сообщение «От знаний к морскому меществу» (девиз Военно-морской академии США), используя модулированные сигналы ЧТ манипуляции без разрыва фазы на частоте 76 ± 4 Гц. Использовался 5-разрядный код, чтобы преобразовать текст сообщения объёмом 100 бит в типичные короткие блоки, обрабатываемые системой «Сангвин». Ввиду ограниченной мощности передатчика использовалась малая скорость передачи данных — приблизительно 0,03 бита информации в секунду, чтобы получить достаточное отношение сигнал/шум на большом расстоянии от передатчика. В передающих антенах на направлениях север-юг и запад-восток создавался ток 300 А, и при каждом испытании величина фазы была выбрана таким образом, чтобы максимум диаграммы направленности был ориентирован на приёмник.

Приёмные антенны представляли собой вертикальные с воздушным сердечником рамочные антенны (предназначенные для наземных испытаний), свободно подвешенные с парой электродов с разнесением 300 м для испытаний на ПЛ. Хотя фактические функциональные схемы приёмников были несколько различными в разных пунктах, тем не менее аналоговые НЧ и ВЧ фильтры были аналогичными и имели полосу пропускания между 20 и 180 Гц, заграждающие фильтры, как аналоговые так и цифровые, работали на 60 Гц и её гармониках. В Тромсё присутствие побочных помех на частотах 50 и 17 Гц продиктовало использование более узкой полосы пропускания и дополнительных режекторных фильтров. В большинстве испытаний ограничитель устанавливается так, чтобы ограничивать 60% выборок,

так как обнаружено, что при этом можно получить наилучшее отношение сигнал/шум в приёмнике. При наземных испытаниях нет необходимости в цифровых НЧ фильтрах, но в испытаниях на ПЛ цифровые НЧ фильтры улучшают отношение сигнал/шум. Частота среза такого фильтра изменялась от 175 Гц при малых скоростях и небольшой глубине до 100 Гц при больших скоростях и глубине.

Отличные результаты получены во время испытаний с успешным декодированием посылок на всех приёмных пунктах. Передатчик и приёмник были надёжными в работе и с сигналами станции, излучающей сигналы точного времени. Синхронизация между обеими сторонами поддерживалась в течение длительного времени.

Три группы данных было получено в течение периода поздней ночи и раннего утра, каждая группа — на различной скорости и, следовательно, при разных, незначительно отличающихся глубинах погружения антенны. За исключением последней посылки, отношение сигнал/шум, имеющее величину на 3 дБ ниже номинальной, все сообщение удалось успешно декодировать; причём первые пять сообщений имели значительный запас по отношению сигнал/шум. При этом изменение скорости ПЛ от 6 до 10 узлов обусловливало уменьшение уровня шумов, отражая как увеличение глубины погружения антенны, так и уменьшение уровня атмосферного шума на данной глубине. Изменение скорости от 10 до 16 узлов обуславливало усиление входного шума, включая увеличенный шум антенны и тот факт, что данную составляющую шума можно было теперь сравнить с атмосферным шумом на данной глубине. В течение каждого изменения скорости уменьшалась разница между уровнями входного и эффективного шума, что указывало на возможность сокращения обработки по мере увеличения шума в антенне.

Во время этих испытаний сделаны аналоговые записи входного сигнала компьютера, сигнала на частоте 512 Гц, временного кода, скорости, глубины и коэффициента усиления усилителя с цифровым управлением. Имея такие записи, можно ещё раз обработать данные (при более высокой скорости, чем в реальном времени) в приемнике, причём можно менять параметры приёмника. В таблице 1 показаны некоторые результаты, полученные таким способом, при скорости лодки 13 узлов и глубине киля 400 фут.

В первой части таблицы показано, какой эффект оказывает частота среза ФНЧ на отношение сигнал/шум. Так как данные соответствуют только одному сообщению, нельзя делать каких-либо общих выводов, но ясно, что именно для этого сообщения использование КНЧ даёт значительное улучшение сигнал/шум и наилучшей частотой среза является частота в диапазоне от 100 до 125 Гц. Вероятно, это вызвано наличием шума антенны, который (после фильтра, компенсирующего влияние океана) начинает доминировать на входе ограничителя шума.

Вторая часть таблицы 1 показывает эффект модифицирования других параметров приёмника при фиксированной частоте среза 125 Гц.

В таблице 1 показаны результаты повторной обработки одного из сообщений, записанного при скорости 13 узлов и глубине киля 400 фут.

Как запланировано в расчёте, приёмник после запуска не требует ручного управления входными сигналами; соответствующая установка регуляторов усиления и ФНЧ с компенсацией влияния морской воды и заграждающих фильтров производилась без вмешательства оператора. Коэффициенты усиления,

полученные в приёмнике при обработке шума, соответствовали величинам, предсказанным в лабораторных условиях. Дневные изменения фазы, предположительно происходящие, когда на пути передачи происходила смена дня и ночи, постепенно и легко регулируются устройством оценки фазы. Также проводились наблюдения за дневными изменениями эффективного уровня шума; наиболее заметным было увеличение на 10 дБ в Тромсё в период между ранним утром и послеобеденными часами, насыщенными промышленным шумом.

Испытания на ПЛ [1] показали, что вся приёмная система может успешно работать в реальных условиях с различными скоростями, на различной глубине и большом расстоянии от передатчика. Действительно, несмотря на ограниченное число данных, можно сделать заключение, что результаты испытаний на ПЛ оказались несколько лучше тех, которые следовало ожидать на основании данных береговых испытаний. Вполне возможно, что это объясняется меньшим уровнем искусственных помех.

Таким образом, радиолиния СНЧ диапазона типа «Сангвин», использующая бинарные широкополосные сигналы, является достаточно помехозащищенной и эффективной для осуществления надежной радиосвязи с подводными объектами.

Заключение

Проведенные в нашей стране и за рубежом всесторонние исследования в области использования КНЧ и СНЧ диапазонов для осуществления помехоустойчивой радиосвязи с подводными объектами позволили сделать однозначный вывод об эффективности применения бинарных широкополосных сигналов при их оптимально выбранных параметрах (сверточное бинарное кодирование, последовательное декодирование, непрерывность фазы сигнала и т.д.).

Серия экспериментов, проведенных в реальных

условиях радиосвязи с помощью приемо-передающего комплекса системы «Сангвин», убедительно доказала правомерность этого вывода.

Библиографический список

1. Беристайн С., Барроуз М., Эванс Дж. и др. Дальняя связь на крайне низких частотах // ТИИЭР. – 1974. т. 62, №3. С. 5 – 30.
2. О системе Sanguine дальней СНЧ связи // Судостроение за рубежом. – 1973, №8 (80). С. 20 – 32.
3. О системах Sanguine и Seafarer дальней связи командования ВМС США с РАПЛ // Судостроение за рубежом. – 1976, №6 (628). С. 8 – 11.
4. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Сов. радио, 1974. – 536 с.
5. Кононов Ю.М., Жамалетдинов А.А. Системы радиосвязи и мониторинга среды // Радиоэлектроника и телекоммуникации – 21. – М.: ИНФОРМОСТ. – 2002. С. 3 – 5.
6. Семенов И.И. Широкополосные системы радиосвязи: Учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2002 – 92 с.
7. Семенов И.И., Тихонов А.И. Приемник последовательных многопозиционных широкополосных сигналов // Омский научный вестник. – 2006, №1 (34). С. 126 – 131.

СЕМЕНОВ Иван Иванович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ОНИИП.

ТИХОНОВ Анатолий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭсПП, секция ПЭ, Омского государственного технического университета.

БАБИКОВ Михаил Васильевич, студент группы ПЭ-522 Омского государственного технического университета.

Статья поступила в редакцию 09.11.06 г.

© Семенов И. И., Тихонов А. И., Бабиков М. В.

Информация

Когда заказчик – государство

Высокую оценку качеству исполнения текущего государственного заказа и перспективных направлений новых научных разработок ОАО ОмПО «Радиозавод им. А.С. Попова» дала группа специалистов Министерства обороны РФ и Военной академии связи.

«Реализуемая на предприятии комплексная научно-исследовательская деятельность, современное высокотехнологичное, наукоемкое производство позволяет Омскому радиозаводу решать масштабные отраслевые задачи и реализовывать долгосрочные проекты», – подчеркнул начальник научно-исследовательского центра Военной академии связи Валентин Гель.

Более 90 % объема производства предприятия приходится на государственный оборонный заказ. По итогам 2006 года совет директоров ОАО «Омское производственное объединение «Радиозавод им. А.С. Попова» рекомендовал собранию акционеров утвердить дивиденды по итогам деятельности акционерного общества за 2006 год в размере 200 % по всем видам акций.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННЫМ РЕСУРСОМ АДАПТИВНОЙ РАДИОЛИНИИ ДЕКАМЕТРОВОЙ СВЯЗИ С ППРЧ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОБСТАНОВКИ

Процесс управления частотно-временным ресурсом радиолинии с ППРЧ в условиях сложной радиоэлектронной обстановки рассматривается как процесс противоборства двух антагонистических систем с противоположными целями. Предложен алгоритм управления, основанный на использовании методов теории игр при наличии информации о текущей стратегии противоборствующей системы. При реализации процесса управления частотно-временным ресурсом радиолинии с ППРЧ предлагается учитывать вектор коэффициентов использования частот.

Высокие требования, предъявляемые к современным системам декаметровой связи по помехоустойчивости и пропускной способности, вызывают необходимость поиска новых путей их совершенствования. Одним из направлений совершенствования систем декаметровой связи, функционирующих в условиях сложной радиоэлектронной обстановки, является создание автоматизированных сетей радиосвязи (АСРС) [1, 2, 3, 4, 5].

В известных работах [5, 8, 10, 11, 14], посвященных построению АСРС, алгоритмы, реализующие основные функции управления АРЛ, имеют ограниченное применение, так как разработаны либо без учета моделей конфликтного взаимодействия противодействующих систем, либо предлагают наличие полной взаимной информированности о стратегии друг друга.

Отмеченные обстоятельства вызывают необходимость использования для решения проблемы управления АРЛ в условиях сложной радиоэлектронной обстановки (РЭО) нового подхода к проектированию с позиций противоборства друг с другом антагонистических систем с противоположными целями в условиях различного рода неопределенностей относительно стратегии противодействующей системы.

Решение указанной проблемы предполагает рассмотрение целого ряда задач, одной из которых является синтез алгоритмов управления ресурсами адаптивных радиолиний при их функционировании в условиях различной информированности относительно характеристик системы внешних воздействий. Одной из важнейших является задача оптимального управления частотным ресурсом. Это обусловлено, прежде всего, особой ролью и специфическими особенностями частотного ресурса в декаметровой связи.

Управление частотным ресурсом АРЛ решает задачи оптимального выбора рабочих частот в динамике ведения связи, обеспечивающего экстремум вы-

бранного показателя эффективности линии радиосвязи. Правила выбора и смены рабочих частот в совокупности составляют алгоритм управления АРЛ и в большей мере определяют ее эффективность. С точки зрения повышения разведзащенности наиболее перспективными считаются системы с ППРЧ. Оценка разведзащенности таких систем занимает недущее место среди других показателей эффективности функционирования.

Однако из анализа работ [14; 15] следует, что применение режима медленной ППРЧ в канале декаметровой связи приводит к снижению достоверности и своевременности передачи сообщений в таких радиолиниях и в целом эффективности. В связи с этим актуальной задачей является повышение показателей достоверности и своевременности передачи сообщений в линиях декаметровой связи с применением режима ППРЧ. Поставленная задача может быть решена за счет оптимального управления частотно-временным ресурсом (ЧВР) радиолинии с ППРЧ в условиях сложной РЭО.

В качестве показателя, характеризующего степень использования ЧВР радиолинии с ППРЧ, выберем коэффициент (вес) использования рабочей частоты, под которым будем понимать отношение суммарного времени работы радиолинии на частоте программной перестройки (t_i) к общему времени работы радиолинии (T) при постоянной скорости программной перестройки:

$$a_i = t_i/T. \quad (1)$$

При выполнении условия:

$$a_1 = a_2 = \dots = 1/m, \quad (2)$$

где m — количество используемых рабочих частот, в радиолинии с ППРЧ реализуется равномерный закон использования рабочих частот.

Если условие (2) не выполняется, то закон использования частот является неравномерным. Радиоли-

нию, в которой реализован равномерный закон использования рабочих частот, будем называть радиолинией с равномерной ППРЧ, а радиолинию, реализующую неравномерный закон, — радиолинией с неравномерной ППРЧ. Физически неравномерный закон использования частот означает, что радиолиния на каждую из рабочих частот перестраивается различное число раз. Сумма коэффициентов использования частот равна единице.

При постоянной скорости передачи информации в радиолинии, а также неизменном времени работы радиолинии на одной частоте и времени перестройки коэффициент использования рабочей частоты определим как

$$a_i = S_i, S = N_i, N, \quad (3)$$

где S_i — количество перестроек радиолинии на i -тую частоту из общего количества перестроек S ; N_i — суммарное количество переданных символов на i -той частоте; N — общее количество переданных символов в радиолинии за рассчитываемый интервал времени.

Предполагается осуществление технологического управления ЧВР радиолинии с ППРЧ посредством изменения коэффициентов использования рабочих частот с целью повышения эффективности функционирования радиолинии.

В целях формализации процесса управления ЧВР радиолинии с ППРЧ рассмотрим взаимодействие системы управления радиолинией с ППРЧ и системы управления комплекса радиоподавления (КРП). Поскольку с позиций противоборства в паре «система управления радиолинией — система управления КРП» рассматривается только радиоканал, а в самой РЭО интересует, прежде всего, отображение стратегии использования рабочих частот, то формализованное представление РЭО в виде частотно-временной матрицы (ЧВМ) представляется наиболее целесообразным [12]. В зависимости от использования частот матрица может быть либо ленточной, либо прямоугольной. В [12] введено понятие — матрица связного ресурса (МСР), являющееся основой для математической модели процесса эксплуатации ресурса рабочих частот при функционировании радиолинии.

Полагаем, что в процессе принятия решения системам управления противоборствующих сторон известны реальное состояние своего объекта управления Z_s (Z_r), объекта управления противника Z_s (Z_r), где Z — множество состояний объекта [13], а также

априорные данные, на основе которых формализуются стратегии управления противоборствующих сторон. На рис.1 представлена обобщенная модель процесса формирования управляющих воздействий для радиолинии с ППРЧ и КРП при их противоборстве.

На основе имеющейся информации о реальном состоянии противоборствующих сторон и априорной информации о радиолинии с ППРЧ и КРП посредством операции оценивания системой управления радиолинией с ППРЧ и системой управления КРП осуществляется оценка текущего состояния радиолинии $Z_s^{(S)}$, $Z_s^{(R)}$ и КРП $Z_r^{(R)}$, $Z_r^{(S)}$.

Полученные оценки $Z_s^{(S)}$, $Z_s^{(R)}$, $Z_r^{(R)}$, $Z_r^{(S)}$ совместно с априорной информацией о множестве возможных стратегий противоборствующих сторон используются для формирования стратегий управления $U_s^{(S)}$ и $U_r^{(R)}$, которые получаются на основе решения оптимизационных задач, обеспечивающих достижение экстремума выбранного функционала $\Phi_U^{(S)}$.

Учитывая противоположность целей функционирования радиолинии с ППРЧ и КРП, в качестве критериального функционала при управлении радиолинией с ППРЧ будем использовать один и тот же показатель $\Phi_U^{(S)} = \Phi_U^{(R)} = \Phi = P_{\text{шпр}} (P_{\text{ши}} \leq P_{\text{ши доп}})$, где $P_{\text{шпр}} (\dots)$ — вероятность того, что в радиолинии с ППРЧ вероятность ошибки приема не превысит допустимого значения $P_{\text{ши доп}}$.

Физически это означает, что если формируемые стратегии управления радиолинии с ППРЧ $U_s^{(S)}$ направлены на максимизацию функционала Φ , то управляющее воздействие КРП на его минимизацию

$$U_s^{(S)}: \Phi_U^{(S)} \rightarrow \max, \quad (4)$$

$$U_s$$

$$U_r^{(R)}: \Phi_U^{(R)} \rightarrow \min \quad (5)$$

Стратегии управления $U_s^{(S)}$ зависят от вида преднамеренных помех, тактико-технических характеристик КРП, вида каналов радиосвязи, радиоподавления и определяются вектором коэффициентов использования частот $A = \|\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m\|$.

Таким образом, для реализации процесса управления ЧВР радиолинии с ППРЧ определим вектор коэффициентов использования частот A , при котором функционал $\Phi = P_{\text{шпр}} (P_{\text{ши}} \leq P_{\text{ши доп}})$ принимает экстремальное значение. При этом рассмотрим функционирование радиолинии с ППРЧ в сложных условиях РЭО (воздействия случайных помех, одновременного воздействия случайных и шумовых, по-

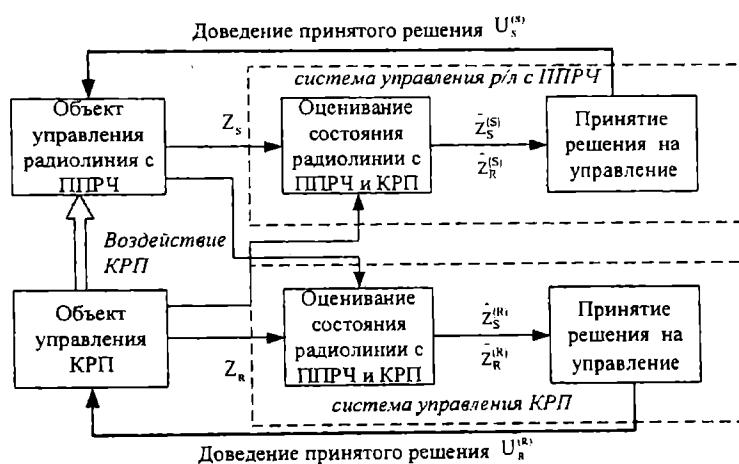


Рис. 1. Представление процесса управления радиолинии с ППРЧ в условиях радиоподавления в виде противоборства двух антагонистических систем

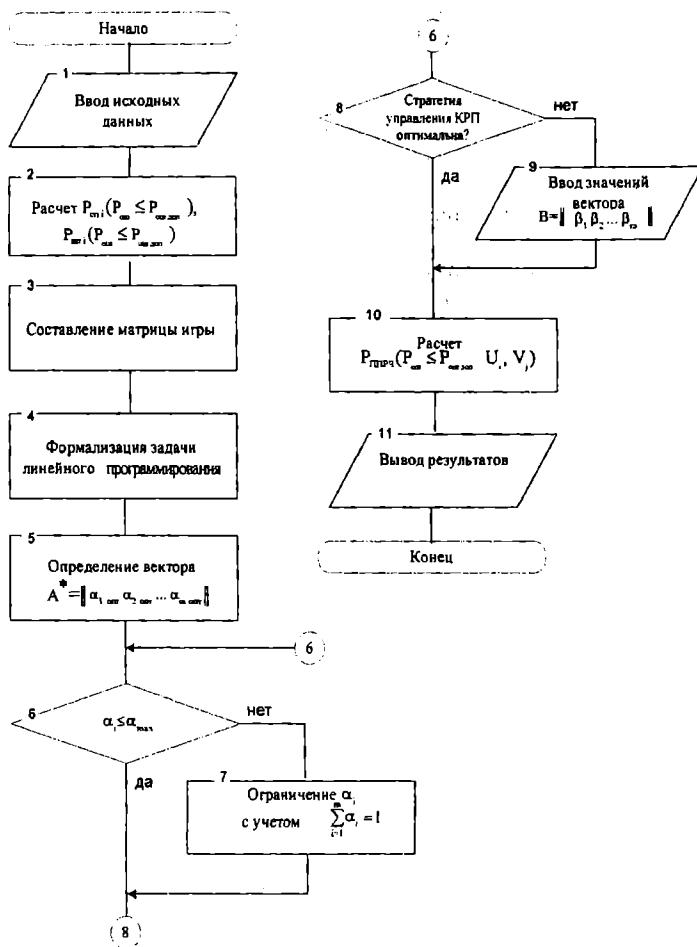


Рис. 2. Алгоритм принятия решения на управление частотно-временным ресурсом в радиолинии с ППРЧ в условиях воздействия преднамеренной помехи в режиме ППРЧ

лигармонических, имитационных преднамеренных помех, а также помех в виде сигнала с ППРЧ).

Пусть программная перестройка осуществляется по m рабочим частотам. При этом U_i стратегия радиолинии с ППРЧ заключается в использовании для передачи информации i -той частоты, $i = 1, 2, \dots, m$.

Совокупность возможных стратегий управления радиолинией с ППРЧ представляет множество $\{U_i\}$ мощностью $|\{U_i\}| = m$, а стратегия КРП V_j , заключающаяся в постановке помехи на j -той частоте, — множество $\{V_j\}$ мощностью $|\{V_j\}| = m$.

Предположим, что при воздействии на линию радиосвязи КРП использует шумовую, гармоническую или имитационную преднамеренную помеху в виде сигнала ППРЧ на частотах работы радиолинии. Причем скорости программной перестройки преднамеренной помехи КРП и в радиолинии, а также начальное время излучения преднамеренной помехи и сигналов в радиолинии совпадают. При этом отсутствует информация о применяемой в данный момент стратегии управления.

Определим стратегию управления ЧВР радиолинии с ППРЧ в условиях радиоподавления в виде вектора коэффициентов использования частот $A = [\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_m]$, где значения α_i характеризуют вероятность использования в радиолинии стратегии U_i , $i = 1, 2, \dots, m$; а стратегию воздействия КРП, заключающуюся в постановке преднамеренных помех в виде сигнала с ППРЧ, — вектором $B = [\beta_1 \beta_2 \dots \beta_m]$, где значение β_j характеризует вероятность использования КРП стратегии V_j , $j = 1, 2, \dots, m$.

Значения вероятностей обеспечения радиосвязи в радиолинии с ППРЧ на m рабочих частотах в усло-

виях воздействия случайных помех представим матрицей

$$P_{\text{ch}} = [P_{\text{ch}1}(P_{\text{osh}} \leq P_{\text{osh, доп}}), \dots, P_{\text{ch}m}(P_{\text{osh}} \leq P_{\text{osh, доп}})],$$

а в условиях преднамеренных помех — матрицей

$$P_{\text{pprc}} = [P_{\text{pprc}1}(P_{\text{osh}} \leq P_{\text{osh, доп}}), \dots, P_{\text{pprc}m}(P_{\text{osh}} \leq P_{\text{osh, доп}})].$$

В качестве функционала при формировании оптимальных стратегий управления ЧВР радиолинии с ППРЧ выберем вероятность радиосвязи с достоверностью не хуже заданной при i -той стратегии управления радиолинией U_i и j -той стратегии воздействия КРП V_j :

$$\Phi(U_i, V_j) = P_{\text{pprc}}(P_{\text{osh}} \leq P_{\text{osh, доп}} / U_i, V_j). \quad (6)$$

При формировании оптимальных стратегий управления ЧВР радиолинии с ППРЧ будем считать, что стратегия управления $U_i \in \{U_i\}$ направлена на максимизацию функционала $\Phi(U_i, V_j)$, а стратегия $V_j \in \{V_j\}$ на его минимизацию.

В такой постановке задача управления ЧВР радиолинии с ППРЧ является задачей теории игр. При этом оптимальной стратегией управления ЧВР радиолинии, формируемой в условиях неопределенности используемой в данный момент стратегии воздействия КРП, является стратегия:

$$U_{i_{\text{opt}}} = \operatorname{Arg} \max_{U_i} \min_{V_j} (P \leq P_{\text{osh, доп}} / U_i, V_j) \quad (7)$$

Вероятность $P_{\text{pprc}}(P_{\text{osh}} \leq P_{\text{osh, доп}} / U_i, V_j)$ представим следующим образом:

$$P_{\text{ППРЧ}}(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}} / U_i, V_j) = P_{ij} = \begin{cases} P_{\text{сп}} & \text{при } i \neq j \\ P_{\text{пп}} & \text{при } i = j \end{cases} \quad (8)$$

Тогда вероятность радиосвязи с достоверностью не хуже заданной в радиолинии с ППРЧ в условиях воздействия КРП определим матрицей $P = [P_{ij}]_{m \times m}$.

Для формирования оптимальной стратегии управления ЧВР радиолинии с ППРЧ при ее функционировании в конфликтной ситуации с противостоящим КРП представим процесс взаимодействия радиолинии и КРП антагонистической матричной игрой:

$$\Gamma = \langle \{U_i\}, \{V_j\}, P(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}} / U_i, V_j) \rangle. \quad (9)$$

Согласно основной теореме теории игр, конечная игра имеет хотя бы одно решение, возможно, в областях смешанных стратегий. Оптимальная стратегия управления ЧВР радиолинии с ППРЧ обладает тем свойством, что при любой стратегии КРП обеспечивается гарантированный выигрыш не меньше, чем цена игры v . Таким образом:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_{1\text{опт}} P_{1\text{сп}} + \alpha_{2\text{опт}} P_{2\text{сп}} + \dots + \alpha_{m\text{опт}} P_{m\text{сп}} \geq v \\ \alpha_{1\text{опт}} P_{1\text{пп}} + \alpha_{2\text{опт}} P_{2\text{пп}} + \dots + \alpha_{m\text{опт}} P_{m\text{пп}} \geq v \\ \dots \\ \alpha_{1\text{опт}} P_{1\text{сп}} + \alpha_{2\text{опт}} P_{2\text{сп}} + \dots + \alpha_{m\text{опт}} P_{m\text{сп}} \geq v \end{array} \right\} \quad (10)$$

Разделим неравенства (10) на положительную величину v и обозначим $\xi_1 = \alpha_{1\text{опт}}/v; \dots; \xi_m = \alpha_{m\text{опт}}/v$.

Тогда условия (10) запишутся в виде:

$$\left. \begin{array}{l} \xi_1 P_{1\text{сп}} + \xi_2 P_{2\text{сп}} + \dots + \xi_m P_{m\text{сп}} \geq 1 \\ \xi_1 P_{1\text{пп}} + \xi_2 P_{2\text{пп}} + \dots + \xi_m P_{m\text{пп}} \geq 1 \\ \dots \\ \xi_1 P_{1\text{сп}} + \xi_2 P_{2\text{сп}} + \dots + \xi_m P_{m\text{сп}} \geq 1 \end{array} \right\} \quad (11)$$

Кроме того, $\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m = 1/v$.

Задачей управления ЧВР радиолинии с ППРЧ является получение максимально возможного гарантированного выигрыша (v). Таким образом, решение задачи теории игр приводится к решению задачи линейного программирования: минимизация функционала

$$F(\xi) = \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_m \rightarrow \min_{\xi} \quad (12)$$

при ограничениях (11).

Рассуждая аналогичным образом, можно решить задачу теории игр для противника: максимизировать значение функционала.

Решение игры $\langle \Gamma \rangle$ определяет гарантированное значение вероятности радиосвязи с достоверностью не хуже заданной в радиолинии с ППРЧ:

$P^*(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}} / U_i, V_j) = \text{Val}\Gamma$, а также вектор коэффициентов $A^* = [\alpha_{1\text{опт}}, \alpha_{2\text{опт}}, \dots, \alpha_{m\text{опт}}]$ и вектор коэффициентов $B^* = [\beta_{1\text{опт}}, \beta_{2\text{опт}}, \dots, \beta_{m\text{опт}}]$, задающие оптимальную стратегию управления ЧВР радиолинии с ППРЧ и преднамеренной помехи.

Если стратегия управления ЧВР КРП не оптимальна, то значение вероятности радиосвязи в радиолинии с ППРЧ превышает гарантированное значение $\text{Val}\Gamma$ при оптимальной стратегии управления ЧВР радиолинии с ППРЧ. При произвольных стратегиях управления ЧВР радиолинии с ППРЧ и КРП вероятность радиосвязи с достоверностью не хуже заданной в радиолинии с ППРЧ определим выражением:

$$P(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}} / U_i, V_j) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_i \beta_j P_{ij} \quad (13)$$

Значение коэффициента использования частоты определяет время реакции КРП. При малых значениях времени реакции на рабочих частотах КРП может использовать более эффективную «помеху вслед». Поэтому при принятии решения на управление ЧВР радиолинии с ППРЧ методом теории игр целесообразно ограничить полученные значения коэффициентов использования частот: $\alpha_i \leq \alpha_{\text{max}}$ при соблюдении условия, что сумма коэффициентов использования частот равна единице.

Алгоритм принятия решения на управление ЧВР радиолинии с ППРЧ в условиях воздействия помехи в режиме ППРЧ представлен на рис. 2. В первом блоке алгоритма осуществляется ввод исходных данных, во втором – расчет вероятностей радиосвязи на рабочих частотах в условиях воздействия случайных и преднамеренных помех. Формализация матричной игры производится в третьем блоке.

Решение игры определяют блоки 4 и 5. При этом для решения матричной игры используется метод линейного программирования. В блоках 6-7 производится ограничение значений коэффициентов использования частот. В блоке 10 производится расчет вероятности радиосвязи с достоверностью не хуже заданной в радиолинии с ППРЧ с учетом стратегий управления преднамеренной помехи и радиолинии с ППРЧ.

В блоке 11 выводятся значение сформированного вектора $A = [\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m]$, определяющего оптимальную стратегию управления ЧВР радиолинии с ППРЧ, и значение вероятности радиосвязи с достоверностью не хуже заданной с учетом стратегии воздействия преднамеренной помехи $P_{\text{ППРЧ}}(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}} / U_i, V_j)$.

Предположим, что ППРЧ осуществляется по $m = 10$. КРП осуществляет постановку шумовой преднамеренной помехи в режиме ППРЧ на всех рабочих частотах. Определим оптимальные стратегии управления ЧВР радиолинии с ППРЧ и ЧВР КРП, а также вероятность радиосвязи с достоверностью не хуже заданной радиолинии с ППРЧ при оптимальных управлениях противоборствующих сторон.

Составим матрицу игры:

U _i /V _j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.7	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
2	0.94	0.85	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
3	0.82	0.82	0.65	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82	0.82
4	0.97	0.97	0.97	0.9	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
5	0.94	0.94	0.94	0.94	0.84	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
6	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	0.5	0.78	0.78	0.78	0.78
7	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.82	0.96	0.96	0.96
8	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.67	0.87	0.87
9	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.78	0.92
10	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.82

Вероятности радиосвязи на рабочих частотах примем на каждой частоте соответственно: в условиях воздействия случайных помех 0.82 0.94 0.82 0.97 0.94 0.78 0.96 0.87 0.92 0.98; в условиях дополнительного воздействия преднамеренной помехи - 0.7 0.85 0.65 0.9 0.84 0.5 0.82 0.67 0.78 0.82 [10].

Решением игры будет

$$\text{Val}\Gamma = P_{\text{ППРЧ}}(P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош, доп}} / U_i, V_j) = 0.936$$

при $A^* = [0.228, 0.293, 0.205, 0.146, 0, 0, 0.128]$ и $B^* = [0.041, 0.481, 0.037, 0.169, 0, 0, 0.273]$.

При равномерном законе управления ЧВР КРП и оптимальном управлении ЧВР радиолинии с ППРЧ $P_{\text{ппрч}} (P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош доп}} / U_i V_j) = 0.95$ (на 1000 переданных элементов сигнала ожидается 50 ошибок на прием). При равномерном управлении ЧВР в радиолинии с ППРЧ и оптимальном управлении ЧВР КРП $P_{\text{ппрч}} (P_{\text{ош}} \leq P_{\text{ош доп}} / U_i V_j) = 0.87$ (на 1000 переданных элементов сигнала ожидается 130 ошибок на прием).

Существенным достоинством предлагаемого подхода к формированию оптимальной стратегии управления ЧВР является возможность реализации динамического управления в реальном масштабе времени с использованием принципа «ситуационного управления», что позволит существенно сократить временной цикл управления. Вместе с тем применение стратегии управления ЧВР радиолинии с ППРЧ, отличной от оптимальной, возможно для обеспечения разведащищности функционирования радиолинии с ППРЧ. Результаты сравнительного анализа эффективности функционирования радиолиний, использующих рассмотренный алгоритм управления ЧВР, и радиолиний, функционирующих без использования данного алгоритма, свидетельствуют о том, что применение предлагаемого алгоритма в условиях сложной РЭО обеспечивает повышение вероятности радиосвязи с достоверностью не хуже заданной на рабочих частотах на 10...15 %. Это объясняется, прежде всего, преимущественным использованием частот, на которых затруднено воздействие КРП[10].

Необходимо отметить, что при значительном превышении времени реакции в радиолинии с ППРЧ времени реакции КРП противоборствующей стороны значение критериального функционала определяется величиной показателя эффективности при завершении цикла управления КРП противоборствующей стороны. Поэтому необходимо добиваться уменьшения времени реакции в радиолинии с ППРЧ, повышения эффективности ее функционирования при применяемых стратегиях.

Библиографический список

1. Автоматизированные системы декаметровой связи: Сб. статей / Составитель Б.И. Кузьмин. — М: Знание, 1986. — 64 с.
2. Адаптивные автоматизированные системы военной радиосвязи / Ю.П. Климник, Е.В. Лебединский, В.К. Прохоров, А.Н. Шаров. — Л.: ВАС, 1978. — 284 с.
3. Военная КВ радиосвязь: достижения, направления совершенствования / Е.Ф. Комарович, В.Г. Романенко. — Л.: ВАС, 1989. — 34 с.
4. Военно-технические проблемы совершенствования сетей радиосвязи СЗУ ВС РФ / В.П. Покровский, С.В. Прохоров, С.В. Скворцов // Научно-технический сборник №2. — М.: 16 ЦНИИ МО, 1994. — С. 3-7.
5. Автоматизированные сети радиосвязи / А.Н. Шаров. — Л.: ВАС, 1988. — 178 с.
6. Пути повышения уровня автоматизации на полевых радиоцентрах / И.Ю. Денисов // Научно-технический сборник № 2. — М.: 16 ЦНИИ МО, 1994. — С. 13-16.
7. Принципы построения систем управления информационными сетями / Под ред. Н.И. Буренина. — Л.: ВАС, 1985. — 47 с.
8. Автоматизированные системы управления сетями многоканальной радиосвязи / В.М. Терентьев. — Л.: ВАС, 1986. — 159 с.
9. Оптимизация организационного построения систем управления сетями многоканальной радиосвязи / В.М. Терентьев. — Л.: ВАС, 1988. — 70 с.
10. Управление автоматизированными сетями декаметровой связи в условиях сложной радиоэлектронной обстановки / М.А. Семисошенко. — СПб.: ВАС, 1997. — 22 с.
11. Система декаметровой мобильной автоматической радиосвязи «МАРС» / В.Л. Хазан // Техника радиосвязи. 1998. Вып. 4. — С. 59-66.
12. Демаскирующие признаки управления частотным ресурсом радиолинии декаметровой связи / С.Д. Коровин // III Межрегиональная научно-практическая конференция «Броня-2006». — Омск, 2006. — С. 5-8.
13. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. — М.: Сов. радио, 1973. — 440 с.
14. Управление ресурсом сетей ДКМ радиосвязи с использованием удаленных ретрансляторов / С.Д. Коровин // Материалы XII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». — Воронеж, 2006. — С. 1057-1062.

МАЙСТРЕНКО Василий Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Средства связи и информационная безопасность», проректор по информатизации ОмГТУ.

КОРОВИН Сергей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Тактика и тактико-специальная подготовка» Омского танкового инженерного института, аспирант Омского государственного технического университета.

Статья поступила в редакцию 16.11.06 г.

© Майстренко В. А., Коровин С. Д.

Книжная полка

Сорокин В. Материалы и элементы электронной техники: В 2 т. / В. Сорокин, Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева. — М.: ИЦ «Академия», 2006. — 2384 с.

В учебнике рассмотрены физические процессы и явления, протекающие в проводниках, полупроводниках и диэлектриках. Выявлены основные закономерности изменения свойств в зависимости от состава веществ и внешних возмущающих факторов. Значительное внимание уделено новым материалам электроники: высокотемпературным сверхпроводникам, полупроводниковым твердым растворам и сверхрешеткам на их основе, фуллеренам и углеродным нанотрубкам, аморфным полупроводниковым материалам и металлическим сплавам.

Для студентов вузов. Рекомендовано УМО.

ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОММУТАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PRI

Рассмотрено подключение автоматических телефонных станций при помощи стыка 30B+D. Приводятся расчеты величины производительности и времени ожидания информационных кадров и построены графические зависимости времени ожидания и задержки от загрузки канала с учетом длины информационного сообщения.

Постановка задачи

В настоящее время большинство цифровых телефонных станций сети связи железнодорожного транспорта связано между собой по цифровым соединительным линиям первичного доступа 30B+D. Данный доступ получил широкое распространение во многом за счет удобства применяемой в этом интерфейсе сигнализации DSS-1. Первичный доступ (PRI) — это доступ на первичной скорости 2 Мбит/с, который предоставляет 30 каналов B со скоростью 64 кбит/с каждый и канал D со скоростью 64 кбит/с [1].

По каналу D передаются кадры уровня 2 сигнализации DSS-1, которые бывают трех видов: информационный (I-кадр), управляющий (S-кадр) и ненумерованный (U-кадр) (формат кадров приведен на рис. 1).

Как видно по рис. 1, информационный кадр обязательно должен содержать информационное поле, длина которого составляет не менее двух байт (в них указываются тип информационного элемента и его длина) [2]. Получаем, что длина информационного кадра составляет не менее 10 байт или 80 бит.

Отличительной особенностью PRI-интерфейса является то, что интерфейс считается всегда активным, и когда по сигнальному каналу не ведется передача кадров уровня 2, по нему непрерывно должны

передаваться флаги, имеющие длину один байт или восемь бит [1].

Предположим, что кадры уровня 2 образуют пуссоновский входящий поток с интенсивностью λ_1 кадров в единицу времени (учитываем только время ожидания, пренебрегая временем обработки), флаги образуют поток с интенсивностью λ_2 . Пусть средняя длина кадра сигнализации DSS-1 равна $T_{\text{инф}}$ единиц времени, а длина флага — $T_{\text{упр}}$, тогда производительность канала, относящаяся к информационным сообщениям, описывается соотношением:

$$P_1 = \lambda_1 \times T_{\text{инф}}, \quad (1)$$

а загрузка канала, относящаяся к флагам, описывается соотношением:

$$P_2 = \lambda_2 \times T_{\text{упр}}. \quad (2)$$

Таким образом, очевидно, что для определения времени ожидания информационных кадров необходимо воспользоваться анализом однолинейной системы обслуживания с относительными приоритетами и двумя классами клиентов [3].

Рассчитаем длительность передачи флага. Так как он содержит 8 бит, то при скорости передачи 64 кбит/с получаем время передачи $T_{\text{упр}} = 0,125$ мс. Аналогично рассчитываем время передачи для I-кадра, только необходимо учесть, что информационные кадры име-

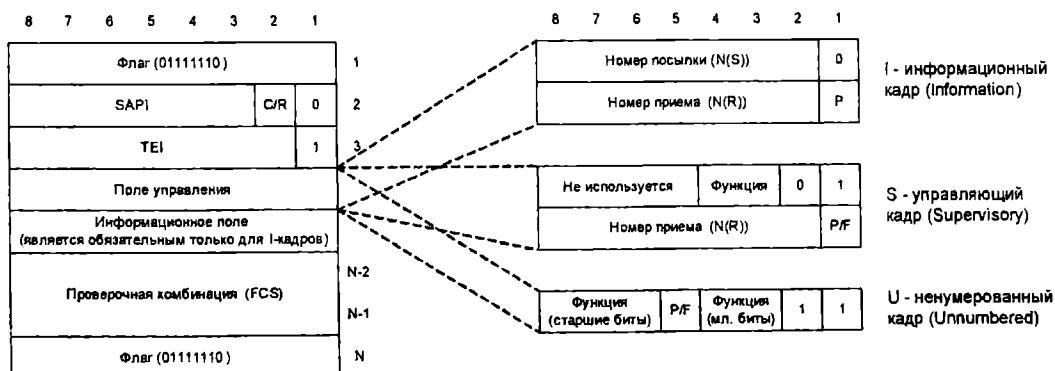


Рис. 1. Формат кадра сигнализации DSS-1

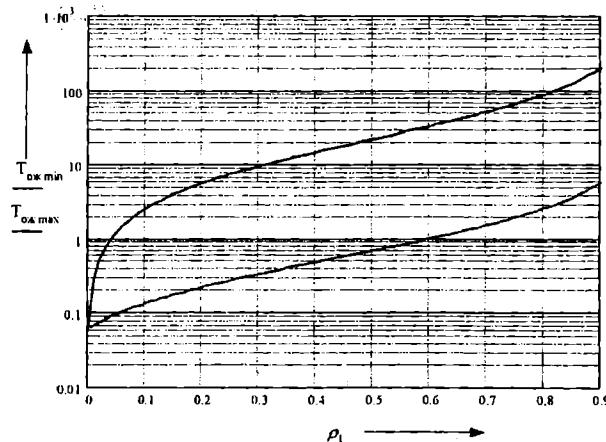


Рис. 2. График зависимости времени ожидания от загрузки канала и длины информационного сообщения

ют различную длину. Для примера выберем сообщение SETUP, минимальная длина которого составляет 80 бит ($T_{инф min} = 1$ мс), а максимальная (при условии передачи по D-каналу данных пользователя) – 352 байта или 2816 бит ($T_{инф max} = 44$ мс).

Для дальнейшего анализа рассмотрим частный случай, при котором все информационные кадры имеют постоянную длину $T_{инф}$ (на примере сообщения SETUP), что соответствует модели M/D/1 [3].

Сигнальное сообщение, поступающее во время передачи флага, ожидает завершения его передачи, после чего немедленно передается. Найдем среднее время ожидания I-кадра:

$$T_{ож} = 0.5 \cdot T_{упр} + 0.5 \cdot \rho_1 \frac{T_{инф}}{(1 - \rho_1)}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что при малой нагрузке в системе (ρ_1 и λ_1 малы) поступающие I-кадры должны ждать окончания передачи S-кадра, время ожидания в среднем равно половине длительности S-кадра. При увеличении нагрузки добавляется и начинает преобладать время ожидания за счет ожидания передачи другими I-кадрами. Зависимости времени ожидания от загрузки канала и длины информационного сообщения приведены на рис. 2.

Рассчитаем среднюю задержку в узле (без учета времени обработки), пользуясь равенством (3) и добавляя длину информационного кадра ко времени ожидания [3]:

$$T_{заг} = 0.5 \cdot T_{упр} + \frac{T_{инф}}{(1 - \rho_1)} (1 - 0.5 \rho_1). \quad (4)$$

Определим среднюю длину очереди в коммутационной системе по формуле Литтла [4]:

$$n_{оч} = T_{заг} \cdot \lambda, \quad (5)$$

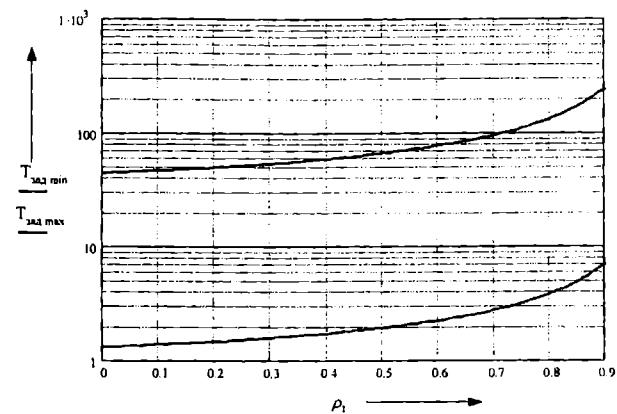


Рис.3. График зависимости времени задержки от загрузки канала и длины информационного сообщения

где $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ (λ_1 и λ_2 определяются из соотношений (1) и (2) соответственно).

Получаем следующее выражение для расчета длины очереди:

$$n_{оч} = T_{заг} \left(\frac{\rho_1}{T_{инф}} - \frac{1 - \rho_1}{T_{упр}} \right). \quad (6)$$

Для средней длины информационного кадра 33 байта получаем длину очереди для $\rho_1 = 0,5$ равную 4,15 кадра, а для $\rho_1 = 0,9 - 7,38$ кадра.

Библиографический список

1. Гольдштейн Б. С. Протоколы сети доступа. Том 2. – М.: Радио и связь, 2001. – 292 с.
2. Лебединский А. К., Павловский А. А., Юркин Ю. В. Системы телефонной коммутации: Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2003. – 496 с.
3. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ: В двух ч. Ч. II: Пер. с англ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. – 272 с.
4. Шелухин О. И., Лукьянцев Н. Ф. Цифровая обработка и передача речи. М.: Радио и связь, 2000. – 456 с.

КОВАЛЕНКО Дмитрий Николаевич, технолог дорожного информационно-вычислительного центра Западно-Сибирской железной дороги.

КОВАЛЕНКО Ольга Николаевна, старший преподаватель кафедры «Системы передачи информации» ОмГУПС.

ФАДЕЕВ Константин Сергеевич, доцент кафедры «Системы передачи информации» ОмГУПС.

Статья поступила в редакцию 08.12.06 г.

© Коваленко Д. Н., Коваленко О. Н., Фадеев К. С.

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО ОСВОЕНИЮ, ВНЕДРЕНИЮ И ОБСЛУЖИВАНИЮ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ СТОРОННИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В статье описывается концепция построения системы, способной автоматизировать деятельность специалистов, предложена обобщенная архитектура гибридных экспертных систем.

Введение

В настоящее время все больше уделяется внимание так называемым экспертным системам (ЭС) – системам, аккумулирующим знания экспертов в конкретных предметных областях. Сложность масштабного внедрения и освоения подобных систем на различных предприятиях связана с выявлением и формализацией знаний. В связи с этим подобные системы в основном применимы в несколько ином качестве – гибридные ЭС [1–4]. Подобные системы могут найти применение практически в любой деятельности человека.

Конкретная деятельность будет считаться инновационной только в случае применения новых технологий и новых знаний, которые, в свою очередь, рождают новые технологии. Получать новые знания возможно, только обладая неким опытом накопления знаний. Это один из принципов, на которых строятся все интеллектуальные системы (ИнС). Одним из направлений развития ИнС являются ЭС и гибридные экспертные системы (ГЭС) в частности.

1. Постановка задачи

Любая компания – представитель (авторизованный центр) по внедрению программных продуктов «не своих» разработчиков – решает следующие основные задачи:

- освоение теории и практики предметной области (сферы деятельности клиентской базы);
- освоение пакетов программных продуктов (ПП), предназначенных для информационной поддержки деятельности предприятий в соответствующей сфере хозяйствования;
- консалтинг и аудит на территории заказчиков – покупателей ПП (консультации по приведению хозяйственной деятельности в соответствие с действующими законодательными нормами);
- внедрение ПП и обучение пользователей;
- доработка ПП по заявкам конечных пользователей;

- обновление (развитие) ПП;
- поддержка собственных и «сторонних» разработок;
- интеграция и взаимодействие с другими информационными системами (ИС);
- системная интеграция: проектирование локальных вычислительных сетей (ЛВС), комплектация серверов и рабочих станций в соответствии с требованиями разработчиков ПП;
- обеспечение безопасности работы распределенных систем, работающих через Internet.

Специалисты в этой сфере обладают широким спектром знаний, по мере работы в подобных организациях накапливают значительный опыт. Эти знания следует как-то сохранять (отторгать и накапливать) для передачи как новым сотрудникам, так и группам специалистов для повышения эффективности их работы. Для этого существуют методы синхронизации и накопления знаний и опыта в неком общем банке знаний. Одним из средств поддержки этой деятельности являются ГЭС.

2. Обобщенная архитектура предлагаемой ГЭС

Схему ГЭС для рассматриваемой предметной области можно представить в следующем виде (рис. 1).

Система должна состоять из подсистем:

- **система восприятия знаний.** Это интерфейс, через который обновляются знания с участием экспертов в данной предметной области;
- **собственно база знаний** с адекватной формой представления знаний;
- **база данных технических решений.** Это самая динамичная структура. В ней отражаются текущие задания (задачи), ход их решения, а также накопленный опыт по вариантам технических решений за определенный период (сценарии и суть решений насущных проблем);
- **система объяснений и логического вывода.** На основе накопленных знаний, полученных от экспертов, и с использованием базы данных технических решений система предлагает возможные реше-

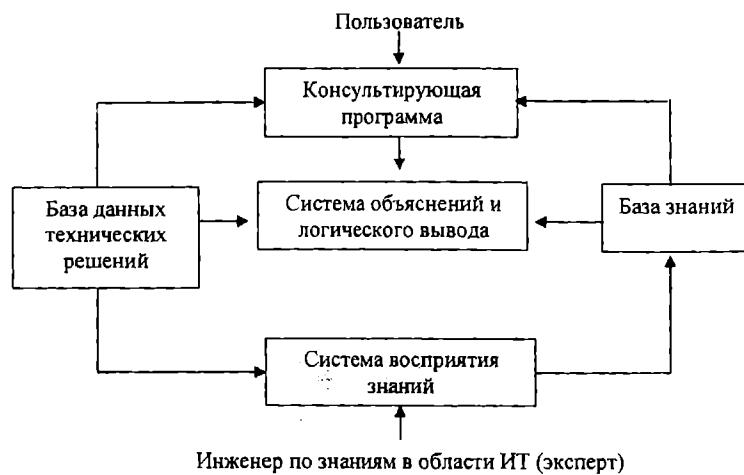


Рис. 1. Структура ГЭС

ния или формирует вопросы для консультирующей системы (см. ниже);

— **консультирующая система**. Эта система предназначена для работы с пользователями: предоставление консультаций и извлечение знаний, а также информирование о возможных аналогах задач, находящихся в стадии решения.

В качестве пользователя ГЭС может выступать как ИТ-специалист, так и рядовой пользователь Internet, желающий получить какую-либо консультацию и не получивший возможности дозвониться на «горячую линию» консультаций или предпочитающий иные способы получения консультаций. В качестве прототипа предлагаемой ГЭС взята система MICYN — экспертная система диагностики и лечения заболевания крови. Работа над программой началась в 1972 году в Станфордском университете и велась специалистами в области искусственного интеллекта в тесном сотрудничестве с медиками. Наиболее полное описание этой системы представлено в работе Шортлиффа (*Shortliffe, 1976*).

Любую информационную систему можно рассматривать как живой организм, где текущая проблема с ее эксплуатацией выявляется по совокупности внешних признаков (симптомов неблагополучия). В этом контексте целесообразно говорить о своеобразной «индивидуальной карточке» сопровождаемой системы — истории болезни. Можно детализировать процесс до каждой рабочей станции в каждой конкретной организации. Все карточки помещаются в базу технических решений. Такая детализация предпочтительнее, так как на одной рабочей станции могут функционировать различные ПП от разных производителей, при этом они могут использовать одни и те же системные библиотеки.

Учитывая вышеизложенное, проведение обновлений или изменений в реестре ОС может повлиять на корректность работы других программных продуктов, так как специалисты фирмы, обслуживающей «свое» ПО, могут провести изменения в системе или вернуть прежние настройки. В результате проблема, появившаяся на конкретном рабочем месте, может повториться, и пользователь будет вынужден вновь обращаться за помощью к специалистам сопровождения. Подобного рода задачи могут быть решены автоматически: ЭС, имея историю эксплуатации ПП, должна предложить другой путь решения или конкретно указать, каким образом подобная задача уже решалась на данном рабочем месте.

Можно предположить, что решение одной проблемы в «организме» породит другие неполадки. Такие ситуации ЭС тоже может предупреждать. С увеличением числа проблем задач и их решений формируется база знаний ЭС путем формализации работы специалистов инженерами по знаниям или, и это предпочтительнее, средствами автоформализации знаний. Использование такой ЭС позволит повысить эффективность работы целой совокупности ПП.

Заключение

В настоящем сообщении анонсирована концепция системы мониторинга и поддержки деятельности по освоению, внедрению и обслуживанию программных продуктов сторонних производителей. При этом в качестве базы такой системы предложено использовать гибридную экспертную систему. Авторы отдают себе отчет в том, что проблема накопления адекватных знаний является непростой и до конца не решенной в организационно-правовом отношении. Здесь предлагается двигаться в направлении создания средств автоформализации модели деятельности специалиста.

Библиографический список

- Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. — <http://www.insycom.ru/html/Articles/his.htm>.
- Гаврилов А.В. Гибридная экспертная система для профориентации. — <http://ermak.cs.nstu.ru/~avg/Articles/Sbor97.htm>.
- Сапотницкий А.Я., Шаля С.М. Диагностика и ремонт паровых турбин. — <http://proxy.math.rsu.ru/cgi-bin/library/library.ru?code=000000000000M31&udk=Зенетг&bbk=Зенетг&card&>

ШАПЦЕВ Валерий Алексеевич, доктор технических наук, профессор, академик Международной академии информатизации, член-корреспондент Академии технологических наук РФ, директор НИИ интеллектуальных информационных систем ТюмГУ.

ЛУТОВ Павел Александрович, аспирант кафедры «Техническая кибернетика» ТюмГУ, ведущий инженер-программист направления «Парус» группы компаний «Тюменское бюро информационных технологий».

Статья поступила в редакцию 30.11.06 г.
© Шапцев В. А., Лутов П. А.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004:338.363 (338.24)

С. И. СОЛОМОНОВА

Омский государственный университет
им. Ф. М. Достоевского

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ

На основании проведенных исследований выявлены контуры управления различных информационных продуктов с целью совмещения их в единую информационную систему для эффективного управления реструктуризацией и производственными процессами на машиностроительных предприятиях.

Машиностроение является ведущей базовой отраслью экономики России и ее главным системообразующим элементом, определяющим состояние производственного потенциала и обороноспособности государства, устойчивое функционирование всех отраслей промышленности и наполнение потребительского рынка.

Переход к рыночной экономике наиболее тяжело и болезненно сказался на машиностроительном комплексе, что было обусловлено отсутствием системного подхода к реформированию отрасли на макроуровне.

Для России как одной из наиболее ресурсоемких стран мира проблема разработки и внедрения передовых технологий имеет первостепенное значение.

В настоящее время машиностроительные предприятия большое внимание уделяют внедрению в производство значительных технологических, технических и конструкторских изменений, а следовательно, реструктуризации производственных процессов. Однако анализ развития машиностроительного производства показал, что допущены значительные диспропорции в совершенствовании различных технологических процессов производства изделий, что является серьезным тормозом на пути осуществления комплексной механизации и автоматизации производственных процессов и повышения качества выпускаемых изделий.

В связи с этим особенно остро стоит вопрос о применении информационных технологий в реструкту-

ризации производственных и управленческих процессов машиностроительных предприятий.

Проблема эффективного применения информационных технологий в машиностроении имеет давнюю историю, началом которой можно считать книгу «Планирование дискретного производства в условиях АСУ» под общей редакцией академика В.М.Глушкова, 1975 года издания. Тем не менее сегодня в машиностроении методическое и прикладное программное обеспечение по оперативному управлению производством востребовано слабо. Перевод существующего процесса оперативного управления производством на новый ИТ фундамент сложен и требует порой инициирующего события (создания нового предприятия или крупной реорганизации, заключения крупного контракта).

Решение задачи повышения эффективности бизнес-процессов предприятия неразрывно связано с обеспечением информационной поддержки процессов. Под бизнес-процессом принято понимать цепь логически связанных повторяющихся действий, которые совместно реализуют некую бизнес-задачу или цель предприятия. При этом максимально эффективной будет система, обеспечивающая непрерывное информационное сопровождение производственного цикла – от разработки нового изделия до выпуска готовой продукции.

Любое предприятие, приступающее к внедрению информационной системы, стремится осуществить этот процесс в минимальные сроки и с высоким качеством, предъявляя в связи с этим повышенные требования к организации процесса внедрения. Современные методы внедрения основаны на так называемом процессном подходе, а само такое внедрение принято называть процессно-ориентированным или просто процессным. Сама возможность его применения предъявляет определенные требования к внедряемой системе. Прежде всего, в такой системе необходимы возможность воспроизводить бизнес-процессы предприятия и наличие инструментов для их совершенствования. Среди прочих требований ключевыми являются наличие единой информационной среды и возможность совместной работы пользователей с одними и теми же информационными объектами.

Современная процессно-ориентированная организация (рис. 1) – это совокупность специализированных функциональных отделов, с одной стороны, и совокупность бизнес-процессов – с другой. В каждом из отделов реализуются отдельные функции бизнес-процессов, а сотрудники таких организаций помимо классического функционального подчинения подчиняются в рамках выполняемых бизнес-процессов соответствующим владельцам этих процессов.

Приходится признать, что на сегодня многие машиностроительные предприятия России являются функционально-ориентированными организациями (рис. 2), структура которых в отличие от процессных организаций имеет вертикальную топологию, построенную в соответствии с выполняемыми функциями, и строгую иерархическую подчиненность сверху вниз.

Недостатки такой организации – отсутствие владельцев процессов, ответственных за конечный результат, наличие непроизвольной разрушительной конкуренции между подразделениями, оторванность сотрудников от конечного результата. Бизнес-процессы таких предприятий существуют в рамках отдельно взятых функциональных подразделений,

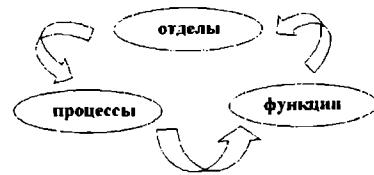


Рис.1. Структура процессно-ориентированной организации

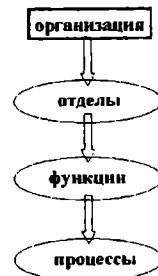


Рис.2. Структура функционально-ориентированной организации

а эффективность функций, выполняемых отдельными структурами, зачастую достигается в ущерб эффективности всего процесса. В такой организации чрезвычайно усложнены взаимодействие и обмен информацией между подразделениями, попытка внедрить на подобных предприятиях информационную систему путем последовательной автоматизации отдельных функций приводит в лучшем случае к невозможности интегрировать внедренную функциональность, а в худшем – к провалу проекта. Затратив значительные средства, предприятие не получает ожидаемой отдачи от инвестиций.

Функциональными или процессными могут быть и подходы к внедрению информационных систем (таблица 1). Если предприятие собирается автоматизировать деятельность отдельных сотрудников или служб предприятия, то налицо функциональный подход. При этом от системы обычно требуется обеспечить пользователям максимум удобства при выполнении соответствующих функций, а вопросы дальнейшего использования возникающей информации отодвигаются на второй план. Гораздо большего эффекта можно добиться, применив процессный подход и осуществив процессное внедрение. Выбранные бизнес-процессы подвергаются анализу и затем проектируются с точки зрения реализации в информационной системе. На основании спроектированных процессов определяется объем внедряемой функциональности, которая покрывает потребности процессов, и только после этого происходит реализация выбранных процессов в системе. Процессное внедрение обеспечивает результаты принципиально иного уровня, многократно превосходящие все возможные преимущества первого варианта.

Внедрение систем управления производством – жизненно важный этап реализации общей стратегии бизнеса как с организационно-хозяйственной, так и с технической точек зрения. Эти системы способны стать одним из основных элементов повышения конкурентоспособности производственного предприятия и устраниТЬ разрыв между производственными и административными уровнями управления. Внедрение систем управления производством может многократно возместить расходы на их разработку и дать весьма ощутимые результаты с

	Функциональный подход	Процессный подход
Объект автоматизации	Отдельные функции предприятия	Сквозные бизнес-процессы
Подготовка проекта внедрения	Непродолжительное время	Более продолжительное время и более существенные затраты
Результат внедрения	Сокращение времени выполнения и повышение качества отдельных функций	Синергический эффект от автоматизации отдельных функций и повышение эффективности процесса в целом

точки зрения рентабельности и возможностей дальнейшего развития, а также гарантирует более высокую конкурентоспособность и эффективность предприятия, поскольку принимаемые решения в этом случае будут более своевременными и обоснованными.

Система управления производством, или MES (Manufacturing Execution System), связывает воедино все бизнес-процессы предприятия с производственными процессами, оперативно поставляет объективную и подробную информацию руководству. Кроме того, система MES проводит анализ и определяет наиболее эффективное решение любой проблемы.

По определению APICS (American Production and Inventory Control Society) MES – это информационная и коммуникационная система производственной среды предприятия. Более развернутым является определение, принятое в некоммерческой ассоциации MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association), объединяющей производителей и консультантов-внедренцев MES-систем: MES – это автоматизированная система управления производственной деятельностью предприятия, которая в режиме реального времени планирует, оптимизирует, контролирует, документирует производственные процессы от начала формирования заказа до выпуска готовой продукции.

Системы оперативного управления производством (MES) определяются как совокупность программных функций, отличающихся от функций систем планирования ресурсов предприятия (ERP), автоматизированного проектирования и программирования (CAD/CAM) и автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП).

Система управления производством – это связующее звено между ориентированными на хозяйственные операции ERP-системами, системами планирования цепочки поставок и деятельностью в реальном масштабе времени на уровне производства.

Некоторые функции MES в определенной степени перекрываются с другими системами (управления производством, управления сбытом и обслуживанием, управления цепочкой поставок, планирования ресурсов производства, проектирования производственных процессов и продукции и т.д.), которые, в свою очередь, перекрываются между собой. Степень их перекрытия зависит от конкретной задачи, вида отрасли и способа реализации системы.

Интегрированную автоматизированную систему управления промышленным предприятием можно представить в виде трех взаимосвязанных уровней управления. При этом каждый уровень выполняет свою основную управленческую функцию:

1. Верхний уровень управления предприятием (административно-хозяйственный) решает страте-

гические задачи, а соответствующая ERP-система обеспечивает управление ресурсами в масштабе предприятия в целом, включая часть функций поддержки производства (долгосрочное планирование и стратегическое управление в масштабе: годовое, квартальное, месячное).

2. Средний уровень управления (производственный) решает задачи оперативного управления процессом производства, а соответствующая автоматизированная система обеспечивает эффективное использование ресурсов (сырья, энергоносителей, производственных средств, персонала), а также оптимальное выполнение плановых заданий (сменное, суточное, декадное, месячное) на уровне участка, цеха, предприятия.

3. Низшие уровни технологического управления решают классические задачи управления технологическими процессами.

Выбор ERP-решения – крайне сложная и комплексная задача, требующая серьезного обследования организации и четкой формулировки требований к корпоративной информационной системе. ERP-системы классифицируют по многим признакам. Это и функциональные возможности, и стоимость проекта внедрения (существенное значение имеет отношение стоимости лицензии к стоимости услуги по внедрению). Различают программно-аппаратные платформы, на которых реализована ERP. Некоторые эксперты делают попытку классификации систем управления ресурсами предприятия по наличию или отсутствию у продукта отраслевого решения.

На сегодняшний день на российском рынке представлены все значимые в мире разработчики ERP (таблица 2).

К настоящему моменту доминирующее количество ERP-систем имеет в своем портфеле определенное количество отраслевых решений. В первую очередь это касается хорошо распространенных на российском рынке решений Microsoft Business Solution – Axapta и Navision. В отличие от большинства других поставщиков ERP-систем (например, SAP, который предпочитает самостоятельно дорабатывать свои решения) MBS отдает продукты на откуп партнерам, чем и обусловлено наличие у Axapta и Navision большого количества отраслевых решений.

В России внедрение ERP-системы на предприятии нередко занимает несколько лет. По оценкам экспертов, не более 20% всех проектов по внедрению ERP-решений заканчивается в оговоренное контрактом время и с сохранением бюджетов. Часто дополнительные факторы (например, незапланированные финансовые издержки) приводят к тому, что ограничивается функциональность решения либо проект завершается досрочно, когда внедрена только часть модулей.

Таблица 2

Поставщики ИС в России

ИСУП	Класс	Поставщик в России
R/3	ERP	SAP СНГ
Baan	ERP	Альфа-Интегратор Baan Евразия
Oracle Applications	ERP	Oracle CIS
OneWorld J.D.Edwards	ERP	Robertson & Blums
SyteLine (Symix)	CSRP	Socap
Irenaissance (Ross Systems)	ERP	Socap
Mfg/Pro (OAD)	ERP	BMS
MAX	ERP	ICL-КПО ВС

Таблица 3

Контуры управления (КУ)

	КУ ERP	КУ MES	КУ АСУТП
Характеристика	стратегический	оперативно-производственный	технологический
Интенсивность потока информации	минимальная	средняя	максимальная
Времена цикла	декада, месяц, квартал	минуты, часы, смена, сутки	секунды и доли секунды

На любом предприятии перед внедрением ERP-системы проводится обязательная фаза, называемая реинжинирингом бизнес-процессов. Эта стадия крайне важна, но в России ей зачастую не уделяется должного внимания, вследствие чего множество проектов оказывается провальным.

По оценкам экспертов, наибольшую долю российского рынка занимает немецкий SAP AG, за ним идут продукты Microsoft Business Solution и компания Oracle (диаграмма 1). Столь значительный отрыв SAP можно объяснить отчасти тем, что немецкий концерн первым вышел на российский рынок, открыв свое представительство еще в 1992 году. На мировом рынке ситуация несколько иная — борьба за лидерство разворачивается между SAP и Oracle.

Решения немецкого концерна широко применяются в различных областях промышленности России. Одним из наиболее масштабных проектов стало внедрение SAP R/3 на Омском нефтеперерабатывающем заводе.

SAP R/3 — крупная интегрированная система, обладающая очень широкой функциональностью. К ее плюсам можно отнести модульность систем, большую функциональную гибкость, наличие интегрированных систем производства и системы проектов. Большое преимущество данному решению дает наличие модулей инвестиционного и финансового менеджмента. К минусам отнесем сложную документацию, высокие требования к аппаратной части, значительную стоимость техподдержки.

В настоящее время SAP предлагает свое новое решение — интеграционную платформу NetWeaver, которая позиционируется концерном как платформа управления бизнесом. SAP NetWeaver уже внедрена на российском концерне «Силовые машины». В основе идеологии новой платформы лежит процессно-ориентированный подход, что значительно упрощает внедрение и уменьшает стоимость проекта.

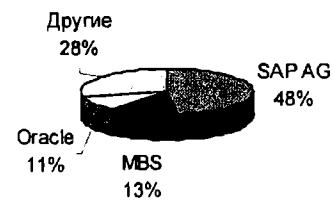


Диаграмма 1

Главный конкурент SAP — компания Oracle — также имеет значительный список проектов, реализованных на российском рынке. Большое количество продуктов Oracle внедрено на отечественных металлургических предприятиях.

Решения Oracle и SAP — мировые лидеры в сегменте систем управления предприятием. Продукты обоих поставщиков относятся к классу крупных интегрированных систем и обладают широкой функциональностью, позволяющей удовлетворить потребности бизнеса практически в любой отрасли. Тем не менее высокая стоимость лицензий, консалтинговых услуг и поддержки решений Oracle и SAP нередко является ключевой проблемой при выборе ERP-системы. По этой причине предпочтение часто отдается другим поставщикам. Весьма сильны позиции шведской компании IFS, которая входит в пятерку мировых лидеров. IFS успешно конкурирует с SAP в автоматизации фондоемких отраслей, особенно там, где востребованы техобслуживание и ремонт. По данным ARC Advisory Group, IFS является мировым лидером по объему продаж «ремонтных» (EAM) систем.

При передаче части функций управления от систем ERP в MES-системы на производственный уровень (руководству производства, цеха, производственного участка, технологу, начальнику службы эксплуатации и т.д.) происходит рациональная сегмен-

Таблица 4

Автоматизация предприятий			
	Отсутствие автоматизации	Локальная автоматизация	Автоматизированная система управления
Носители информации	Бумажные документы	Бумажные документы и электронные файлы	Централизованное хранилище (база данных); сводные документы (бумажные)
Обработка информации	Последовательная, длительная	Последовательная, быстрая; дублирование информации и функций	Последовательная; база данных отделена от источника и потребителя информации

тация контуров управления предприятием в целом (таблица 3). При этом каждый контур управления характеризуется своим уровнем интенсивности циркулирующей в нем информации, своим масштабом времени и своим набором функций:

1. Контур управления уровня ERP освобождается в этом случае от решения оперативных задач производства и обеспечивает поддержку бизнес-процессов предприятия в целом. Поток информации от производственного блока включает в себя агрегированную управляющую и отчетную информацию по стандартам ERP, а также «алармовые» сигналы, требующие немедленного вмешательства высшего менеджмента предприятия.

2. Контур управления уровня MES опирается на отфильтрованную и обработанную информацию, поступающую как от АСУТП, так и от других служб производства. Оперативное управление производством в этом контуре управления осуществляется специалистами, которые более детально, чем высший менеджмент, владеют производственной ситуацией (руководители производственных цехов, участков, главные технологии, энергетики, механики и др.). В связи с этим должны повышаться качество и эффективность принимаемых решений в пределах делегированных сверху полномочий.

3. В контуре управления уровня АСУТП происходят накопление и обработка большого числа технологических параметров и создается информационная база исходных данных для MES-уровня.

Очевидно, что при комплексной автоматизации практически любого предприятия есть потребности в покрытии того или иного набора MES-функций средствами автоматизации.

Рассмотрим несколько типичных случаев автоматизации на производственном предприятии (таблица 4).

На многих машиностроительных предприятиях на производственном уровне в настоящее время доминирует локальная автоматизация. Здесь отсутствует единая информационная среда, которая смогла бы стать основой системы оперативного учета и управления ресурсами производства на уровне участка, цеха да и предприятия в целом.

Принципиально иной способ работы с конструкторской и технологической информацией заложен в системе TechnologiCS (а в дальнейшем речь пойдет именно о ней) и представляет собой прежде всего централизованное хранилище информации об изделиях (базу данных). TechnologiCS предоставляет владельцам информации – конструкторам и технологам – возможность непосредственной работы с базой данных. При этом доступ к базе осуществляется через удобный интерфейс, в каждом конкретном случае ориентированный на выполнение определенной функции (аналогично APM); предусмотр-

ены и все необходимые средства автоматизации для решения инженерных задач.

Система Alfa московской компании «Информконтакт», представляющая собой комплекс бизнес-приложений для управления машиностроительным предприятием, – это набор полностью интегрированных программных модулей, каждый из которых в отдельности представляет полнофункциональное решение в своей предметной области. Снабжение, сбыт, управление запасами, транспортная логистика, планирование производства, управление проектами, взаимодействие с клиентами и т.д. – все эти составляющие находят свое решение среди компонентов системы. Таким образом, использование модулей системы Alfa позволяет строить на предприятии единую взаимосвязанную систему управления. Все приложения системы Alfa построены на единой технологической платформе Alfa-Enterprise Service Platform (Alfa-ESP). Заложенные в ней сервисы позволяют создавать и быстро адаптировать под меняющиеся запросы бизнеса единую среду обработки данных, интегрирующую стандартные компоненты системы Alfa и уже существующие или разрабатываемые на предприятии информационные системы.

В то время как на административно-хозяйственном уровне в рамках ERP-системы осуществляется учет каждой финансовой операции и каждого документа, на уровне производства подобного детального контроля не обеспечивается. Но именно на этом уровне рождается прибавочная стоимость, осуществляются основные затраты и скрыты главные источники экономии, обеспечиваются производственный план и требуемое качество продукции, а также работают многие другие факторы, определяющие эффективность и рентабельность предприятия в целом. Таким образом, из контура автоматизированного контроля и управления предприятием выпадает основное звено – производственный блок. Производство в этом случае представляет собой непрозрачный (с точки зрения контроля и мониторинга, а значит, и управления) «черный ящик». Его внутренние процессы информационно и логически не взаимосвязаны и не синхронизированы по времени с процессами административно-хозяйственной и финансовой деятельности предприятия в целом.

Для решения таких проблем необходима система оперативного управления производственными процессами с учетом фактической ситуации, которая в настоящих условиях подвержена значительным и быстрым изменениям. Без такой системы управлять производством приходится интуитивно и с помощью голоса на фоне большого числа текущих проблем.

Чтобы процесс производства стал контролируемым и управляемым, нужно, по крайней мере, решить две задачи. Во-первых, необходимо создать систему «измерения», обеспечивающую объективный

и оперативный контроль текущего состояния технологических и производственных процессов и имеющихся в распоряжении производственных ресурсов. Во-вторых, нужен адекватный инструмент управления производственными процессами и ресурсами.

Для высокой эффективности управления производством необходимо обеспечить соответствующее качество выбранных средств измерения и управления, качество производственной информации, адекватность системы управления целевой функции управления и, конечно, качество управленческих решений. Игнорирование любого из этих факторов неизбежно приведет к потере эффективности управления. Естественно, все это справедливо и для других элементов АСУП, однако для производственного уровня такой подход особенно актуален. Именно здесь можно получить действительно качественную информацию, необходимую и достаточную для принятия управленческих решений. Показателями качества этой информации являются ее оперативность и объективность.

При серьезном («целевом») подходе к созданию действительно интегрированной АСУП промышленного предприятия без решения проблем производства уже не обойтись. Производственные исполнительные системы (MES) – необходимый элемент эффективного управления предприятием.

Среди множества представленных на рынке инструментальных средств внедрения ИС наиболее эффективным на основании исследований, опубликованных Gartner Group в январе 2004 г., признан программный продукт ARIS. ARIS (Architecture of integrated Information Systems – архитектура интегрированных информационных систем) представляет собой методологию и базирующуюся на ней семейство программных продуктов, разработанных компанией IDS Scheer. Основные преимущества ARIS:

- представление бизнес-процессов в виде графических моделей;
- наличие единого стандарта моделирования;
- ориентация на процессный подход;
- наличие единого репозитория (базы данных), позволяющего использовать в разных диаграммах одни и те же объекты, совмещая различные точки зрения на организацию;
- возможность генерации разнообразных отчетов по разработанной модели, в том числе и отчетов, специально разработанных пользователем;
- возможность организации совместной работы в сетях Internet и Intranet.

Единая информационная среда источников и потребителей информации (например, системы TechnologiCS) прежде всего позволяет кардинально изменить назначение бумажного документа и рассматривать его не как носитель информации, а как отчет, сформированный на основе соответствующего информационного объекта базы данных. Создатели информации (конструкторы, технологии) и ее потребители работают с соответствующим информационным объектом напрямую, имея при этом доступ к электронным документам в рамках прав, предоставленных им системой.

Основные преимущества рассматриваемого способа работы с точки зрения организации процессов на предприятии:

1. Реальная совместная работа с информацией в большинстве случаев позволяет перейти от последовательного способа обработки информации к параллельному.

2. Работа в единой информационной среде делает процесс прозрачным и управляемым. Подобная организация работы позволяет выстроить в рамках процесса цепочки взаимодействия функциональных подразделений и отдельных сотрудников.

3. При проектировании процессов с учетом использования информационной системы, как правило, выявляется ряд документов, полностью или частично дублирующих друг друга, а также документы, которые вообще могут быть выведены из употребления, поскольку содержащаяся в них информация может быть получена гораздо более эффективным способом.

4. Документ, получаемый в виде отчета из базы данных и сохраненный в архиве, становится частью информационной базы предприятия и его интеллектуальной собственностью.

Принципы, на которых базируются современные информационные системы, предполагают организацию совместной деятельности сотрудников предприятия и являются выражением процессного подхода.

При внедрении системы TechnologiCS накладывает некоторые ограничения на способы реализации процессов, поэтому проектирование процессов «как должно быть» оказывается неизбежным компромиссом между требованиями процесса и возможностями системы. Тем не менее TechnologiCS способен обеспечить сквозную, несегментированную реализацию процессов конструкторской и технологической подготовки производства, а также эффективное использование данных для решения задач производственного планирования и учета, таким образом обеспечивая автоматизацию процесса в целом.

В общем случае проект процессного внедрения информационной системы включает следующие этапы: подготовка проекта; концептуальное проектирование; реализация; заключительная подготовка; ввод в эксплуатацию и поддержка.

На этапе подготовки определяются стандарты проекта (в том числе стандарты моделирования бизнес-процессов), выполняется моделирование бизнес-процессов «как есть». Детальность проработки модели и необходимые для этого ресурсы в значительной мере определяются состоянием предприятия.

Следующий этап предполагает проектирование бизнес-процессов «как должно быть» с точки зрения реализации процессов в информационной системе. Получить оптимальный результат при минимальных трудозатратах позволяет применение референтных моделей, также называемых ссылочными моделями или моделями-прототипами. Они представляют собой модели бизнес-процессов, разработанные на основе наиболее успешного опыта внедрения проектов на предприятиях данной отрасли. На этом же этапе уточняется детальный объем проекта, определяются роли конечных пользователей в привязке к выполняемым функциям бизнес-процесса.

Этап реализации включает выполнение соответствующей настройки системы на основе модели бизнес-процессов «как должно быть», а также создание процессно-ориентированных учебных курсов и пользовательской документации.

В ходе заключительной подготовки производятся процессно-ориентированное обучение пользователей и тестирование бизнес-процессов, реализованных в системе.

Ввод в эксплуатацию и последующая поддержка сопровождаются постоянным мониторингом внедренных бизнес-процессов. Анализируются «узкие»

места, осуществляются поддержка пользователей и непрерывное совершенствование процессов.

Библиографический список

1. Анишина М. Предприятие как единый объект автоматизации. Размышления на тему / Сектор разработок и системной поддержки отдела корпоративных информационных систем (<http://www.asutp.ru>).
2. Внедрение информационной системы как способ совершенствования бизнес-процессов предприятия // Дмитрий Докучаев, Мария Каменнова, Олег Новожилов // CADmaster, опубликовано 21 апреля 2005.
3. Гайфуллин Б.И., Обухов. Современные системы управления предприятием // КомпьютерПресс. – 2001. № 9.
4. Гориев В.Ф., Емельянов В.В., Овсянников М.В. Оперативное управление в ГПС. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
5. Леньшин В.Н., Куминов В.В. Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию // ЗАО «РТСофт» (<http://www.asutp.ru>).
6. Марка Д., Мак-Гоэн К. Методология структурного анализа и проектирования. – М.: 1996. – 224 с.
7. Нестерова А. MES-системы управления производством. Воспользуйтесь явными преимуществами // ЗАО «РТСофт» (<http://www.asutp.ru>)
8. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Рейнжиниринг бизнеса: Рейнжиниринг организаций и информационные технологии. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 336 с.
9. ОАО «ВНИПИгаздобыча»: на пути создания комплексной информационной системы // Елена Горбачева, Дмитрий Кудасов // CADmaster, опубликовано 7 июня 2006.
10. Омский областной статистический ежегодник, 2003-2005 гг.
11. Синенко О., Куцевич Н., Леньшин В. Современные технологии и информационное обеспечение в задачах интеграции промышленных предприятий // ЗАО «РТСофт» (<http://www.asutp.ru>).

СОЛОМОНОВА Светлана Ивановна, аспирант кафедры «Экономика, налоги и налогообложение».

Статья поступила в редакцию 24.11.06 г.

© Соломонова С. И.

УДК 519.68

**С. В. НОПИН
В. Г. ШАХОВ**

Омский государственный
технический университет

Омский государственный
университет путей сообщения

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИПТОГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ОПЕРАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ WINDOWS ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ИР-ТЕЛЕФОНИИ, ЗАЩИЩЕННЫХ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ДОСТУПА

В статье рассматриваются возможности использования криптографических интерфейсов операционной системы (ОС) Windows при разработке систем передачи речи через сеть Internet/Ethernet в сжатом и защищенном от несанкционированного доступа (НСД) виде.

С развитием современных информационных и телекоммуникационных технологий все большее распространение получают компьютерные сети. Увеличение производительности стандартных персональных компьютеров позволяет эффективно обрабатывать потоки аудиоинформации в реальном масштабе времени, а пропускная способность сетей становится достаточной для передачи больших объемов данных с высокой скоростью. Стремительный рост масштабов сетей, как локальных, так и глобальных по пропускной способности и по числу пользователей, приводит к большому росту интереса к подобного рода услугам. По мнению аналитиков западной консалтинговой компании IDC [7], государст-

ва Европы вступают в эру IP-телефонии. Анализ состояния этого сегмента телекоммуникационного рынка свидетельствуют о более чем пятикратном увеличении измеренного в минутах VoIP-трафика в 2005 году по сравнению с предыдущим. Ожидается, что в 2006 году трафик возрастет еще в три раза. Возможность потенциальной экономии делает IP-телефонию более привлекательной как для крупных компаний, так и для частных домохозяйств. По прогнозам исследовательской фирмы Forrester Research [6], полный переход отрасли связи европейских стран на технологию IP займет 14–15 лет и завершится примерно в 2020 г. Использование открытых IP-сетей для передачи конфиденциальных данных предъ-

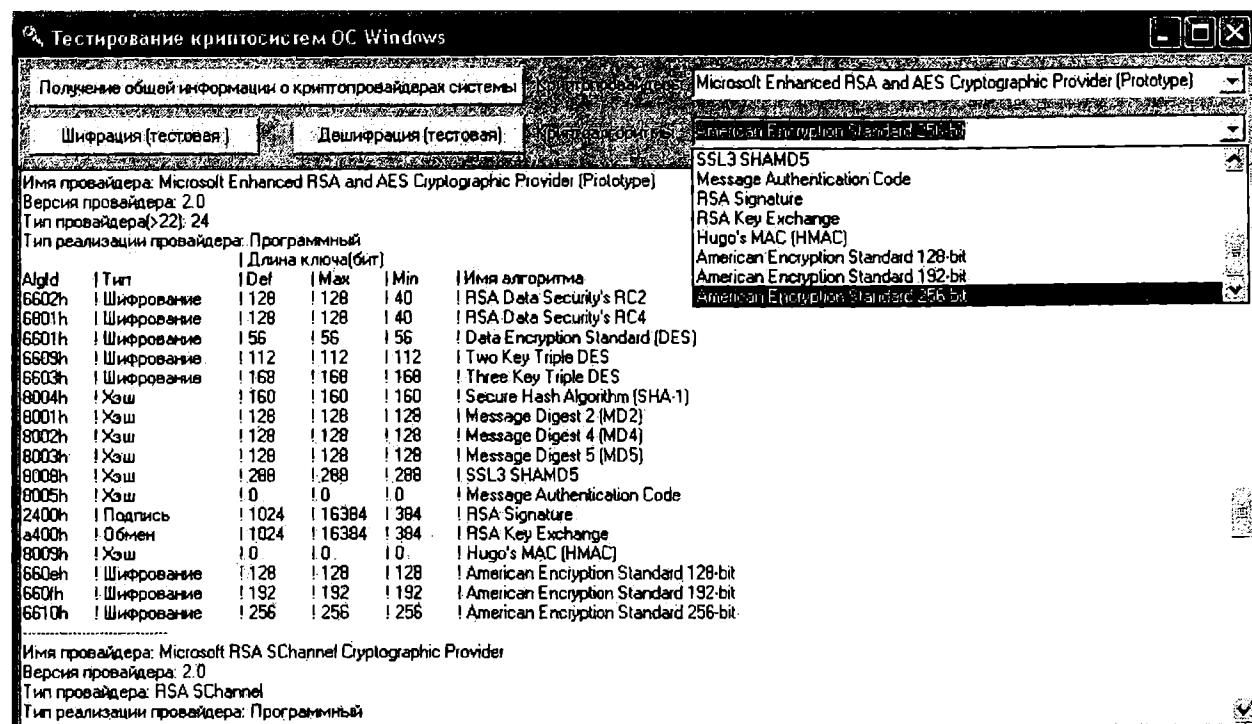


Рис. 1. Главное окно программы CriptoProject

являет особые требования для защиты этой информации.

Современные IBM-совместимые компьютеры, как правило, обладают аппаратной возможностью вводить-выводить звук с помощью стандартной звуковой карты [3]. Во всех версиях ОС Windows (начиная с Windows NT 4.0) присутствует специальный интерфейс, предназначенный для работы со звуком, — DirectSound, который является составной частью пакета DirectX. Интерфейс позволяет воспроизводить, записывать звук, создавать трехмерные эффекты при воспроизведении звуковых данных. Кроме DirectSound во всех версиях ОС Windows (начиная с Windows 95) присутствует специальный интерфейс, предназначенный для преобразования форматов звуковых данных. Он называется (ACM) Audio Compression Manager (диспетчер сжатия звука) [2]. Интерфейс позволяет изменять частоту, разрядность, количество каналов, а также тип сжатия звуковых данных (format tag). ACM включает в себя набор кодеков, выполняющих необходимые преобразования. Кодеки, компрессоры/декомпрессоры представляют собой исполняемые файлы с расширением *.asm. Они находятся в системной папке C:\Windows\SYSTEM. При достаточной мощности процессора преобразование может выполняться в реальном времени и использоваться для построения систем IP-телефонии на основе ОС Windows [4].

Современные операционные системы Microsoft (Windows 2000, Windows 2003, Windows XP, Windows ME) 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) [5]. 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 крипто-

провайдерами. Крипто_PROVIDERS 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) крипто_PROVIDERS система позволяет установить дополнительные крипто_PROVIDERS (разработанные сторонними разработчиками), что придает ей гибкость. В качестве примера можно привести крипто_PROVIDER Signal-COM CSP (сертификат ФСБ России СФ/114-0868 от 23.04.2006 г.) компании «Сигнал-КОМ», который реализует сертифицированные российские криптографические алгоритмы и обеспечивает к ним доступ из пользовательских приложений через стандартный криптографический интерфейс компании Microsoft — CryptoAPI.

Оцифровка звука, компрессия / декомпрессия, базовые криптографические функции, 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 интерфейса API, DirectSound, ACM, CriptoAPI [1, 2, 4, 5] и соответственно могут применяться для создания программ ввода, компрессии/декомпрессии, воспроизведения звука, криптографического преобразования и передачи потока сжатой зашифрованной речи по IP-сети.

Целью исследования явился анализ возможностей применения интерфейсов CriptoAPI ОС Windows для шифрации/десифрации и цифрового подписывания информации при разработке программного обеспечения для передачи речи в защищенном режиме через IP-сети.

Для исследования возможностей интерфейсов CriptoAPI ОС Windows в среде C++ Builder 6.0 [1, 5] разработана программа CriptoProject (рис.1).

Таблица 1

Криптографические средства криптопровайдера Gemplus GemSAFE Card CSP v1.0

Имя провайдера: Gemplus GemSAFE Card CSP v1.0					
Версия провайдера: 2.20					
Тип провайдера: RSA Full (Signature and Key Exchange)					
Идентификатор	Тип криптоалгоритма	Длина ключа (бит)			Имя криптоалгоритма
		текущая	max	min	
6602h	Шифрование	128	128	40	RSA Data Security's RC2
6801h	Шифрование	128	128	40	RSA Data Security's RC4
6601h	Шифрование	56	56	56	Data Encryption Standard (DES)
6609h	Шифрование	112	112	112	Two Key Triple DES
6603h	Шифрование	168	168	168	Three Key Triple DES
8004h	Хэш	160	160	160	Secure Hash Algorithm (SHA-1)
8001h	Хэш	128	128	128	Message Digest 2 (MD2)
8002h	Хэш	128	128	128	Message Digest 4 (MD4)
8003h	Хэш	128	128	128	Message Digest 5 (MD5)
8008h	Хэш	288	288	288	SSL3 SHAMD5
8005h	Хэш	0	0	0	Message Authentication Code
2400h	Подпись	1024	1024	512	RSA Signature
a400h	Обмен	1024	1024	512	RSA Key Exchange
8009h	Хэш	0	0	0	Hugo's MAC (HMAC)

Таблица 2

Криптопровайдеры ОС Windows

Имя провайдера	Тип провайдера	Количество поддерживаемых криптоалгоритмов
Gemplus GemSAFE Card CSP v1.0	RSA Full (Signature and Key Exchange)	14
Infineon SICRYPT Base Smart Card CSP	RSA Full (Signature and Key Exchange)	14
Megasoft Co., Ltd. GOST with Diffie-Hellman Cryptographic Service Provider	PROV_FORTEZZA	3
Microsoft Base Cryptographic Provider v1.0	RSA Full (Signature and Key Exchange)	12
Microsoft Base DSS and Diffie-Hellman Cryptographic Provider	DSS Signature with Diffie-Helman Key Exchange	9
Microsoft Base DSS Cryptographic Provider	DSS Signature	3
Microsoft DH SChannel Cryptographic Provider	Diffie-Hellman SChannel	16
Microsoft Enhanced Cryptographic Provider v1.0	RSA Full (Signature and Key Exchange)	14
Microsoft Enhanced DSS and Diffie-Hellman Cryptographic Provider	DSS Signature with Diffie-Helman Key Exchange	11
Microsoft Enhanced RSA and AES Cryptographic Provider (Prototype)	24	17
Microsoft RSA SChannel Cryptographic Provider	RSA SChannel	19
Microsoft Strong Cryptographic Provider	RSA Full (Signature and Key Exchange)	14
Schlumberger Cryptographic Service Provider	RSA Full (Signature and Key Exchange)	12

Она 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 и могут быть сохранены в файл. Далее может быть выбран интересующий нас криптопровайдер и криптографический алгоритм криптопровайдера. После нажатия клавиши «Шифрация (тестовая)» указанным выше

криптоалгоритмом выбранного криптопровайдера тестовое сообщение «Test» зашифровывается. Результат преобразования выводится на экран. Аналогично возможно обратное преобразование.

Исследование управления криптосистемами ОС Windows для использования при разработке систем IP-телефонии проводилось в следующем порядке: на двух компьютерах с установленными ОС Windows XP и Windows 2003 были запущены и протестированы копии указанных выше программ. Полученные результаты приведены в таблице 1 (для одного криптопровайдера). Общий обобщенный перечень криптопровайдеров и их возможностей приведен в таблице 2.

Анализ полученных данных о криптоалгоритмах, встроенных в криптопровайдеры и установленных в операционных системах Windows XP и Windows 2003, показывает, что возможно их применение для разработки систем, защищенных от несанкционированного доступа (в том числе систем IP-телефонии), с защищкой информации на уровне интерфейсов прикладных программ семиуровневой модели OSI/ISO. Использование стандартных интерфейсов CriptoAPI и сертифицированных криптоалгоритмов и библиотек позволяет уже на уровне начального проектирования упростить общую разработку, тестирование и отладку криптосистем. На уровне эксплуатации упрощается обновление криптосистем и повышается надежность их работы за счет использования модульной структуры криптопровайдеров.

Апробация разработанной программы CriptoProject показала эффективность применения технологии CriptoAPI в управлении криптопровайдерами при крипто преобразованиях пакетов информации. Результаты экспериментов показывают, что криптографические интерфейсы Microsoft и криптомуодули, установленные в ОС Windows, могут успешно применяться на практике как частными, так и корпоративными пользователями локальных сетей и отдельных рабочих станций. Сертифицированные ФСБ РФ криптомуодули могут применяться в силовых ведомствах, в органах власти и управления.

Таким образом, разработанная программа CriptoProject, исходные коды к ней, технологии Microsoft CriptoAPI для крипто преобразований пакетов информации могут быть использованы при компьютерном моделировании защищенной от НСД передаче речевой информации по IP-каналам связи. С помощью программы можно исследовать эффективность реализации различных криптографических алгоритмов в составе различных криптопровайдеров. На практике технология Microsoft CriptoAPI, используемые алгоритмы управления криптопровайдерами могут применяться при разработке программного обеспечения для дуплексной передачи речи по IP-каналам связи в защищенном от НСД режиме.

Библиографический список

1. Архангельский А.Я. С + + Builder 6. Справочное пособие. Книга 1. Язык С + +. — М.: Бином-Пресс, 2002. — 544 с.
2. Гордеев О. Программирование звука в Windows: руководство для профессионалов. — СПб.: ВНВ, 1999. — 364 с.
3. Гук М. Аппаратные средства IBM PC: энциклопедия. — СПб.: Питер, 2000. — 816 с.
4. Нопин С.В. Использование возможностей операционной системы (ОС) Windows при разработке систем IP-телефонии // Микроэлектроника и информатика: Тез. докл. 13-й Всеросс. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов — 2006. - М.: МИЭТ, 2006. — С. 287.
5. Щербаков А.Ю. Прикладная криптография. Использование и синтез криптографических интерфейсов /А.Ю. Щербаков, А.В. Домашев. — М.: Русская редакция, 2003. — 416 с.
6. <http://www.fortester.com>.
7. <http://www.idc.com>.

НОПИН Сергей Викторович, аспирант кафедры средств связи и информационной безопасности.
ШАХОВ Владимир Григорьевич, кандидат технических наук, профессор кафедры автоматики и систем управления.

Статья поступила в редакцию 04.09.06 г.

© Нопин С. В., Шахов В. Г.

Информация

Издательство «Эльзевир» запускает новый проект 2007 года – 4000 электронных книг на платформе ScienceDirect.

Уже сейчас ваша организация может получить тестовый доступ к имеющимся на платформе электронным книгам, оценить качество представленных книг.

Подробности проекта электронных книг издательства «Эльзевир» и о возможности тестового доступа можно найти здесь:

<http://www.elsevier.ru/products/ebooks/>

ИНФОРМАЦИОННАЯ ИЗБЫТОЧНОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОНОВ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КАК ФАКТОР ИХ НАДЕЖНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В работе рассматривается информационная избыточность сообщений, формируемых в структуре искусственных нейронов и нейронных сетей с точки зрения повышения надежности их функционирования. Показано, что для построения отказоустойчивых вычислительных систем необходимо объединение нейронов в сети с использованием информационного резервирования.

Введение

Искусственные нейронные сети (ИНС) по своей организации могут обладать двумя важными качествами: структурной однородностью и, как их биологические прототипы, различными видами избыточности, которые могут быть использованы для повышения надежности их функционирования. Для повышения отказоустойчивости технических систем обычно используются следующие виды избыточности: функциональная, структурная (аппаратурная), временная и информационная. Можно утверждать, что все перечисленные виды избыточности в той или иной мере свойственны нейросетевым вычислительным системам. Более того, все эти виды избыточности взаимосвязаны друг с другом. Так, например, функциональная, временная и информационная избыточности могут являться следствием структурной избыточности. Поскольку в теории надежности избыточность и резервирование на основе избыточности являются основными факторами повышения отказоустойчивости объектов, необходимо комплексное (системное) изучение различных видов избыточности ИНС.

С точки зрения повышения надежности функционирования ИНС и нейрокомпьютерных систем (НКС) на их основе в работах [1, 2] рассматриваются различные аспекты использования логической избыточности, являющейся следствием функциональной избыточности компонентов ИНС – искусственных нейронов (ИН); в работах [3–6] рассматривается применение структурной избыточности (структурного резервирования); в работах [7–9] – рассматривается временное резервирование ИНС и НКС в процессе функционирования. Данная работа является продолжением исследований, проводимых авторами перечисленных работ в области прикладной теории надежности ИНС и НКС, а также основой для разработки подходов к использованию информационного резервирования в отказоустойчивых ИНС и НКС методами теории информации [10, 11].

Основное внимание в данной работе уделено ИН и сетям ИН с пороговой функцией активации, предназначенным для реализации логических функций. Однако полученные выводы при необходимости

могут быть обобщены на ИНС с произвольной функцией активации ИН.

Информационная избыточность в структуре ИН

Рассмотрение ИН начнем с однофункциональных нейронов с пресинаптическим взаимодействием входных волокон [1, 12]. Такой нейрон реализует булеву функцию δ аргументов

$$f(x_1, x_2, \dots, x_\delta) = \varphi(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_k, x_1, x_2, \dots, x_\delta), \quad (1)$$

где $(x_1, x_2, \dots, x_\delta)$ – наборы входных аргументов, $(\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_k)$ – пороговые функции, реализуемые узлами пресинаптического взаимодействия (УПВ), φ – пороговая функция, реализуемая выходным пороговым элементом (ПЭ). Выражение (1) в зависимости от конфигурации входных волокон и УПВ может принимать вид

$$f(x_1, x_2, \dots, x_\delta) = \text{sign} \left\{ \sum_{j=1}^k w_j \left[\text{sign} \left(\sum_{i=1}^n w_{ij} x_i - T_j \right) \right] - T \right\} \quad (2)$$

либо

$$f(x_1, x_2, \dots, x_\delta) = \text{sign} \left\{ \sum_{i=1}^k w_i + \sum_{j=1}^k w_j \left[\text{sign} \left(\sum_{i=1}^k w_{ij} x_i - T_j \right) \right] - T \right\} \quad (3)$$

$$\text{sign } Z = \begin{cases} 1, & \text{если } Z \geq 0, \\ 0, & \text{если } Z < 0. \end{cases}$$

В приведенных выражениях: k – число узлов пресинаптического взаимодействия; w_{ij} – весовые коэффициенты входов ПЭ, выполняющих функции УПВ; T_j – пороги УПВ; w_j – весовые коэффициенты входов выходного ПЭ, связанные с соответствующими выходами УПВ; w_i – весовые коэффициенты входов выходного ПЭ, связанные с соответствующими шинами входных переменных x_i ; T – порог выходного ПЭ.

В рассмотренных моделях (2), (3) некоторые весовые коэффициенты могут принимать значение 0, что

указывает на отсутствие соответствующих волокон в каждой частной реализации ИН. В зависимости от значений параметров (весов входов и порогов), задаваемых при синтезе, из общих выражений (2), (3) можно получить ИН, реализующий любую из 2^d булевых функций δ аргументов.

На рис. 1 изображена обобщенная схема рассматриваемого ИН. Здесь введены следующие обозначения: БВ – блок ветвления, предназначенный для соединения функциональных входов ИН с входами УПВ и при необходимости с входами выходного ПЭ; БПВ – блок пресинаптического взаимодействия, к структуре которого помимо узлов взаимодействия будем также относить и шины передачи информации от функциональных входов ИН непосредственно к выходному ПЭ нейрона; ПЭ – выходной пороговый элемент. Поскольку ИН со смешанными типами пресинаптического взаимодействия с логической точки зрения не имеют преимуществ перед ИН с однотипными УПВ, в дальнейшем будем рассматривать только ИН с пресинаптическим взаимодействием типа «запрет», «разрешение», «объединение» [12].

В качестве примера на рис. 2а и 2б изображены два варианта схем ИН с пресинаптическим взаимодействием типа «запрет», реализующих логическую функцию $f(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2$, являющихся частными случаями схемы, изображенной на рис. 1. Узлы пресинаптического взаимодействия «1» и «2» реализуют конъюнкции $\bar{x}_1 x_2$ и $x_1 \bar{x}_2$ соответственно. Несмотря на структурные различия, выходы обеих схем логически эквивалентны. Нетрудно убедиться, что выходной ПЭ на рис. 2а, имеющий два входа y_1 и y_2 , реализует дизъюнкцию своих входов $y_1 \vee y_2$, что с учетом функций, реализуемых УПВ, дает на выходе $f(x_1, x_2) = \bar{x}_1 x_2 \vee x_1 \bar{x}_2 = x_1 \oplus x_2$. Выходной ПЭ, изображенный на рис. 2б, имеющий три входа y_1, y_2, y_3 (нумерация сверху вниз), реализует дизъюнкцию $y_2 \vee y_1 \bar{y}_3$.

Будем полагать, что функциональные входы x_1 и x_2 рассматриваемых ИН статистически независимы, вероятность появления логической единицы на каждом входе ИН одинакова и равна p , а вероятность появления логического нуля равна $(1-p)$. Тогда энтропия сообщения на входах ИН определяется выражением

$$H(a) = -\log(p^{2p}(1-p)^{2(1-p)}).$$

Нетрудно видеть, что при $p=0.5$ энтропия сообщения на входах ИН принимает максимальное значение $H_{\max}(a)$, которое в двоичных единицах для рассматриваемых примеров схем будет равно 2 битам.

Рассмотрим теперь энтропию сообщения $H(b)$, которое формируется на выходе блока ветвления входных волокон ИН. Очевидно, $H(b) = H(a)$ для обеих рассматриваемых схем. При этом максимальная энтропия $H_{\max}(b)$ сообщения на выходе БВ, определяемая при статистической независимости всех символов и равновероятном появления нулей и единиц, равна $H_{\max}(b) = 2H_{\max}(a) = \log 4$, что в двоичных единицах для рассматриваемых схем равно 4 битам.

Под информационной избыточностью сообщения будем понимать отношение

$$U = \frac{H_{\max} - H}{H_{\max}} = 1 - \frac{H}{H_{\max}}, \quad (4)$$

где H – фактическая энтропия сообщения, H_{\max} – максимально возможная энтропия, которая была бы в том случае, если бы все символы сообщения были статистически независимы и их появление было бы равновероятно.

Подставляя в (4) $H = H(b)$ и $H_{\max} = H_{\max}(b)$, легко видеть, что для рассматриваемых схем информационная избыточность на выходе БВ $U(b) \geq 0.5$, т.е. не менее половины символов сообщений являются избыточными.

Определим среднее количество информации о комбинации входных сигналов $\{x_1, x_2\}$, содержащейся в сообщении, поступающем на входы ПЭ, как

$$I_{c \rightarrow a} = H(a) - H(a|c),$$

где $H(a|c)$ – полная условная энтропия сообщения на входах ИН относительно сообщений на выходе БПВ.

Нетрудно видеть, что для схемы ИН, изображенной на рис. 2а, значение $H(a|c)$ определяется как

$$H^a(a|c) = -\log \left((p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (p(1-p))^{2p(1-p)} \right),$$

а для схемы ИН, изображенной на рис. 2б, как

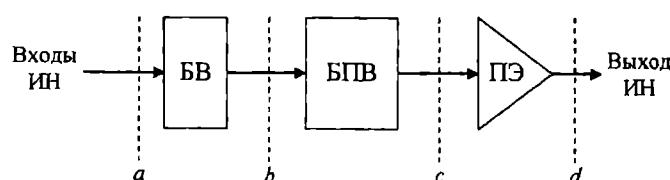


Рис. 1. Структура ИН с пороговой функцией активации

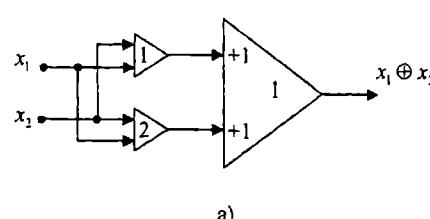
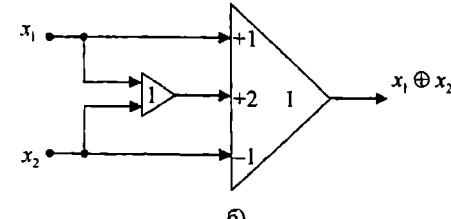


Рис. 2. Логически эквивалентные модели однофункциональных ИН



$$H^a(a|c) = 0.$$

Отсюда следует, что в первом случае среднее количество информации о комбинации входных сигналов, поступающее на входы ПЭ, имеет вид

$$I_{c \rightarrow a}^a =$$

$$= \log \left(\frac{(p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (p(1-p))^{2p(1-p)}}{p^{2p} (1-p)^{2(1-p)}} \right) < H(a)$$

для $0 < p < 1$,

а во втором случае

$$I_{c \rightarrow a}^d = H(a),$$

т.е. в схеме на рис. 2а количество информации о входных сигналах на выходе БПВ уменьшается вследствие производимых вычислений, а в схеме на рис. 2б происходит полная передача информации на входы ПЭ.

Определим теперь для обеих схем энтропию $H(c)$ и информационную избыточность $U(c)$ сообщений на входах ПЭ. Нетрудно убедиться, что в первом случае $H^a(c) = H^a(a|c)$, а во втором случае $H^d(c) = H(d)$. Тогда информационная избыточность сообщений на входах ПЭ рассматриваемых схем может быть рассчитана по формулам:

$$U^a(c) =$$

$$= 1 + \frac{1}{2} \log \left((p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (p(1-p))^{2p(1-p)} \right), \quad (5)$$

$$U^d(c) = 1 + \frac{1}{3} \log \left(p^{2p} (1-p)^{2(1-p)} \right). \quad (6)$$

Используя формулы (5), (6), легко видеть, что для $0 < p < 1$ выполняется неравенство $U^a(c) < U^d(c)$, т.е. избыточность сообщения, формируемого на входах ПЭ нейрона, изображенного на рис. 2б, больше, чем избыточность сообщения, формируемого на входах ПЭ нейрона, изображенного на рис. 2а.

Определяя энтропию $H(c)$ и информационную избыточность $U(c)$ сообщений на входах ПЭ для других возможных схем ИН с УПВ типа «запрет», «разрешение», «объединение», включая схемы с дублированием УПВ и волокон, соединяющих функциональные входы ИН с ПЭ, можно убедиться, что информационная избыточность $U(c)$ возрастает с увеличением числа входов ПЭ.

Рассмотрим теперь энтропию $H(d)$ и избыточность $U(d)$ сообщения на выходе ИН. Вследствие логической эквивалентности энтропия на выходе обеих рассматриваемых схем ИН будет одинакова:

$$H^a(d) = H^d(d) =$$

$$= - \log \left((p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (2p(1-p))^{2p(1-p)} \right).$$

Количество информации о входных сигналах, формируемое на выходах рассматриваемых ИН, определим как

$$I_{d \rightarrow a}^a = I_{d \rightarrow a}^d =$$

$$= \log \left(\frac{(p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (2p(1-p))^{2p(1-p)}}{p^{2p} (1-p)^{2(1-p)}} \right).$$

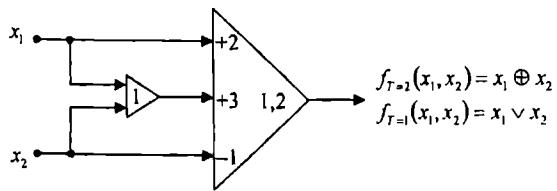


Рис. 3. Модель многофункционального ИН

Очевидно, информационная избыточность выходов обеих схем ИН также будет одинакова и равна

$$U^a(d) = U^d(d) =$$

$$= 1 + \log_2 \left((p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (2p(1-p))^{2p(1-p)} \right).$$

В рассматриваемом примере для логической функции «сумма по модулю два» при равновероятном ($p = 0.5$) появлении нулей и единиц на входах ИН $U(d) = 0$, т.е. сообщение на выходе не обладает избыточностью.

Рассмотрим теперь многофункциональные ИН, отличающиеся от однофункциональных тем, что в процессе функционирования они допускают изменение настроек своих параметров (значений весов входов ПЭ и значения порога), т.е. допускают изменение реализуемой на выходе логической функции [1, 12]. В качестве примера рассмотрим схему ИН с при синаптическим взаимодействием типа «запрет», изображенную на рис. 3, где УПВ формирует конъюнкцию $\bar{x}_1 x_2$. Такой ИН в зависимости от значения порога ($T = 1$ или $T = 2$) реализует на выходе одну из двух заданных логических функций входных аргументов:

$$f_{T=1}(x_1, x_2) = x_1 \vee x_2 \text{ либо } f_{T=2}(x_1, x_2) = x_1 \oplus x_2.$$

Очевидно, что при фиксированном значении порога многофункциональный ИН становится однофункциональным и его информационные характеристики аналогичны рассмотренным выше.

Предположим, что в процессе функционирования рассматриваемого многофункционального ИН возможно возникновение параметрического отказа, выражющегося в произвольных флукутациях значения порога в диапазоне $\{1, 2\}$. Это означает, что значение выходной функции на наборе (x_1, x_2) не может быть точно определено, однако на остальных наборах истинное значение функции сохраняется. В рассматриваемом случае выход нейрона становится информационно избыточным. Действительно, энтропия $H(d)$ сообщения на выходе рассматриваемого ИН при фиксированном значении $T = 1$ равна

$$H_{T=1}(d) = - \log \left((2p - p^2)^{2p-p^2} (1-p)^{2(1-p)} \right),$$

а энтропия $H(d)$ при $T = 2$ равна

$$H_{T=2}(d) =$$

$$= - \log \left((p^2 + (1-p)^2)^{p^2 + (1-p)^2} (2p(1-p))^{2p(1-p)} \right),$$

откуда энтропия сообщения на выходе ИН при флукутациях значения порога определяется как

$$H_{T=1,2}(d) = qH_{T=1}(d) + (1-q)H_{T=2}(d),$$

где q – вероятность установления значения порога $T = 1$; $(1-q)$ – вероятность установления $T = 2$.

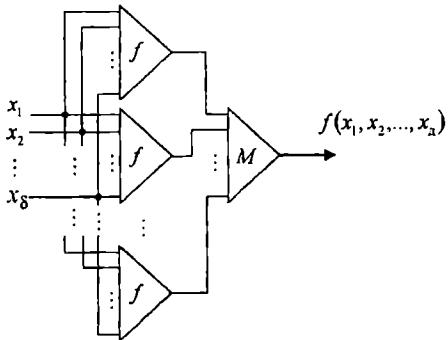


Рис. 4. Модель ИНС с мажоритарной логикой работы

Таким образом, переходя для простоты к двоичным единицам, для $0 < p < 1$, $0 < q < 1$ выполняется неравенство $H_{T=1,2}(d) < 1$, что влечет за собой вследствие зависимости $U_{T=1,2}(d) = 1 - H_{T=1,2}(d)$ выполнение неравенства $U_{T=1,2}(d) > 0$, т.е. выход ИН, реализующего не полностью определенную функцию, является информационно избыточным.

На основании вышеизложенного можно заключить, что основным источником информационной избыточности в структуре ИН является система соединений (волокон) и узлов пресинаптического взаимодействия.

Информационная избыточность и отказоустойчивость ИНС

Выводы о наличии информационной избыточности, полученные в предыдущем разделе для ИН, можно обобщить и на нейронные сети прямого распространения. Действительно, выражения (1) – (3), описывающие функционирование нейрона с пресинаптическим взаимодействием волокон, без изменений могут быть применены для описания двухранговых (состоящих из двух слоев) сетей ПЭ, т.е. ИН с пресинаптическим взаимодействием, по сути, является простейшей мини-сетью ПЭ [1]. Таким образом, информационной избыточностью в сетях ИН будут характеризоваться сообщения на выходах нейронных слоев вследствие статистической зависимости системы выходов ИН и в особенности сообщения на входах нейронных слоев. Анализ различных архитектур ИНС прямого распространения, проведенный методами, использованными выше при исследовании ИН, дает основания полагать, что в общем случае сообщения на входах слоев будут обладать тем большей избыточностью, чем больше ИН будет содержаться в этих слоях и чем более разветвленными будут межслойные соединения. При этом сообщения, поступающие на входы каждого отдельного нейрона в слое, в зависимости от организации межнейронных и межслойных связей могут обладать довольно малой избыточностью.

Несмотря на то что внутренние соединения каждого отдельного ИН, как показано выше, могут характеризоваться информационной избыточностью, в целом отдельно взятый ИН является малонадежным элементом. Так, схема ИН, изображенная на рис. 2б, не чувствительна к некоторым видам сбоев на отдельных наборах входных аргументов. Легко убедиться в том, что, например, при входном наборе x_1, \bar{x}_2 , сбой вида $(0 \rightarrow 1)$ на выходе УПВ не изменяет значение выходного сигнала. Однако дальнейшее увеличение информационной избыточности сообщений на входе ПЭ путем введения дублирующих волокон

и УПВ не приводит к сколько-нибудь существенному увеличению надежности нейрона. Это объясняется тем, что принцип работы выходного ПЭ одинаков для сообщений различной степени избыточности, т.е. схема ИН не предусматривает эффективное, с точки зрения надежности, использование имеющейся информационной избыточности.

В качестве примера использования информационной избыточности при проектировании отказоустойчивых ИНС можно привести так называемые «надежные сети из ненадежных элементов», подробно рассмотренные в [12]. Действительно, как было показано выше, выходы ненадежных ИН, реализующих не полностью определенные логические функции, обладают информационной избыточностью, а сети таких ИН [12] устойчивы к некоторым отказам компонентов (обрывам или замыканиям волокон ИН и флюктуациям порогов). Однако анализируя рассмотренные в [12] примеры, нетрудно убедиться, что такие ИНС не обеспечивают высокий уровень надежности.

Для повышения надежности функционирования необходимо использовать такие схемы, в которых предусматривается информационное резервирование, т.е. целенаправленное использование имеющейся избыточности. Одним из возможных способов информационного резервирования является формирование избыточных сообщений таким образом, чтобы с участием нескольких функциональных элементов, образующих сеть, выполнялась параллельная обработка отдельных частей сообщения с последующим объединением результатов обработки.

В качестве простейшего примера такого способа информационного резервирования можно привести схему ИНС, изображенную на рис. 4. Она состоит из двух слоев: в первом слое содержится нечетное число n нейронов, реализующих одинаковые функции, а во втором (выходном) слое выходы ИН первого слоя подключены к входам мажоритарного элемента (выполненного на базе ПЭ), реализующего на выходе голосование по принципу « $(n+1)/2$ из n », где n – число его входов.

В зависимости от вероятности появления нулей и единиц на входах рассматриваемой ИНС избыточность сообщения на входах и выходах ИН первого слоя $U \geq 1 - 1/n$, что позволяет использовать выходной мажоритарный элемент для компенсации отказов и сбоев любого вида на входах и выходах $m \geq (n-1)/2$ нейронов первого слоя, а также на m функциональных входах выходного ИН. Однако отказ самого мажоритарного элемента в данной схеме приводит к появлению отказа на выходе ИНС, что является недостатком такой схемы и требует дальнейших исследований.

Заключение

Таким образом, из сказанного выше следует, что отдельные ИН, несмотря на наличие информационной избыточности, являются относительно малонадежными элементами, поскольку в моделях ИН отсутствует информационное резервирование. Объединение ИН в сеть, архитектура которой соответствующим образом предусматривает информационное резервирование, позволяет сформировать вычислительную систему более надежную, чем составляющие ее функциональные элементы. В этой связи в целях повышения информационной избыточности ИНС необходимо использовать многофункциональные ИН, допускающие флюктуации параметров

(отказы) при сохранении большей части своих функциональных возможностей, и применять схемные решения, основанные на использовании методов информационного резервирования.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ №МК-7420.2006.8 и Гранта РФФИ №06-07-89013-а.

Библиографический список

1. В.И. Потапов, И.В. Потапов. Математические модели, методы и алгоритмы оптимизации надежности и технической диагностики искусственных нейронных сетей. — Омск: Изд-во ОГУП Омская областная типография, 2004. — 220 с.
2. В.И. Потапов, И.В. Потапов. Отказоустойчивые нейрокомпьютерные системы на базе логически стабильных искусственных нейронных сетей//Омский научный вестник. — 2004. — Вып. 3 (28). — С. 119–123.
3. В.И. Потапов, И.В. Потапов. Теоретические основы диагностики и оптимизации надежности искусственных нейронных сетей. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2004. — 156 с.
4. И.В. Потапов. Вероятность безотказной работы и среднее время «жизни» восстанавливаемой после отказов нейрокомпьютерной системы с мажоритарной логикой//Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2005. — №10—11. — С.100–104.
5. И.В. Потапов. Решение задачи оптимального динамического распределения резерва «стареющей» искусственной нейронной сети в конфликтной ситуации//Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2006. — №3. — С.3–8.
6. И.В. Потапов. Резервирование «стареющей» искусственной нейронной сети в условиях игры с «природой»//Надежность. — 2006. — №4(19). — С.3–10.
7. И.В. Потапов. Две модели нейрокомпьютерных систем с временной избыточностью//Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2006. — №10. — С.16–21.
8. И.В. Потапов. О надежности нейрокомпьютерных систем с временной избыточностью//Информационные технологии и математическое моделирование: (ИТММ – 2005): Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции (Анжеро-Судженск, 18-19 ноября 2005 г.) — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005. — Ч.1. — С.58–60.
9. И.В. Потапов. Отказоустойчивые нейрокомпьютерные системы с временной избыточностью//Нейроинформатика и ее приложения: Материалы XIV Всероссийского семинара (Красноярск, 6-8 октября 2006 г.) — Красноярск: ИВМ СО РАН, 2006. — С. 75-76.
10. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. — М.: Госэнергоиздат, 1962. — 600 с.
11. Бриллюэн Л. Наука и теория информации: Пер. с англ. — М.: Физматгиз, 1960. — 392 с.
12. Мкртчян С.О. Нейроны и нейронные сети. — М.: Энергия, 1971. — 232 с.

ПОТАПОВ Илья Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники.

Статья поступила в редакцию 27.11.06 г.

© Потапов И. В.

УДК 681.51

О. З. ИСЬЯНОВ

Омский государственный
технический университет

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ЗДАНИЕМ

Рассмотрена современная постановка проблемы автоматизации технических систем зданий и построения автоматизированных систем управления для таких зданий. Здания, оснащенные комплексом автоматизированных систем, управляемых от ЭВМ, получили общее название «интеллектуальных зданий», и разработка их концепции в настоящее время является актуальной проблемой.

В настоящее время широкое распространение получают автоматизированные системы непроизводственного назначения. Актуальной системой подобного рода является «интеллектуальное здание» (ИЗ). Интеллектуальное здание можно определить как комплекс автоматизированных инженерных систем здания, аппаратного и программного обеспечения, необходимого и достаточного для эффективного управления системами здания, рационального использования людских и энергетических ресурсов, имеющий конечной целью снижение эксплуатационных расходов при одновременном повышении уровня комфорта и безопасности.

Современное здание имеет комплекс технических систем разного назначения. Эти системы неиз-

бежно в той или иной степени автоматизированы, и уровень их автоматизации постоянно растет. По мере совершенствования такие системы неизбежно начинают взаимодействовать между собой — происходит их интеграция. Интеграция технических систем здания приводит к появлению единой автоматизированной системы управления зданием (АСУЗ).

На рис. 1 показана структура автоматизированной системы управления зданием. Системы жизнеобеспечения здания (электроснабжение, водоснабжение, теплоснабжение, вентиляция) и охранно-пожарная система объединены с помощью структурированной кабельной сети (СКС) и связаны с автоматизированной системой управления зданием. АСУЗ используют корпоративную локально-вычислитель-

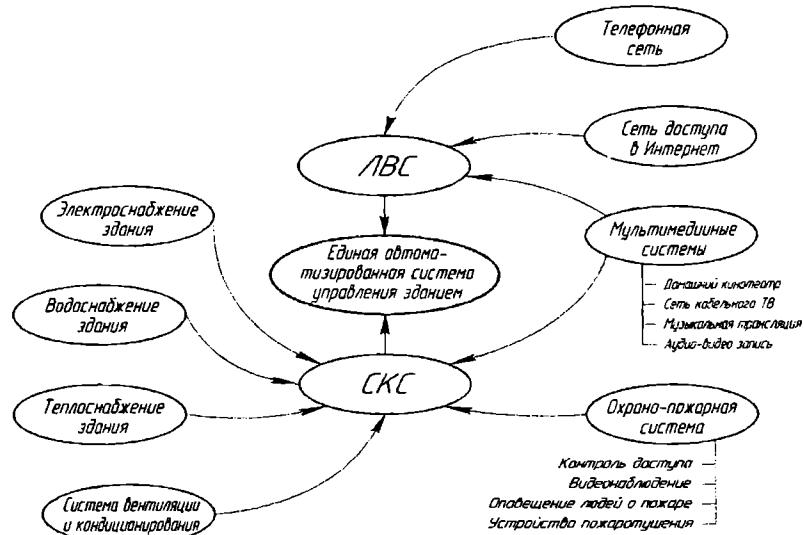


Рис. 1. Структура системы управления зданием

ную сеть (ЛВС) для связи с внешними системами и сетями с мультимедийной системой, Интернет и телефонной сетью.

Функциональность автоматизации здания можно оценить по трем составляющим: безопасность, комфортабельность и экономическая выгода. К системам безопасности можно отнести такие инженерные системы, как охранная сигнализация, противопожарная сигнализация, контроль доступа, видеонаблюдение. К комфортабельности относят: систему вентиляции и кондиционирования, теплоснабжения, электроснабжения, теплоснабжения, локальную вычислительную сеть (ЛВС), мультимедийные системы (домашний кинотеатр, музыкальная трансляция, сеть кабельного телевидения, аудио- и видеозапись, домофония). Из всех этих грамотно спроектированных и интегрированных в единую инфраструктуру систем вытекает третья и самая важная составляющая — экономическая выгода и рентабельность вложений.

Каждый элемент ИЗ должен являться интеллектуальным элементом и иметь способность выбора оптимального решения в эксплуатации с учетом его связей с другими элементами. Следствием этого является возможность создания интеллектуальных элементов ИЗ по разным направлениям, а затем их объединение на основе системного подхода.

Автоматизация здания требует дополнительных капиталовложений и удорожает строительство. По зарубежным данным, стоимость строительства и проектирования здания составляет лишь 11% от всех затрат. Оставшиеся 89% — это расходы по эксплуатации:

- платежи за энергоресурсы — 14%;
- затраты на ремонт и модернизацию оборудования — 25%;
- оплата труда инженеров службы эксплуатации — 50%.

Экономическая эффективность автоматизации обусловливается снижением эксплуатационных расходов за счет следующих факторов:

- энергосберегающих алгоритмов работы оборудования, оптимизации режимов работы по расписанию и других мер — можно на 20–30% снизить платежи за энергоресурсы;
- автоматический контроль состояния оборудования позволяет заранее планировать профилакти-

ческие работы, предупреждая аварийные остановки оборудования и дорогостоящий ремонт. Среднее снижение затрат по этой статье составит 40–60%;

— для управления автоматизированной системой требуется меньшее количество сотрудников службы эксплуатации — сокращение затрат может составить более 60%.

Система автоматизации лишь незначительно увеличивает общую смету на строительство и в большинстве случаев окупается уже через 2–3 года. Применяя комплексную систему автоматизации, можно сократить совокупную стоимость владения зданием практически наполовину.

С точки зрения актуальности задачи автоматизации здания и используемых технологических решений все строительные сооружения можно разделить на три категории:

- 1) гостиничные комплексы и развлекательные центры;
- 2) административно-бытовые корпуса;
- 3) частные помещения, квартиры и коттеджи;
- 4) помещения и сооружения производственного назначения.

Наибольший интерес автоматизация представляет для торгово-развлекательных комплексов и административно-бытовых корпусов. Для таких зданий некоторые инженерные системы являются обязательными, и их применение регламентируются законами РФ: ФЗ от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».

Для зданий частного сектора главным критерием является обеспечение комфортабельности и теплоснабжения. Часто используются двойные системы автономного и центрального теплоснабжения, а также дополнительные системы теплового комфорта (например подогрев полов). Всеми этими системами необходимо управлять.

Для частных владений актуально обеспечение безопасности и, в частности, применение автоматизированной системы охраны и видеонаблюдения. Также перечисленные системы должны использоваться интегрированно (поскольку владелец, он же оператор системы, — один) и иметь общую систему управления, которая требовала бы минимального вмешательства человека.

Система управления интеллектуальным зданием в целом базируется на средствах и технических

решениях, успешно применяемых для автоматизации управления объектами другого назначения, в первую очередь промышленными объектами. Например, фирма Siemens производит средства управления и представляет технические решения автоматизированных систем управления, которые в состоянии решить все задачи, возникающим при управлении интеллектуальным зданием.

Основную проблему при управлении интеллектуальным зданием представляет настройка системы на конкретные задачи управления, то есть задачи разработки алгоритмов управления и соответствующего программного обеспечения для компьютерных средств управления.

При управлении системами здания задачи автоматического регулирования технологических параметров систем и логико-программного управления рабочими циклами оборудования и систем не исчерпывают всего множества решаемых в реальном времени задач управления. При обеспечении комфорта и взаимодействия с человеком возникает необходимость учета его индивидуальных пожеланий и личного опыта.

Алгоритмизация управления в таких условиях только с использованием классических методов теории автоматического управления становится невозможной.

Выходом из положения является использование методов фази-управления и искусственного интел-

лекта. Первые позволяют алгоритмизировать нечеткие представления человека о комфорте и управление системами обеспечения комфорта, а вторые — создать самообучающиеся системы, накапливающие опыт управления и совершенствующие алгоритмы управления в процессе функционирования.

Библиографический список

1. Табунщиков Ю.А., Бородач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. — 194 с.
2. Вроблевский Р.В. Экономическое обоснование автоматизации здания // Автоматизация зданий, №1, 2006г., С. 9.
3. Богуславский Л.Д., Ливчак В.И., Титов В.П. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие. Под ред.: Л. Д. Богуславского, В. И. Ливчака. — М.: Стройиздат, 2003. - 621 с.
4. Ковалев В.З., Татевосян А.С., Татевосян А.А., Интеллектуальные информационные системы. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. — 100 с.

ИСЬЯНОВ Олег Захарович, аспирант кафедры «Автоматизация и робототехника».

Статья поступила в редакцию 01.11.06 г.
© Исьянов О. З.

УДК 681.3.06

А. Н. НОСЫРЕВ

Новоуральский государственный
технологический институт

КОНТРОЛЬ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Предложена общая схема СЗИ, использующая принцип внешнего наблюдения за состоянием ИС на основе интегральной оценки опасности получаемой экспертным анализом поведенческой модели объекта контроля.

В настоящее время происходит переход к системам защиты информации (СЗИ) в информационных системах (ИС) на основе контроля работы программного обеспечения ИС и последующей оценки правильности работы программного обеспечения (ПО) ИС. В рамках данной концепции для достижения поставленной цели защиты СЗИ должна содержать средства контроля за поведением субъектов ИС и средства оценки их деятельности. По результатам деятельности ИС принимаются решения о корректности реализации целей ИС. На нижнем уровне решение задач безопасности ИС будет выполняться с использованием традиционных методов, интегрируемых в ИС, а верхний уровень СЗИ, обеспечивающий наблюдение и контроль должен находиться вне информационной системы.

В процессе функционирования ИС система контроля правильности работы ПО формирует текущие интегральные оценки опасности состояния ИС.

Корректная реализация цели любой ИС состоит в изменении содержащихся в ней информационных объектов (ИО). Любому детерминированному изменению D_{IO} , какого-либо информационного объекта io , системы может быть поставлено в однозначное соответствие подмножество $\{io\}$ других информационных объектов, связанных с этим изменением, процесс P_i , реализующий это изменение и затрачиваемый на это изменение ресурс R_i внешней среды системы.

Под детерминированностью системы понимается детерминированность ее заявляемой цели (целевой функции). Это означает, что цель системы дли-

тельное время остается неизменной и не зависит от состояния внешней среды системы. При этом собственно внешняя среда системы не обязательно должна быть детерминированной. В общем случае необходимым и достаточным условием детерминированности системы является отсутствие в ней механизмов обучения, способных изменить ее цель и, следовательно, поведенческую модель системы.

В сложных ИС приходится говорить только о детерминированности цели отдельных компонент ИС, таких, как отдельно взятый информационный процесс. Поэтому под поведенческой моделью системы далее будем понимать поведенческую модель ее детерминированной компоненты, то есть информационного процесса.

Методы принятия решений для такой модели должны быть построены на анализе истории модификации (преобразований) любого определенного в системе информационного объекта и его взаимосвязи с другими информационными объектами от момента его зарождения до момента уничтожения на предмет обязательного ее соответствия заданным эталонам — шаблонам поведения.

Поведенческая модель формируется экспериментальным способом. Частично она может быть получена путем прямого обобщения знаний эксперта по безопасности, позволяющих вывести необходимые правила. Другим способом является экспериментальный анализ аудита, снятого с заведомо штатно функционирующей системы. В этом случае поведенческой моделью будет фактически результат обучения, предполагающий некоторую последовательность шагов, реализующих принцип дообучения. Принцип дообучения позволяет существенно упростить процесс формирования поведенческой модели, реализуя его в виде последовательных реакций эксперта на выявляемые нештатные ситуации.

Проблема создания адекватной модели ИС усугубляется большой размерностью задачи и фактором недетерминированности ИС в целом.

Адекватность модели связана также с определением некоторого уровня доверия к информационной системе и с определением некоторого уровня сложности атаки злоумышленника, считающегося для него непреодолимым. Подобные атаки могут быть выявлены только при больших объемах наблюдений, требующих больших затрат на обработку аудита.

С учетом отмеченных обстоятельств может быть определена конкретная структура поведенческой модели, способы решения которой следующие:

- анализ информативности событий ИС;
- определение уровня доверия к системе;
- определение предельной сложности атаки злоумышленника.

Механизм принятия решений не сможет функционировать без определенных правил оценки полученных соответствий в рамках данной поведенческой модели.

При этом учет недетерминированной компоненты является обязательным, так как он позволяет уменьшить неопределенность модели злоумышленника в части атак, организуемых через внешнюю среду системы.

Очевидно, что данный механизм не сможет работать в режиме реального времени, но он должен хотя бы приблизительно указывать на место произошедшего конфликта и давать количественную оценку опасности такого поведения ИС.

Механизм расследования должен рассматривать поведение совокупности информационных процес-

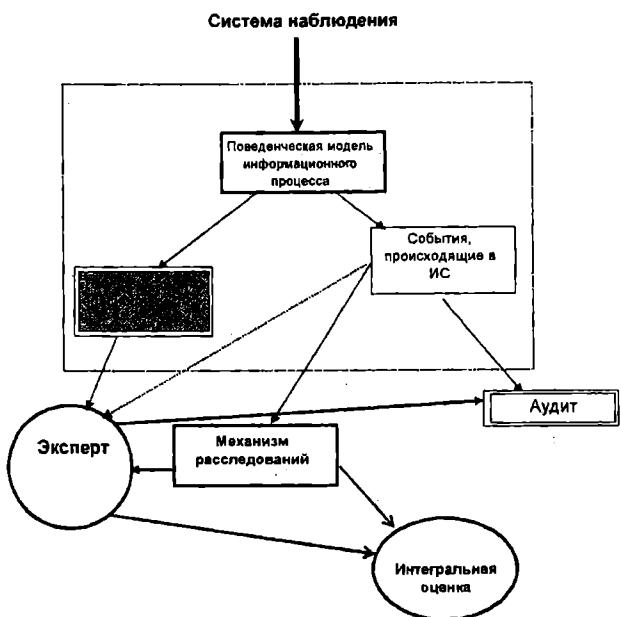


Рис. 1. Общая схема СЗИ

сов ИС и исследовать возможности процессов по влиянию друг на друга, по возможности реализации процессами несанкционированных действий и накапливать информацию для предотвращения таких возможных ситуаций в будущем.

Учитывая изложенное, можно определить общую схему СЗИ (рис. 1).

Под объектом влияния на данном рисунке подразумевается процесс или субъект ИС, выявленный в результате анализа неявных нарушений механизмами недетерминированной системы.

Интегральная оценка опасности ИС формируется на основе нескольких видов оценок:

— статическая оценка опасности, определяемая как совокупность оценок опасности операций над ИО, оценок опасности используемых ресурсов ИС, оценка опасности связей ИО, оценка опасности используемых информационных процессов;

— динамическая оценка опасности, формируемая с использованием поведенческой модели детерминированной компоненты ИС (информационного процесса), показывающая правильность ее функционирования в процессе работы ИС.

На основе каждого вида оценок определяются соответствующие уровни принятия решений о состоянии ИС.

Система статических оценок должна определять степень потенциальной опасности объектов и субъектов для информационной системы (ИС). Для различных типов объектов и субъектов эти оценки будут иметь различный вид и характер, но всегда имеют смысл меры опасности объекта или субъекта. Оценки могут быть абсолютными и относительными. Абсолютная оценка определяется в контексте всей ИС. Относительная оценка определяется в ограниченном контексте, т.е. в контексте какого-либо объекта или субъекта (группы объектов или субъектов) ИС. Это связано с тем, что объекты и субъекты различаются как по местоположению в общей иерархии, так и по принадлежности к различным сферам деятельности.

Статическая, или изначальная, оценка опасности системы должна постоянно корректироваться с учетом динамики поведения системы и ее элементов.

Можно говорить о дополнении статической оценки опасности некоторой динамической составляющей оценки, которая, в свою очередь, состоит из ряда составляющих. Все дополнительные динамические составляющие оценки опасности строятся на учете изменений, произошедших в системе по отношению к ее предшествующему состоянию или ряду предшествующих состояний. Изменения могут касаться как состояния системы во временной области (изменение активности элементов и интенсивности информационных взаимодействий, предсказания будущего состояния). Кроме того, динамические составляющие оценки опасности должны отслеживать изменение пространства взаимосвязей элементов системы.

Если оценка уровня безопасности контролируемой системы изменяется достаточно медленно, то возможно предсказание ее значения в ближайшем будущем. При этом снижение интервала времени, как правило, существенно снижает ошибку предсказания. Исходя из наиболее вероятной динамики по-

вания кривой и качества предсказателя, можно указать некоторый интервал будущего, где предсказания имеют вполне определенную вероятность ошибок первого и второго рода.

Возможность предсказывать ситуацию и заблаговременно реагировать на нежелательные состояния системы на основании полученных оценок является крайне важной частью современных систем безопасности. Во многих случаях важнее предотвратить нежелательную ситуацию, нежели ликвидировать ее последствия.

Вышесказанное говорит о развитии нового направления в рамках разработки СЗИ, а именно – «полицейских» СЗИ.

НОСЫРЕВ Алексей Николаевич, ведущий специалист по информационной безопасности.

Статья поступила в редакцию 16.11.06 г.

© Носырев А. Н.

УДК 651.81: 653.83

Н. Г. ЛУКЬЯНЕНКО

Средняя общеобразовательная
школа №1, г. Тура,
Эвенкийский автономный округ

ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ «ИНФОРМАТИКА И ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК» В УСЛОВИЯХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ШКОЛЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

В статье обосновываются вопросы разработки и внедрения интегрированной модели обучения информатике и иностранному языку в условиях информационной образовательной среды школы Крайнего Севера как средства повышения эффективности и качества усвоения учебного материала.

Информационные технологии (ИТ) в системе образования на Крайнем Севере играют все более существенное значение, являясь, с одной стороны, инструментарием для решения отдельных педагогических задач в рамках традиционных форм образования и методов обучения, с другой стороны, занимают более активную роль и обеспечивают новые возможности, стимулируют развитие дидактики и методики, способствуют созданию новых форм обучения и образования. Анализ путей повышения качества обучения в условиях северной школы обозначил факторы, влияющие на образовательный процесс типовой средней школы Крайнего Севера в условиях современной модернизации [1]. Нарушение непрерывности и целостности учебного процесса из-за отсутствия занятий по причине низких темпе-

ратур влечет за собой сокращение годового календарного интервала обучения (до 30 недель, а порой и меньше). В северных школах объем обязательного минимума содержания среднего (полного) общего образования, предписанного Министерством образования РФ, необходимо усвоить за более короткое время с соблюдением требований Министерства здравоохранения, учитывая сезонные психофизиологические особенности детей, малокомплектность школ с многонациональным составом, полифункциональность педагога, приводящую к монотонии в образовательном процессе, дистанцированность культурно-образовательных центров. Эти и другие объективные условия и факторы, отрицательно влияющие на успешное прохождение учебного процесса в северной школе, естественным образом ука-

зывают на интеграцию школьных дисциплин, оптимизацию и интенсификацию процесса обучения.

Последние нововведения в школе – профильное образование, Единый государственный экзамен, принятая в России еще в 2000 году Концепция новой структуры и содержания общего среднего образования – предполагают основным результатом деятельности образовательного учреждения набор ключевых компетенций в интеллектуальной, информационной сферах (в содержании образования должны быть обязательно иностранные языки и информационные технологии) [2]. Инструментарием для решения этих педагогических задач и развития дидактики и методики в северных школах можно назвать ИТ. В условиях информатизации Туинской средней общеобразовательной школы №1 Эвенкийского автономного округа (территория Крайнего Севера), на базе которой проводился педагогический эксперимент, мы определили предпосылки реализации интегрированного обучения – *открытое обучение школьным дисциплинам*: высококачественное обучение не всегда доступно учащимся таких регионов в силу определенных весомых аргументов, поэтому взамен классической урочной системы необходимы адекватные меры, позволяющие усилить линию индивидуализации интеграции обучения, повысить роль самостоятельной работы; *междисциплинарные связи*, которые оказывают всестороннее влияние на процесс обучения от постановки целей и задач до непосредственной организации обучения информатике и иностранному языку и результатов процесса обучения; *целостное миропонимание и информационное мировоззрение*, когда в процессе интегрированного обучения появляются представления об информационных объектах и их преобразованиях в языковой практике, в том числе с помощью ИКТ; *информационная культура школьника*.

Интегрированная модель, внедряемая в ходе эксперимента в типовой северной школе, представляет собой систематизированную форму объединения двух учебных дисциплин. Она позволяет учащимся освоить базовый уровень информатики и иностранного языка, а также углубить и расширить знания этих двух предметов с учетом традиционных принципов и специфических принципов (параллельности, интенсификации с учетом факторов повышения целенаправленности обучения, усиления мотивации учения, повышения информативной емкости содержания образования, оптимизации, индивидуализации обучения) без перерывов в образовательном процессе по причине низких температур, удаленности и отсутствия преподавателя в рамках образовательной системы учреждения.

В нашей модели при объединении двух дисциплин было выделено интегрированное поле, взаимодействуя в котором учащиеся будут повышать свой уровень обучаемости в условиях единой информационной образовательной среды (ЕИОС) [3]. Результатом этого предполагается школьник, способный участвовать в информационной деятельности на иностранном языке, используя информационные технологии (рис. 1). Информационно-образовательную систему мы рассматриваем как единую структуру для общения с человеческим знанием, служащую как для хранения, структурирования и представления информации, составляющей содержание накопленного знания, так и для её передачи, переработки и обогащения.

Существенным фактором интеграции школьных дисциплин, на наш взгляд, является предъявление к

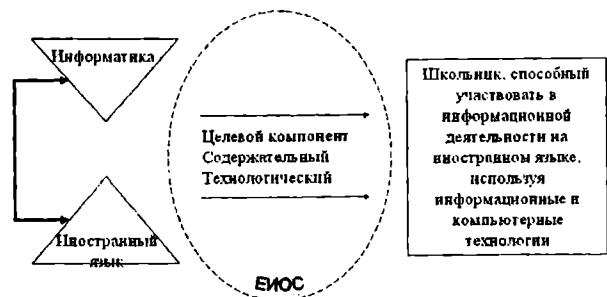


Рис.1. Схема организации интеграции дисциплин через ЕИОС

ним единого комплекса требований качества и условий реализации образовательного процесса, от выполнения которых зависит результат интеграции. Выделили две группы требований: традиционные (методические, психологические, технико-технологические и др.) и специфические (преемственность, адаптивность, интерактивность, реализация возможностей компьютерной визуализации учебной информации).

Идея построения интегрированной модели основана на перекрестном установлении интегративных связей всех компонентов методических систем обучения информатике и иностранному языку (цели, задачи, методы, средства, содержание). Разработанная структурно-функциональная интегрированная модель (рисунок 2) состоит из основных компонентов, которыми являются: целевой, содержательно-структурный, технологический, результативный.

Содержательно-структурный компонент интегрированной модели (рисунок 3) разбит на два блока. Они основаны на материалах (комплекс учебных пособий) двух школьных дисциплин – информатики и иностранного языка (английского) с учетом требований к уровню подготовки выпускников школ, разработанных в соответствии с принятыми учебными программами. Так, например, изучение «Информации и информационных процессов», в частности, средства информатизации, информационные технологии, информационные ресурсы, осуществляется в комплексной системе с обучением языковых и речевых умений, а также изучением предметных тем социально-бытовой, учебно-трудовой сферы.

Технологический компонент (рисунок 4) позволяет за счет разработанных организационных форм обучения (урок-визуализация, компьютерный практикум, e-mail-консультация, аудио-, видеоконференция) в условиях информационной образовательной системы оптимизировать и интенсифицировать процесс реализации содержательного блока модели.

В ходе экспериментального исследования с целью проверки эффективности использования предлагаемой нами модели мы выделили экспериментальные классы и контрольную группу примерно с одинаковым по успеваемости и способностям составом учащихся. В контрольном классе учащиеся изучали иностранный язык и информатику традиционным для массовой российской школы способом, без использования обобщающей интегрированной модели. В первом экспериментальном классе (группа А – 2 года обучения, группа Б – 3 года обучения) учащиеся (24 человека) обучались по интегрированной модели «Информатика и иностранный язык», при которой преподавателем излагался материал программы курса с использованием разработанных приёмов и способов систематизации и обобщения

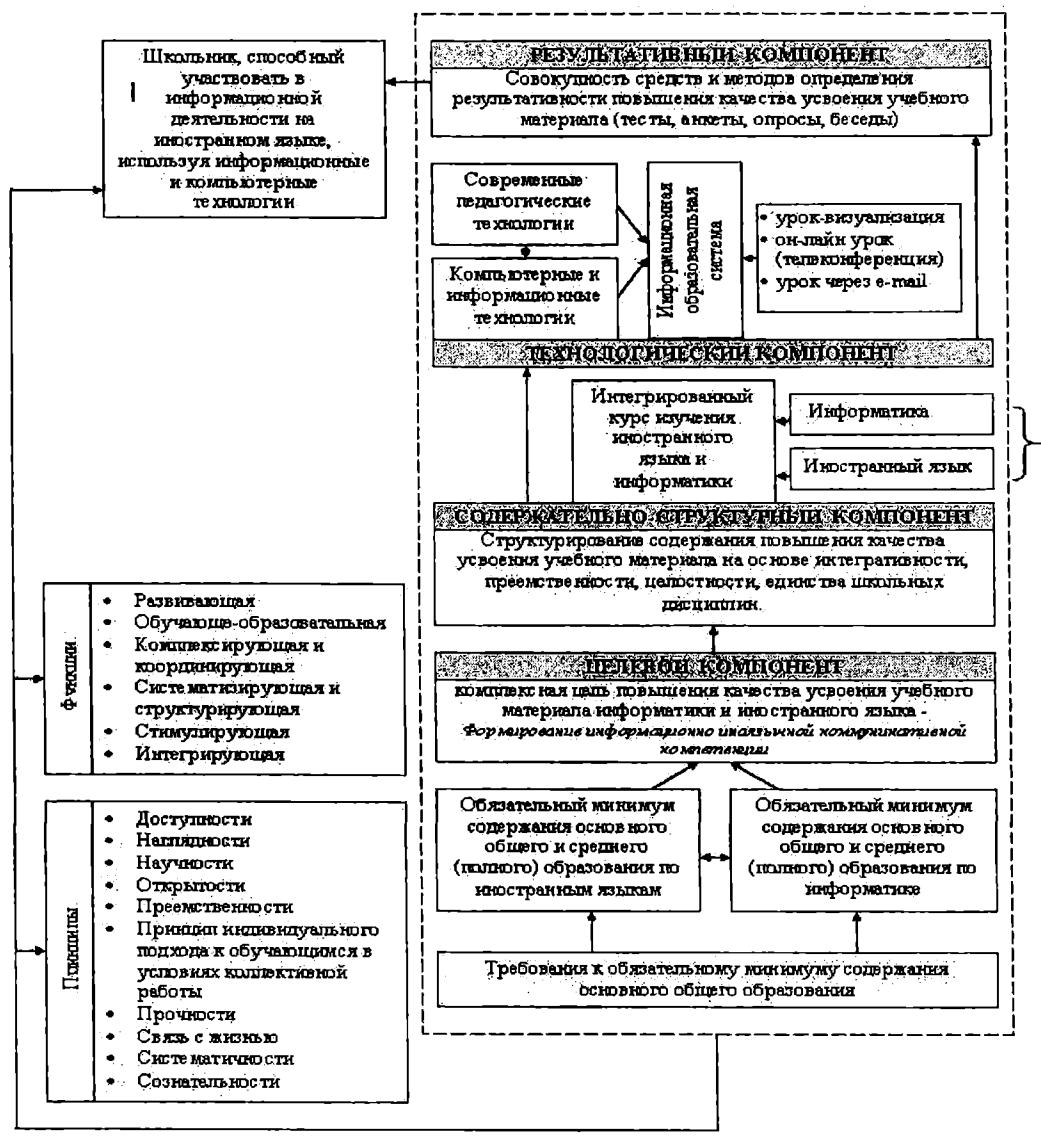


Рис. 2. Обобщенная схема интегрированной модели



Рис. 3. Схема технологического компонента интегрированной модели

заний учащихся. Учащиеся этой группы не имели организованного доступа к информационной образовательной системе школы на период отсутствия занятий по причине низких температур, во внеучебное время. В состав второго экспериментального

класса (группа А – 2 года обучения, группа Б – 3 года обучения) вошли учащиеся (24 человека), подобранные с учетом наличия персонального компьютера в домашних условиях с возможностью выхода в сеть и подключением к ЕИОС средней школы на

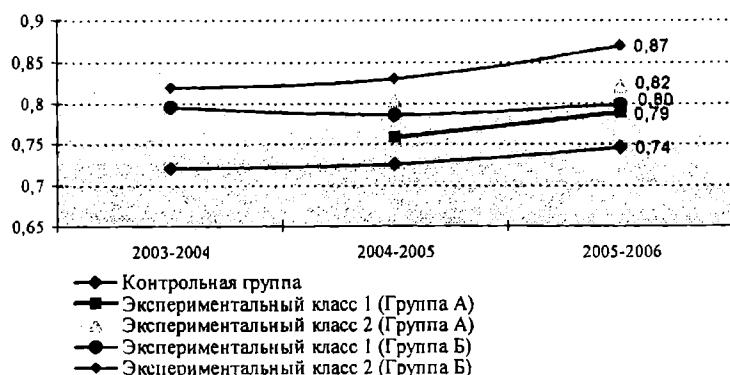


Рис. 4. Динамика повышения коэффициента качества обучаемости за 3 экспериментальных года

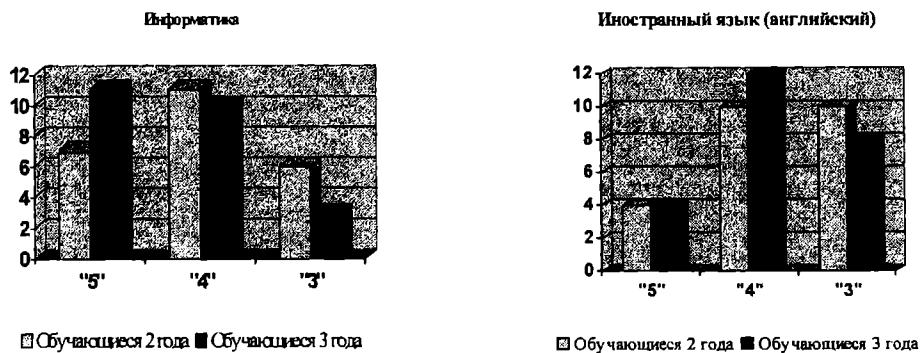


Рис. 5. Суммарные результаты экспериментальных классов по предметам за 2 и 3 года обучения

период эксперимента, с регистрацией электронного почтового ящика для инструкций и консультаций. Обучение этих экспериментальных групп не прерывалось в период «активированных дней» (отсутствие занятий из-за низких температур) и осуществлялось посредством разработанных организационных форм обучения (e-mail-консультация, on-line-тестирование, аудио-, видеоконференция). Обучение по интегрированной модели проводилось один час в неделю. В школьное расписание был введен урок «И + Я» (информатика и иностранный язык). В течение экспериментального года учащимся предлагались 6 тестовых заданий, в ходе которых в течение 40 минут испытуемый должен был ответить на 30 вопросов, включающих материал изучаемых дисциплин.

Проведя вычисления коэффициента усвоения материала школьником/группой за 3 экспериментальных года методом статистической обработки, предложенным Ю.Н. Александровым, В.В. Евсеевым, А.В. Хряпкиным [4], можно судить об успешном завершении процесса обучения ($0,6 \leq K < 0,75$ – процесс обучения считать завершенным; $K < 0,6$ – неудовлетворительное завершение процесса обучения). Динамика результатов коэффициента представлена на рисунке 5.

Выделенный нами критерий качества усвоения материала лёг в основу вычисления критерия эффективности использования предлагаемой нами модели обучения. Далее был определен коэффициент эффективности (η) по расчету $\eta = K_e / K_s$ (K_e – среднее значение K_s экспериментального потока; K_s – среднее значение K_s контрольного потока (при $\eta \geq 1$ доказана эффективность). Коэффициент эффективности использования курса обучения по интегрированной модели превышает единицу в экспериментальных классах (Э2 (группы Б) с коэффи-

циентом $\eta = 1,2142$), что указывает на успешность реализации эксперимента.

Суммарные оценочные результаты на выходе по всем экспериментальным классам и двум группам представлены в гистограммах на основании оценочного критерия на рисунке 5 по двум отдельным предметам.

Библиографический список

1. Однолько В.Т., Пак Н.И. Программа информатизации образования Эвенкийского автономного округа: Тез. докл. второй Всеросс. науч.-практ. конф. / В.Т. Однолько, Н.И. Пак. – Воронеж: ВГПУ, 1995. – С. 132-134.
2. Информология, информатика и образование: Справочное пособие/ Под ред. В.А. Извозчикова и И.В. Симоновой. – СПб.: КАРО, 2004. – 304 с.
3. Лукьяненко Н.Г. Некоторые результаты создания единой информационной образовательной системы Эвенкийского автономного округа// Инновации в науке и образовании-2004: Матер. междунар. научн. конф. – Калининград: Изд-во УПО КГТУ Калининград (обл.), 2004. – С.185-186.
4. Александров Ю.Н., Евсеев В.В., Хряпкин А.В. Оценка уровня усвоения учебного материала в системах ДО //Образование и виртуальность. – 2003. – Вып. 7 / Под общ. ред. В.А. Гребенюка, В.В. Семенца. – Харьков-Ялта: УАДО, ХНУРЭ, 2003.- С. 321-325.

ЛУКЬЯНЕНКО Наталья Геннадьевна, аспирант кафедры информатики Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева.

Статья поступила в редакцию 01.12.06 г.
© Лукьяненко Н. Г.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 378.14:51

Е. Ю. БЕЛЯНИНА

Евразийский институт экономики,
менеджмента, информатики

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КУРСА МАТЕМАТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

На основании проведенных исследований установлено, что реализация технологического подхода с учетом профессиональной направленности курса математики способствует повышению качества математической подготовки и формированию профессиональной компетентности будущих экономистов.

Общая цель образования – формирование профессиональных и личностных качеств выпускника образовательного учреждения, диагностируемых как конечный результат его (учреждения) работы. Стандартизация уровня профессиональных и личностных качеств выпускника вуза – главная задача Государственных образовательных стандартов высшей школы. Эффективность учебного процесса как основная его характеристика зависит от степени достижения запланированного ГОСом результата. Таким образом, работа в условиях Государственных образовательных стандартов стала решающим аргументом в пользу педагогической технологии.

Педагогическая технология – это система организации обучения, обладающая некоторыми свойствами, которые принципиально отличают ее от традиционной системы организации обучения. Главное свойство – это гарантированность планируемого ре-

зультата на всех этапах организации учебного процесса. Таким образом, по меткому выражению В.М. Монахова, педагогическая технология сделала современному педагогу «предложение, от которого он не сможет отказаться», – единственно надежный путь к успешной работе в условиях образовательных стандартов.

Несмотря на различия в трактовках понятия «технология обучения», большинство исследователей сходятся в том, что существуют два ключевых положения, позволяющих раскрыть сущность технологического подхода к учебному процессу:

1) технология обучения связана с оптимальным построением и реализацией учебного процесса с учетом гарантированного достижения дидактических целей;

2) технология обучения связана с применением педагогом соответствующих средств обучения.

Таблица 1

Технологическая карта по теме «Функции одной переменной»

Логическая структура учебного процесса	Целеполагание	Технологическая карта	
		Тема: Функция одной переменной.	© В.М. Монахов Преподаватель: Белянина Е.О.
Ц1. Уметь определять, функцию, строить графики с использованием элементарных свойств и преобразований, устанавливать по графику функции ее характеристические свойства.	Диагностика	А1.1) Найти область определения функции и выяснить ее четность (нечетность) а) $y = \frac{2^x - 1}{2^x + 1}$; б) $y = \frac{x^2 - 1}{ x - 2 }$. 2) Построить графики функций а) $y = -2x^2 + 5x - 2$; б) $y = \frac{1 - 3x}{x - 1}$.	А1.1) Найти область определения функции и выяснить ее четность (нечетность) а) $y = \frac{2^x - 1}{2^x + 1}$; б) $y = \frac{x^2 - 1}{ x - 2 }$. 2) Построить графики функций а) $y = -2x^2 + 5x - 2$; б) $y = \frac{1 - 3x}{x - 1}$.
Ц2. Уметь применять свойства бесконечно малых и бесконечно больших величин, полученные о пределах, замечательных пределах для вычисления пределов функций.	Диагностика	3) Изделия производства на 200 единиц продукции составляют 100 руб., а на 2000 ед. – 800 руб. Найти производственную функцию издержки на производство 600, 1000, 1400, 1800 единиц продукции, считая, что функция издержек линейная. 4) Зависимость уровня потребления у некоторого вида товара от уровня дохода семьи x выражается формулой $y = a - \frac{h}{x + c}$. Найти уровень потребления товара при уровне дохода семьи 158 ден.ед. Известно, что при $x = 50$ $y = 0$, при $x = 74$ $y = 0.8$, при $x = 256$ $y = 2.5$.	3) Изделия производства на 200 единиц продукции составляют 100 руб., а на 2000 ед. – 800 руб. Найти производственную функцию издержек на производство 600, 1000, 1400, 1800 единиц продукции, считая, что функция издержек линейная. 4) Зависимость уровня потребления у некоторого вида товара от уровня дохода семьи x выражается формулой $y = a - \frac{h}{x + c}$. Найти уровень потребления товара при уровне дохода семьи 158 ден.ед. Известно, что при $x = 50$ $y = 0$, при $x = 74$ $y = 0.8$, при $x = 256$ $y = 2.5$.
Ц3. Уметь определять, непрерывность, функции и приходить к классификации точек разрыва.	Диагностика	Д2. 1) Найти: а) $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{3x + 5}{x - 5}$; б) $\lim_{x \rightarrow 0} \left(x \cos \frac{1}{x} \right)$; в) $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x-1} - 1}{\sqrt[3]{x-1}}$. 2) Найти: а) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sin x}{x}$; б) $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{2x-3}{2x-1} \right)^{4x}$; в) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{x^2} - 1}{x^2}$. 3) Найти: а) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x^6}{\sin^3 x}$; б) $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ и $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$, где $f(x) = \frac{2^{x+1} + 3^{x+1}}{2^x + 3^x}$; в) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{x^2 - x + 1} - x}{2x + 1}$. 4) Периодичность вклада положенный в банк под 10% годовых, составила 6 млн руб. Найти размер вклада через 10 лет при начислении процентов: а) ежеквартально; б) поквартально; в) непрерывном.	Д2. 1) Найти: а) $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{3x + 5}{x - 5}$; б) $\lim_{x \rightarrow 0} \left(x \cos \frac{1}{x} \right)$; в) $\lim_{x \rightarrow 1} \frac{\sqrt{x-1} - 1}{\sqrt[3]{x-1}}$. 2) Найти: а) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sin x}{x}$; б) $\lim_{x \rightarrow \infty} \left(\frac{2x-3}{2x-1} \right)^{4x}$; в) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{e^{x^2} - 1}{x^2}$. 3) Найти: а) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x^6}{\sin^3 x}$; б) $\lim_{x \rightarrow \infty} f(x)$ и $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x)$, где $f(x) = \frac{2^{x+1} + 3^{x+1}}{2^x + 3^x}$; в) $\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{x^2 - x + 1} - x}{2x + 1}$. 4) Периодичность вклада положенный в банк под 10% годовых, составила 6 млн руб. Найти размер вклада через 10 лет при начислении процентов: а) ежеквартально; б) поквартально; в) непрерывном.
Ц4. Уметь определять, непрерывность, функции и приходить к классификации точек разрыва.	Диагностика	А3. 1) Доказать непрерывность функции $y = \cos x$. 2) Какие из данных функций являются непрерывными в точке $x=1$? В случае нарушения непрерывности уточнить характер точек разрыва. а) $y = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$; б) $y = \frac{1}{1 + 2 \sqrt{x_{i-1}}}$.	А3. 1) Доказать непрерывность функции $y = \cos x$. 2) Какие из данных функций являются непрерывными в точке $x=1$? В случае нарушения непрерывности уточнить характер точек разрыва. а) $y = \frac{x^2 - 1}{x - 1}$; б) $y = \frac{1}{1 + 2 \sqrt{x_{i-1}}}$.
Ц5. Уметь определять, непрерывность, функции и приходить к классификации точек разрыва.	Диагностика	3) Сколько точек разрыва и каких может иметь функция $f(x) = \frac{x}{ax^2 + bx + c}$? 4) Важен ли угол наклона касательной к кривой $y = \arctan \frac{1}{x}$ в точке $x=0$ так, чтобы она стала непрерывной и в этой точке?	3) Сколько точек разрыва и каких может иметь функция $f(x) = \frac{x}{ax^2 + bx + c}$? 4) Важен ли угол наклона касательной к кривой $y = \arctan \frac{1}{x}$ в точке $x=0$ так, чтобы она стала непрерывной и в этой точке?
А1	Стандарт «Довольно-правильный» 5.16. 5.18. 5.47. 5.40(г). 5.41(г) 6.13. 6.17. 6.82. 6.89. 6.112	«Отлично» 5.48. 5.49. 5.51. 5.10. 5.13. 5.14(г) 6.36. 6.43. 6.10. 6.139. 6.153	
А2	5.16. 5.45. 5.46. 5.38(г). 5.41(г) 6.13. 6.17. 6.82. 6.89. 6.112	6.138. 6.163. 6.162	
А3	6.156. 6.157. 6.159	6.164. 6.165	

Основной смысл технологического подхода к проектированию учебного процесса заключается в облегчении и упрощении проектировочной деятельности, в нейтрализации субъективных факторов при ее выполнении и возможности перевода педагогического замысла в проект, представляемый в виде педагогической технологии.

Педагогическая технология должна сочетать деятельностный и личностно-ориентированный подходы: чтобы определенное содержание было усвоено, оно должно стать целью отдельных действий, для этого требуется перевести учебный материал на язык задач, заданий и упражнений; к этому добавляются идеи общения, познания мира в контексте конструирования, моделирования.

Для проектирования курса математики в экономическом вузе нами используется технология В.М. Монахова, которая по результатам нашего анализа в наибольшей степени из известных технологий обучения соответствует параметрам деятельностного и личностно-ориентированного подходов и является действенным инструментом внедрения образовательных стандартов в практику.

Один из методологических принципов технологии – это проектирование учебного процесса по учебным темам на основе параметрической модели, содержащей пять блоков: целеполагание, диагностика, дозирование внеаудиторной самостоятельной деятельности обучаемых, логическая структура учебного процесса, коррекция. При технологическом подходе объектом технологизации является проект учебного процесса. В данном случае проектом выступает технологическая карта, содержащая пять вышеперечисленных блоков – обязательных компонентов процедурного характера, соответствующих главным параметрам учебного процесса, обеспечивающих успех обучения (заметим, что отсутствие одного из компонентов в технологии делает ее нетиражируемой при передаче). Спроектированное содержание по каждому параметру вносится в соответствующий блок технологической карты.

Целеполагание – процедура, результатом которой является построение системы микроцелей учебной темы. Микроцель – это краткая запись основных знаний и умений, которыми должен овладеть студент в соответствии с требованиями ГОСа, то есть, опираясь на требования стандарта, необходимо перевести содержание учебной темы на язык целеполагания. Данная процедура является основополагающей в технологии, так как определяет содержание четырех других ее компонентов.

Диагностика – система заданий по проверке усвоенных знаний. Для каждой микроцели составляется свой образец самостоятельной работы, фиксирующий факт и уровень ее достижения. Оценка учебной деятельности студентов осуществляется на одном из трех уровней обученности («стандарт», «хорошо», «отлично»). Кроме того, технология предоставляет обучающемуся право выбора того «ориентира» оценки, который в данный момент соответствует его ценностным установкам.

Дозирование домашнего задания – совокупность заданий, которые студент должен выполнить самостоятельно. Цель этого блока – гарантированно подготовить обучающегося к успешному прохождению диагностики на уровне, выбранном самим студентом.

Логическая структура учебного процесса – примерная последовательность занятий по изучению данной темы. Так как технология на практике реализует личностно-ориентированную систему обуче-

ния, то учебный материал рассматривается не только как цель обучения, но и как средство развития личности. Число и содержание микроцелей определяет число зон ближайшего развития учащегося и временную продолжительность каждой зоны. Данная процедура предусматривает конкретизацию рабочего поля в виде целостной модели учебного процесса, предлагающей «встраивание» соответствующих программ математического развития (мотивации, познавательного интереса, мышления, памяти, речи) и оптимизацию логической структуры учебного содержания.

Коррекция – одно из полей технологической карты, которое несет информацию о типичных ошибках, пробелах в базовых знаниях, возможных трудностях учащихся при освоении соответствующей микроцели и содержит траекторию выведения на уровень «стандарта» тех студентов, которые не прошли диагностику. Данный компонент – это программа деятельности преподавателя и студентов, не прошедших диагностику.

Процесс проектирования курса математики для экономистов представляется следующим образом: на основе требований образовательного стандарта, сравнительного анализа учебных программ для смежных специальностей, анализа учебников и учебных пособий по математике для экономистов, личного педагогического опыта, формируется логическая структура программы курса и краткое содержание тем курса. Содержание каждой учебной темы переводится на язык микроцелей.

Отбор содержания основывается на принципе профессиональной ориентации, который заключается в том, что каждая дисциплина, изучаемая студентом, должна вносить четкий диагностический вклад в формирование профессиональной компетентности специалиста на уровне стандарта. Поскольку специфика отбора содержания и методов изучения математики будущими экономистами всегда должна быть обусловлена профессиональной направленностью, мы включили в технологическую карту отдельный параметр, который отражает экономическое приложение математической темы и, следовательно, обеспечивает необходимую технологическую глубину профессиональной ориентации без потери главных методологических принципов математики как науки и как учебной дисциплины. Ниже приводится технологическая карта по теме: «Функция одной переменной» курса «Математический анализ» (таблица 1). Домашнее задание приведено из учебника Н.Ш. Кремера [1].

Результаты проводимого эксперимента позволяют сделать вывод, что проектирование курса высшей математики для студентов экономических специальностей на основе педагогической технологии В.М. Монахова при соблюдении принципа профессиональной направленности способствует повышению эффективности обучения и качества профессиональной подготовки специалистов экономического профиля.

Библиографический список

1. Кремер Н.Ш. Высшая математика для экономических специальностей: учебник и практикум (часть I) / Кремер Н.Ш., Путько Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н.; под ред. Н.Ш. Кремера. – М.: Высшее образование, 2005. – 486 с.

БЕЛЯНИНА Елена Юрьевна, аспирант.

Статья поступила в редакцию 02.12.06 г.

© Белянина Е. Ю.

ЗАДАЧИ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ

На основе теории математической деятельности предлагается один из методов построения полных систем задач, дифференцированных по трудности их решения.

Для обоснования правильной организации процесса обучения решению текстовых задач на основе результатов анализа физиологической, психолого-ической и дидактической литературы, а также в результате критического сопоставления моделей мыслительной деятельности была составлена модель формирования математической деятельности посредством задач, дифференцированных по уровням трудности их решения. Составленная модель обеспечивает возможность реализации аспектов математической деятельности учащихся в процессе решения текстовых задач и отражает процесс формирования обобщенных приемов математической деятельности учащихся при решении текстовых задач.

Исследуя процесс решения задачи, А.А. Столяр [9] выделяет два существенных элемента в процессе решения задачи: представление (описание) задачи и поиск ее решения. «Представление задачи включает ее перевод на язык математики. Такой перевод может быть различным. От способа представления задачи зависит и поиск ее решения. Более удачное представление способствует сокращению объема поиска, менее удачное может значительно увеличить объем поиска, усложнить процесс решения» [9, с. 121]. Таким образом, поиск решения задачи зависит от представления задачи: 1) в пространстве состояний; 2) сведение задачи к совокупности подзадач.

Ю.М. Колягин [7] обращает внимание на целесообразность разбивки учебного задания на последовательность подзадач. Р.А. Гильманов [6] процесс решения учебного упражнения представляет «в виде последовательного выполнения подзадач». Автор отмечает, что «разложение мыслительной деятельности на составные части – «подзадачи» – должно представлять собой систему умственных действий типа умозаключений как мыслительных операций», а не технические исполнительские операции» [6, с. 83]. Такая точка зрения позволяет представить процесс решения задачи графически в виде графовой модели [3, 4, 5]. В результате построения графовой модели осуществляется математизация эмпирического материала (МЭМ).

Для иллюстрации метода выделения подзадач рассмотрим алгоритм построения блока задач на примере алгебраической текстовой задачи.

Задача. В магазине купили 8 кг яблок по цене 53 руб. и 12 кг сахара по цене 30 руб. Сколько стоит вся покупка? (сложность структуры решения $S = 26$)

Корневой вершине графовой модели структуры решения этой задачи будет соответствовать значение величины стоимости покупки (рис. 1).

Чтобы получить подзадачу, удалим висячие вершины в третьем ярусе и принадлежащие им ребра и только те, которые принадлежат или к вершине c_1 , или к вершине c_2 . Получим две новые графовые модели (рис. 1а и 1б) и сформулируем получившиеся подзадачи № 1 и № 2.

Подзадача № 1. В магазине купили 8 кг яблок по цене 53 руб. и сахар стоимостью 420 руб. Сколько стоит вся покупка? (сложность структуры решения $S_1 = 16$)

Подзадача № 2. В магазине купили яблоки стоимостью 424 руб. и 12 кг сахара по цене 30 руб. Сколько стоит вся покупка? (сложность структуры решения $S_2 = 16$).

Чтобы получить третью подзадачу, удалим висячие вершины во втором ярусе и принадлежащие им ребра. Получим новую графовую модель (рис. 1в) и сформулируем подзадачу № 3.

Подзадача № 3. В магазине купили яблоки стоимостью 424 руб. и сахар стоимостью 420 руб. Сколько стоит вся покупка? ($S_3 = 6$)

Получившийся граф структуры решения подзадачи № 3 имеет наименьшую сложность и трудность, следовательно, она не имеет подзадач. Таким образом, получили блок задач со сложностью структуры решения $S = 26$; $S_1 = 16$; $S_2 = 16$; $S_3 = 6$. В этом блоке каждая предыдущая задача включается в последующую задачу в качестве подзадачи. Содерж-

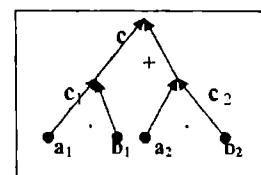


Рис. 1. Графовая модель структуры решения задачи

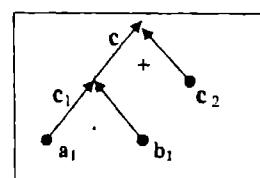


Рис. 1а. Графовая модель структуры решения подзадачи № 1

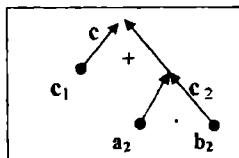


Рис. 16. Графовая модель структуры решения подзадачи № 2

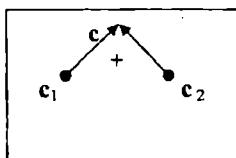


Рис. 1в. Графовая модель структуры решения подзадачи № 3

жение подзадачи, дополненное определенными требованиями, и есть последующая задача.

При выполнении учебных заданий учащийся решает систему частных задач, которые реализуются путем выполнения отдельных действий. Б.Ф. Ломов [8, с. 219] объясняет это следующим образом: «Действие, обеспечивающее выполнение одной простой текущей задачи, в психологии принято считать единицей или элементом действия. В принципе деятельность может быть описана как системасменяющих друг друга действий... Необходимость совмещать действия и переключаться от одной задачи к другой создает **трудности** и требует большого нервно-психического напряжения». Вывод Б.Ф. Ломова еще раз убеждает нас в том, что в целях дифференциации текстовых задач необходимо вводить количественные параметры, характеризующие информационную структуру решения текстовой задачи, т.е. трудность решения задачи [3, 5].

Чтобы деятельность учащихся по решению задач обеспечила заданный уровень усвоения знаний, необходимо задать систему задач, удовлетворяющую дидактическим принципам обучения. Одним из основных дидактических принципов является требование подбора задач с последовательным и систематическим нарастанием сложности и трудности структур их решения. На основе структуризации решений текстовых задач, с выделенным сюжетом «Движение», нами построена дифференцированная по уровням трудности система текстовых задач [2]. При решении задач одинаковой сложности осуществляется логическая организация математического материала (АЛОМ), а следствием нарастания трудности решения текстовых задач является применение математической теории (ПМТ).

Ощутимый методический эффект использования дифференцированной по уровням трудности системы задач будет получен при условии, что система задач способствует формированию и развитию умений анализировать, сравнивать, рассуждать, устанавливать отношения, вести самостоятельно поиск решения задачи. Если рассматривать процесс обучения как развитие, ведущее к более высокому уровню, то можно с помощью системы задач ускорить последовательный переход от одного уровня к другому, не пропуская промежуточный уровень, т.е. система задач предусматривает последовательное прохождение через все аспекты математической деятельности.

Решая задачи первого уровня трудности, учащиеся приобретают простейшие умения и в преде-

лах одной сложности структуры решения имеют возможность для развития своих способностей решать более трудные задачи, не потеряв интерес к предмету, что является важным в обучении. При решении задач первого уровня трудности учащиеся овладевают отдельными действиями и операциями; учатся выделять основные отношения задачи и строить простейшие модели; приобретают умения сравнивать, конкретизировать; проявляются задатки анализа (МЭМ). При решении задач более трудных по структуре решения учащиеся овладевают совокупностью операций: выделяют физические модели; проводят анализ и строят математические графовые модели, проводя аналогию между алгебраическими и физическими задачами.

Задачи второго уровня трудности стимулируют к применению знаний и способов деятельности в стандартных ситуациях; могут быть задания на перевод из одной знаковой системы в другую. Владея полным содержанием действий, учащиеся самостоятельно ведут поиск и анализ графовых моделей структур решений алгебраических и физических задач в стандартной ситуации; решая задачи в порядке возрастания их трудности, учащиеся учатся абстрагировать, обобщать, синтезировать (АЛОМ).

Задачи третьего уровня трудности предназначены для применения знаний и способов деятельности в новых нестандартных ситуациях; задачи межпредметного содержания; на составление обобщающих моделей. Владея всеми действиями и операциями, учащиеся умеют выстроить логическую последовательность действий для получения результата; самостоятельно ведут поиск и анализ обобщенных графовых моделей; умеют составлять новые задачи (ПМТ).

Говоря об уровнях трудности структур решений текстовых задач, следует помнить, что «уровень трудности» структуры решения задач является субъективным фактором не только относительно возраста и способностей учащихся, но и для разных этапов обучения. Поэтому задачи, которые первоначально носили «трудный» характер, в процессе обучения могут утратить «трудность». Это закономерный процесс, так как в соответствии с концепцией Л.С. Выготского [1] обучение будет тогда развивающим, когда оно проводится на максимально высоком уровне трудности и ведет за собой развитие учащихся.

Используя дифференцированную систему текстовых задач с учетом «зоны ближайшего развития» [1], мы создаем индивидуально для каждого ученика условия выбора доступного (в данный момент времени) для него задания по трудности, и одновременно осуществляется последовательная реализация всех аспектов математической деятельности в процессе решения ранжированных задач.

Библиографический список

1. Выготский Л.С. Развитие психических функций. /Л.С. Выготский. — М., 1960.
2. Горбунова Л.А., Рыженко Н.Г. Сборник уровневых дифференцированных текстовых задач по физике: Учебное пособие // Омск: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006.
3. Горбунова Л.А., Рыженко Н.Г. Формирование общих физико-математических умений в процессе обучения решению задач // Актуальные проблемы науки и высшего образования // Материалы второй Международной научно-практической конференции // Научный сборник № 2, Москва: филиал МГТУ в г. Унече, 2006. — С. 137-141.

4. Горбунова Л.А., Рыженко Н.Г. Графовое моделирование структур решений текстовых задач в курсе алгебры и физики // Психодидактика высшего и среднего образования // Материалы пятой Всероссийской научно-практической конференции. Часть 2. — Барнаул, 2004. — С. 140-143.
5. Горбунова Л.А. Моделирование структур решений задач для определения их трудности // Омский научный вестник. — № 2 (19). — июнь, 2002. — С. 65-67.
6. Гильманов Р.А. Проблема дидактометрии трудности учебных упражнений / Р.А. Гильманов. — Изд-во Казанского университета, 1989.

7. Колятин Ю.М. Задачи в обучении математике. / Ю. М. Колятин. — М.: Просвещение, 1977. Ч. 1.
8. Ломов Б.Ф. Методологические и теоретические проблемы психологии. / Б.Ф. Ломов. — М.: Наука, 1984.
9. Столляр А.А. Педагогика математики. Изд. 3-е. / А.А. Столляр. — Минск: Выш. школа, 1986.

ГОРБУНОВА Людмила Анатольевна, старший преподаватель кафедры физики.

Статья поступила в редакцию 26.09.06 г.

© Горбунова Л. А.

УДК 378

**И. А. ДРОЗДОВА
С. А. МИНАБУДИНОВА**

Омский государственный
университет путей сообщения

ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ НАВЫКОВ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ПРОЦЕССЕ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Рассматривается проблема адаптации первокурсников в техническом вузе в плане обеспечения достаточной базы математических знаний для изучения естественно-научных и технических дисциплин, предлагаются пути решения этой проблемы.

В течение многих лет остро стоит вопрос о соответствии программы курса высшей математики потребностям инженерно-технических специальностей вузов. Многие преподаватели испытывают при работе со студентами затруднения, обусловленные тем изложением основ высшей математики, которое принято уже много лет в технических вузах. Причины этого понятны. Во-первых, авторы учебников и преподаватели высшей математики много внимания уделяют строгости и последовательности изложения курса, изобилующего доказательствами теорем, используя при этом нетривиальный язык, трудно-доступный для понимания первокурсниками. Во-вторых, инженеру гораздо важнее знание различных математических методов, применяемых для решения практических задач, поэтому для него все возможные тонкости в доказательствах значат довольно мало, а решающее значение имеют приложения математики к технике [1]. И, что самое печальное, уровень подготовки абитуриентов в последние годы неуклонно падает, вследствие чего затрудняется процесс адаптации первокурсников в вузе, что не позволяет многим из них эффективно усваивать учебный материал. Решение этой проблемы нам представляется весьма актуальным.

Авторы настоящей статьи преподают физику в техническом вузе. Физика, изучающая законы природы, широко использует практически все разделы математики. Особую роль в формировании математической грамотности будущего инженера играют

дифференциальное и интегральное исчисления — это основа, на которой строится вся система обще-технических и специальных профессиональных знаний и навыков [2]. Понятия производной и интеграла стали необходимыми элементами общей культуры. Представления о скорости изменения какой-либо величины (производная) и о суммарном эффекте действия какого-либо фактора (интеграл) полезны и в повседневной жизни: они расширяют кругозор, позволяют глубже понимать суть различных явлений и процессов и принимать обоснованные решения.

Современная школьная программа дает возможность любому школьнику познакомиться с понятиями производной и интеграла. При этом у большинства выпускников средней школы формируется весьма отвлеченный взгляд, например, на производную как на формальное правило превращения одной функции в другую. То же самое можно сказать о студенте-первокурснике, которому в рамках курса математического анализа даются все необходимые (с точки зрения математика) сведения о производных, но мало или совсем ничего не говорится о тех многочисленных явлениях и процессах, описание которых требует использования производной (механические колебания, различные процессы в электрических цепях, реактивное движение, радиоактивный распад и т.д.). Вследствие этого у студента формируется абстрактное, оторванное от реальной жизни понятие производной. Это относится и к другим понятиям высшей математики.

Исходя из вышеизложенного, оптимальным, с нашей точки зрения, был бы такой порядок изучения основных понятий высшей математики:

- 1) Определение понятия.
- 2) Примеры применения данного понятия при рассмотрении каких-либо природных явлений.
- 3) Решение различных задач с применением данного понятия.

Так, например, изучение понятия производной функции одной переменной состояло бы из следующих этапов:

- 1) Определение функции одной переменной.
- 2) Решение задачи о прямолинейном неравномерном движении тела и определении скорости как производной от координаты по времени.
- 3) Изучение правил вычисления производных и применение их для различных функций.

Второй из рассмотренных этапов представляется нам исключительно важным. Благодаря ему оторванное от реальной жизни понятие производной наполняется для первокурсника конкретным содержанием.

Понятно, что включение в курс высшей математики примеров из физики, химии, техники усложняет работу преподавателя, требует от него дополнительных усилий. Несмотря на то, что много говорится об усилении практической направленности курса высшей математики в техническом вузе, решение этой проблемы требует прежде всего доброй воли самих преподавателей.

Знание основ дифференциального и интегрального исчислений необходимо первокурснику при изучении физики в вузе практически с первых дней, так как традиционно курс физики в техническом вузе начинается с раздела «Механика». Именно в процессе изучения основных кинематических характеристик движения студент помимо сугубо математических абстрактных понятий о производной и интеграле приобретает вполне реальное представление о них как о скорости движения и пройденном пути.

Для успешного изучения курса физики в вузе первокурсник должен обладать достаточным уровнем математической подготовки. С учетом того, что в последние годы этот уровень неуклонно снижается, мы видим два возможных пути быстрой адаптации вчерашнего школьника в вузе:

- 1) математическое введение в начале изучения курса физики;
- 2) вводный курс математики, предваряющий курс высшей математики.

В течение уже многих лет преподаватели физики Омского государственного университета путей сообщения идут по первому пути, собственными силами решая проблему несогласованности учебных планов по физике и высшей математике [3], – несколько часов лекционных и практических занятий посвящают основам векторной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, т.е. математическому введению в курс физики. Это немедленно дает положительный результат. Например, уже на первых занятиях полученные знания позволяют первокурсникам успешно справиться с выполнением лабораторных работ в рамках физического

практикума, особенно в части математической обработки результатов измерений.

О несомненной пользе математического введения говорят и следующие статистические данные. В течение двух последних лет в первом семестре количество аудиторных часов, отведенных на математическое введение, увеличилось с четырех до восьми. В результате численность неуспевающих студентов сократилась на 18 %. Исследования проводились в сентябре и октябре 2004 и 2006 годов среди студентов трех групп (75 человек) одной и той же специальности электромеханического факультета Омского государственного университета путей сообщения. Неуспевающими считались студенты, набравшие при выполнении контрольных и лабораторных работ менее 60 % от максимально возможного количества баллов. Анализ итогов летних вступительных испытаний 2004 и 2006 годов не дает оснований полагать, что средний уровень подготовки абитуриентов по математике и физике в эти годы существенно отличался. Поэтому мы считаем, что именно математическое введение в курсе физики позволяет ускорить процесс адаптации первокурсников и, следовательно, повысить качество обучения.

Отметим, однако, что с нашей точки зрения предпочтительным является второй путь. При этом чтение вводного курса математики должно сопровождаться четким согласованием учебных планов по основным естественно-научным и техническим дисциплинам, изучаемым в первом семестре.

Естественно, выбор второго пути сопряжен с определенными организационными трудностями (изменение числа часов, корректирование учебных планов многих дисциплин и т.д.). Но только объединение усилий всех преподавателей и администрации поможет вчерашним школьникам быстро адаптироваться в вузе и активно включиться в процесс обучения. Это, в свою очередь, обеспечит повышение качества подготовки специалистов.

Библиографический список

1. Зельдович Я.Б., Яглом И.М. Высшая математика для начинающих физиков и техников. – М.: Наука. – 1982. – 512 с.
2. Комаров В.И. Роль общего физического образования в формировании методологической культуры будущего инженера // Наука и школа. – 2004. – № 5. – С. 29 – 32.
3. Авила Л.В., Дроздова И.А. Проблемы осуществления прикладной направленности курса высшей математики в техническом вузе // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Молодежь России: проблемы образования, воспитания, занятости». Омск, 12-13 апреля 2006 г. Издательство ОмГУПС. – 2006. – С. 148-151.

ДРОЗДОВА Илга Анатольевна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры физики и химии.

МИНАБУДИНОВА Сания Анасовна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики и химии.

Статья поступила в редакцию 09.12.06 г.

© Дроздова И. А., Минабудинова С. А.

АССОЦИАТИВНЫЙ ЗАКОН В ЧИСЛОВЫХ РЯДАХ. МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

На основании проведенных исследований установлено, что ассоциативный закон не имеет никаких исключений из правил (является универсальным). Показано, что он одинаково применим к рядам сходящимся, расходящимся и неопределённым, что позволяет без всяких оговорок группировать слагаемые в любых рядах любым способом, не опасаясь за эквивалентность полученных результатов.

Литература по числовым рядам широко культивирует некорректные примеры неприменимости ассоциативного закона к собственно расходящимся и неопределённым рядам. На основании проведенных исследований установлено, что ассоциативный закон не имеет никаких исключений из правил (является универсальным). Показано, что он одинаково применим к рядам сходящимся, расходящимся и неопределённым, что позволяет без всяких оговорок группировать слагаемые в любых рядах любым способом, не опасаясь за эквивалентность полученных результатов.

Теорема. В любом бесконечном ряде можно произвольно объединять в группы соседние члены, при этом произведённые объединения членов никак не влияют на сходимость ряда, и сохраняется присущая ему сумма.

Покажем, что если в ряде

$$u_1 + u_2 + \dots + u_n + \dots \quad (1)$$

произвольно объединить соседние члены в группы, не нарушая порядка членов:

$$(u_1 + \dots + u_{n_1}) + (u_{n_1+1} + \dots + u_{n_2}) + \dots + (u_{n_2+1} + \dots + u_{n_3}) + \dots \quad (2)$$

(очевидно, что каждый член при этом должен входить только в одну группу) и найти суммы v_1, v_2, v_3, \dots членов, входящих в каждую группу, то составленный из этих сумм ряд

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots \quad (3)$$

будет иметь ту же сумму, что и первоначальный ряд 1.

Доказательство.

Составим последовательность частичных сумм ряда 1

$$\begin{aligned} S_1 &= u_1, \\ S_2 &= u_1 + u_2, \\ S_3 &= u_1 + u_2 + u_3, \\ \dots & \end{aligned} \quad (4)$$

Среди них, в частности, окажутся и все суммы вида

$$S_{n_1} = u_1 + \dots + u_{n_1} = v_1$$

$$S_{n_2} = u_1 + \dots + u_{n_1} + u_{n_1+1} + \dots + u_{n_2} = v_1 + v_2 \quad (5)$$

$$S_{n_3} = u_1 + \dots + u_{n_1} + u_{n_2} + \dots + u_{n_2+1} + \dots + u_{n_3} = v_1 + v_2 + v_3,$$

т.е. все частичные суммы ряда 3.

Таким образом, последовательность частичных сумм ряда 5 оказывается подпоследовательностью последовательности частичных сумм ряда 3. Если последовательность S_1, S_2, S_3, \dots (6) по условию сходится и имеет предел S , её подпоследовательность $S_{n_1}, S_{n_2}, S_{n_3}, \dots$ (7) так же должна сходиться и иметь тот же предел. Если последовательность 6 по условию расходится, то её подпоследовательность 7 так же расходится.

Проблемы ассоциативного закона

Приведённое выше доказательство ассоциативного закона часто омрачается замечанием о том, что ассоциативный закон применим не во всех случаях. В качестве наиболее характерного примера для иллюстрации используется частный случай геометрической прогрессии вида

$$1 - 1 + 1 - 1 + \dots \quad (8)$$

В том или ином контексте указывается [3, 4, 5, 6, 7, 8], что этот колеблющийся ряд при группировке слагаемых по два, начиная с первого, даёт ряд, состоящий из нулей, и, значит, сумма $S = 0$.

$$\begin{aligned} S &= (1 - 1) + (1 - 1) + \dots + (1 - 1) + \dots = \\ &= 0 + 0 + \dots + 0 + \dots \end{aligned} \quad (9)$$

При группировке слагаемых по два, начиная со второго, констатируется, что получается ряд с суммой $S = 1$:

$$\begin{aligned} S &= 1 + (-1 + 1) + \dots + (-1 + 1) + \dots = \\ &= 1 + 0 + \dots + 0 + \dots \end{aligned} \quad (10)$$

На основании таких простых рассуждений делается вывод о том, что разная группировка слагаемых даёт конечную и в разных случаях различную сумму ряда. Такой вывод из приведённого примера фактически дезавуирует ассоциативный закон при работе с числами. Ведь математика всегда стояла и стоит на том, что достаточно одного контрпримера, чтобы дезавуировать какое-либо доказательство, тео-

рему или закон. Утрачиваемая же всеобщность ассоциативного закона обрушивает фундамент арифметики. Естественно, что нельзя даже допустить мысли о неуниверсальности ассоциативного закона, а это значит, что надо найти некорректность в вышеприведённых рассуждениях.

В действительности, однако, всё обстоит не так страшно, и, как правило, люди не сомневаются в универсальности ассоциативного закона, а использование его никогда не ведёт ни к каким противоречиям.

Такое утверждение, однако, не будет оставлять сомнений лишь после того, как будет доказано вышеприведённый пример. Для этого произведём детальный анализ каждого действия в нём.

Обратимся к выражению 9, переписав его в виде

$$S = 0 + 0 + \dots + 0 + \dots \quad (11)$$

Имеем сумму ряда 11, состоящую из бесконечного числа нулей. Частичные суммы этого ряда $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ имеют вид:

$$\begin{aligned} S_1 &= 0 = 1 \cdot 0 \\ S_2 &= 0 + 0 = 2 \cdot 0 \\ S_3 &= 0 + 0 + 0 = 3 \cdot 0 \\ &\dots \\ S_n &= 0 + 0 + \dots + 0 = n \cdot 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Сумма ряда S при известной формуле частичной суммы ряда находится из классического выражения формулы суммы ряда

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} n \cdot 0 = \infty \cdot 0 \quad (13)$$

Как видим, отвеча на вопрос о сумме ряда из бесконечного числа нулей в выражении 13 ещё нет. Для получения окончательного ответа необходимо попытаться раскрыть неопределённость вида $\infty \cdot 0$.

Раскрывая неопределённость по правилу Лопителя, получим:

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{0}{\frac{1}{n}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{0}{-\frac{1}{n^2}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{0}{\frac{2}{n^3}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{0}{-\frac{6}{n^4}} = \dots \quad (14)$$

Выражение 14 показывает, что неопределённость формулы 9 не раскрывается в принципе, а это, в свою очередь, означает, что ответа на вопрос о бесконечной сумме нулей в соответствии с формулой 9 не существует. Этот вывод полностью совпадает с выводом о сумме негруппированного ряда 8. Подчеркнём ещё раз эту почти тривиальную истину, что бесконечная сумма нулей — это неопределённость, а не ноль [1].

Группировка слагаемых ряда 8, начиная со второго члена, даёт последовательность вида

$$S = 1 + 0 + 0 + \dots + 0 + \dots \quad (15)$$

В последнем выражении отсутствует возможность написания общего члена ряда в зависимости от номера слагаемого n . В связи с этим сумма выражения 15 может быть представлена единицей и рядом S_0 в виде

$$S = 1 + S_0, \quad (16)$$

где $S_0 = 0 + 0 + 0 + \dots + 0 + \dots$

Выводы, относящиеся к ряду с суммой S_0 , сформулированы выше. Это означает, что и при

таком порядке группировки слагаемых также не имеется ответа на вопрос о сумме группированного ряда 15.

Таким образом, мы показали, что любая группировка слагаемых ряда $1 - 1 + 1 - 1 + \dots$ не входит в противоречие с ассоциативным законом и не подвергает его сомнению.

Неопределённость пустого ряда 11 можно показать и с помощью формулы суммы арифметической прогрессии $S_n = +a + a + a + \dots + a = n \cdot a$ (при $a \neq 0$ и $n = 0$).

Из этой формулы при помощи предельного перехода можно записать:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n \cdot a}{\frac{n \rightarrow \infty}{a \rightarrow 0}} = \infty \cdot 0$$

Как видно, из формулы суммы арифметической прогрессии получается тот же самый неопределённый результат, говорящий об отсутствии суммы пустого бесконечного ряда вида 11.

Следует, однако, заметить, что примеры с ошибочным толкованием ассоциативного закона, цитируемые в солидных изданиях [3, 4, 5, 6, 9, 10], не способствуют развитию научного знания и запутывают учащихся.

К сказанному можно добавить, что ошибочные предостережения в отношении ассоциативного закона имеют место и на основе других подобных, ошибочно истолкованных примеров, о чём можно прочитать, например, в [5].

Покажем один из подобных примеров. Для этого сначала процитируем его.

«Пример.

Если в ряде

$$1 - \frac{1}{2} + 1 - \frac{5}{6} + \dots + 1 - \frac{n(n+1)-1}{n(n+1)} + \dots \quad (17)$$

объединить попарно соседние члены:

$$\left(1 - \frac{1}{2}\right) + \left(1 - \frac{5}{6}\right) + \dots + \left(1 - \frac{n(n+1)-1}{n(n+1)}\right) + \dots \quad (18)$$

то мы получим ряд

$$\frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{2 \cdot 3} + \dots + \frac{1}{n(n+1)} + \dots \quad (19)$$

сходимость которого была установлена в предыдущем примере.

Однако исходный ряд не сходится, потому что для него, как легко проверить, не соблюдается необходимый признак сходимости ряда: здесь на нечётных местах стоят единицы, так что

$$\lim_{k \rightarrow \infty} u_{2k-1} = 1 \neq 0. \quad (20)$$

В этом доказательстве допущена элементарная ошибка. Общий член ряда 17, как, впрочем, и ряда 18, состоит из двух слагаемых, а именно — единицы

и дроби $\left(1 - \frac{n(n+1)-1}{n(n+1)}\right)$. Это означает, что каждый

u_{2k-1} -й член этого ряда включает в себя два очередных слагаемых, а не одно, как это представляется в [9].

Правильная оценка необходимого признака сходимости ряда 17 выглядит так:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} u_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[1 - \frac{n(n+1)-1}{n(n+1)} \right] = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(-\frac{1}{n(n+1)} \right) = 0$$

Отсюда однозначно видно, что с ассоциативным законом здесь всё в порядке, и сгруппированный ряд сходится так же, как и несгруппированный.

Покажем ещё один пример подобного заблуждения, приведённый в [6].

«Пример. Числовой ряд

$$(1 - 0,9) + (1 - 0,99) + (1 - 0,999) + \dots \quad (21)$$

представляет собой геометрическую прогрессию вида

$$0,1 + 0,01 + 0,001 + \dots \quad (22)$$

которая имеет сумму, равную $\frac{1}{9}$.

Если в 21 открыть скобки, то получим ряд

$$1 - 0,9 + 1 - 0,99 + 1 - 0,999 + \dots \quad (23)$$

который расходится, ибо частичные суммы с чётными номерами имеют предел $\frac{1}{9}$, а с нечётными номерами предел $1\frac{1}{9}$.

Этот пример как бы тоже показывает неприменимость и необратимость ассоциативного закона. В действительности, однако, и здесь имеет место обычное заблуждение.

Покажем это, переписав ряд 21 к виду

$$1 - \frac{10^1 - 1}{10^1} + 1 - \frac{10^2 - 1}{10^2} + 1 - \frac{10^3 - 1}{10^3} + \dots + \left(1 - \frac{10^n - 1}{10^n} \right) + \dots$$

или иначе

$$1 - 1 + \frac{1}{10^1} + 1 - 1 + \frac{1}{10^2} + \dots + \left(1 - 1 + \frac{1}{10^n} \right) + \dots \quad (24)$$

Из выражения общего члена этой прогрессии видно, что фактически прогрессия 21 является суммой двух прогрессий. Одна из них является колеблющимся рядом с амплитудой колебаний 1, а вторая является убывающей прогрессией с первым членом $a = 0,1$ и знаменателем прогрессии $q = 0,1$. Первая прогрессия является расходящейся, а вторая сходящейся с суммой, равной $\frac{1}{9}$. Ряд, полученный суммированием этих двух прогрессий, очевидно, является расходящимся рядом, имеющим неопределённую сумму. Так что ряд 21 и в сгруппированном, и в несгруппированном виде является рядом неопределённым (колебательным). Даже если в ряде 22 слагаемые $(1 - 1)$ заменить нулями, то и это ничего не изменит, поскольку бесконечная сумма нулей – это тоже неопределённый ряд.

Всё сказанное ещё раз показывает, что не существует никаких противоречий в вопросе о применимости ассоциативного закона к любому числовому ряду. Операция группировки слагаемых ряда всегда обратима. Скобки можно ставить и можно убирать без всяких последствий для суммы ряда.

Важнейшие причины заблуждений современной математики в трактовке ассоциативного закона

Можно было бы считать, что ошибочные предпосылки в части ассоциативного закона базируются на заблуждениях авторов [2, 3, 4, 5, 7, 8], если бы эти заблуждения не были узаконены соответствующей теоремой Н.Н. Воробьёва. Рассмотрим эту теорему и покажем её несостоятельность.

В книге «Теория рядов» [5] на стр. 47 приводится § 9 с названием «Дальнейшие свойства рядов». Прочитируем фрагмент из этого параграфа дословно.

«Пусть нам дана некоторая сумма чисел, насчитывающая конечное число слагаемых:

$$u_1 + u_2 + \dots + u_k \quad (2.33)$$

Приписав к этой сумме бесконечный «хвост нулей», мы получим ряд

$$u_1 + u_2 + \dots + u_k + 0 + 0 + \dots + 0 + \dots \quad (2.34)$$

Очевидно, для этого ряда

$$\begin{aligned} S_k &= u_1 + \dots + u_k, \\ S_{k+1} &= S_k + 0 = S_k \\ S_{k+2} &= S_{k+1} + 0 = S_{k+1} = S_k, \\ &\dots \end{aligned}$$

значит,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = S_k.$$

Поэтому ряд 2.34 сходится, и сумма его равна S_k , т.е. сумме 2.33.

На основании сказанного мы можем сделать важное замечание. Всякая сумма является частным случаем сходящегося ряда. Поэтому все утверждения, справедливые для сходящихся рядов, остаются в силе и для конечных сумм.

Несколько более общий факт мы оформим в виде теоремы.

Теорема 1. Присоединим к числу членов некоторого ряда в качестве новых членов произвольное (может быть, бесконечное) количество нулей, разместив их между старыми членами ряда произвольным образом. В этом случае новый ряд будет сходиться тогда и только тогда, когда сходится старый ряд, и сумма нового ряда будет равна сумме старого.

Доказательство. Пусть

$$u_1 + u_2 + \dots + u_n + \dots$$

новый ряд. Для него, как и для всякого ряда,

$$S_{n+1} = S_n + u_{n+1}.$$

Если $u_{n+1} = 0$, то $S_{n+1} = S_n$. Поэтому последовательность частичных сумм нового ряда будет отличаться от последовательности частичных сумм старого ряда лишь повторениями некоторых сумм по несколько раз. Очевидно, повторение членов последовательности не оказывается ни на её сходимости, ни на её пределе, что и доказывает теорему».

Укажем только, в чём состоит главная ошибка Теоремы 1, приведённой автором. Эта ошибка состоит в пренебрежении строгим формальным анализом с выполнением предельного перехода от конечной суммы к бесконечному ряду. Словесные рас-

суждения без строгих формальных математических методов доказательства привели к ошибочному выводу.

Процитируем другие подобного рода примеры заблуждений (см. стр. 11-12 [3]).

«Пример 10. Как было показано, ряд А

$$1 - 1 + 1 - 1 + 1 - 1 + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1}$$

расходится. Рассмотрим ряд В:

$$(1 - 1) + (1 - 1) + (1 - 1) + \dots + (1 - 1) + \dots$$

Если в ряде В опустить (раскрыть) скобки, не производя сложения внутри них, то ряд В превратится в ряд А. В таких случаях принято говорить, что ряд В получен группировкой слагаемых ряда А. Если же сделать сложение внутри скобок ряда В, то получим,

$$\text{что В: } 0 + 0 + 0 + \dots + 0 + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} 0.$$

Все частичные суммы S_k этого ряда равны нулю, следовательно, ряд В сходится и его сумма равна нулю.

Итак, группировка членов ряда может превратить расходящийся ряд в сходящийся. Это утверж-

дение было доказано на примере ряда $\sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1}$, не удовлетворяющего необходимому признаку сходимости, — последовательность $\{(-1)^{n-1}\}$ его членов не является бесконечно малой. Покажем, что группировка членов может превратить расходящийся ряд в сходящийся и в том случае, когда последовательность членов ряда является бесконечно малой.

Пример 11. Ряд А:

$$1 - 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} + \dots + \underbrace{\frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n}}_{n \text{ раз}} -$$

$$- \underbrace{\frac{1}{n} - \frac{1}{n} - \dots - \frac{1}{n} + \frac{1}{n+1} + \dots}_{n \text{ раз}}$$

расходится. Докажем это, пользуясь критерием Коши.

Действительно, для любого натурального N существуют также натуральные числа $n > N$ и p , что

$$a_{n+1} = \frac{1}{p}, a_{n+2} = \frac{1}{p}, \dots, a_{n+p} = \frac{1}{p},$$

следовательно, $\sum_{k=n+1}^{n+p} a_k = 1$. Условие Коши не выполнено, поэтому ряд А расходится.

Рассмотрим ряд В:

$$(1 - 1) + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) + \dots$$

$$\dots + \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{n} + \dots + \frac{1}{n} - \frac{1}{n} - \dots - \frac{1}{n} \right) + \dots,$$

полученный группировкой членов ряда А. Поскольку каждый член ряда В равен нулю, то ряд В сходится и его сумма равна нулю».

В процитированных примерах хорошо видно, что все недоразумения построены на том же самом заблуждении, что бесконечная сумма нулей считается сходящимся рядом с суммой, равной нулю.

Это заблуждение распространено настолько широко, что оно выходит за рамки числовых рядов и столь же широко бытует в функциональных рядах. Процитируем примеры подобного заблуждения при анализе области сходимости функциональных рядов, приведённые, например в [6] в §384 на стр. 558.

«Пример 1. Рассмотрим функциональный ряд

$$1 \cdot x + 1 \cdot 2x^2 + 1 \cdot 2 \cdot 3x^3 + \dots + n!x^n + \dots \quad (1)$$

Члены его суть функции

$$u_1(x) = x, \quad u_2(x) = 2x^2, \quad u_3(x) = 6x^3, \dots, \quad (2)$$

определенные в промежутке $(-\infty, +\infty)$. Но лишь при $x = 0$ ряд (1) сходится, а при любом другом значении x ряд расходится. Действительно, дадим аргументу x какое-либо значение x_0 , не равное нулю. Получим числовой ряд

$$1 \cdot x_0 + 1 \cdot 2x_0^2 + \dots + 1 \cdot 2 \dots n x_0^n + \dots \quad (3)$$

Отношение

$$|u_{n+1} : u_n| = \left| (n+1)!x_0^{n+1} : n!x_0^n \right| = (n+1)|x_0|$$

имеет бесконечный предел при $n \rightarrow \infty$. Стало быть (§ 378), ряд (3) при $x \neq 0$ расходится. Область сходимости состоит из одной точки $x = 0$ ».

Очевидно, что здесь имеет место то же самое заблуждение, при котором бесконечная сумма нулей, полученная из ряда (3) при $x = 0$, считается равной нулю. В действительности же её надо квалифицировать неопределенностью вида $\infty \cdot 0$. В этом же [6] подобного рода заблуждение имеет место и в § 393 на стр. 572 при анализе промежутка и радиуса сходимости степенного ряда.

Оценка современного понимания ассоциативного закона применительно к расходящимся рядам

Известно, что для опровержения математического доказательства любой теоремы достаточно иметь один контрпример, опровергающий теорему. В то же время теорема об ассоциативном законе сопровождается в учебной и научной литературе целым шлейфом контрпримеров со стыдливым умолчанием о том, как же после этого относиться к ассоциативному закону и теореме, доказывающей его.

Признание всех приводившихся контрпримеров должно было автоматически дезавуировать ассоциативный закон как таковой, но, однако, на это в современной математике не имеется даже малейшего намёка. Оно и понятно, поскольку в этом случае рухнула бы весь фундамент арифметики, не говоря уже о других разделах математики.

Произведённое разъяснение несуразности, на которой базировались ложные примеры, позволяет

раз и навсегда закрыть вопрос об отсутствии всеобщности у ассоциативного закона.

Выводы

Подводя итог сказанному, отметим следующее:

1. Ассоциативный закон, вопреки сложившемуся предубеждению, всеобъемлющ и не имеет никаких исключений из правил. Он применим к рядам сходящимся, расходящимся и неопределённым.

2. Первопричиной неверной трактовки применимости ассоциативного закона являлись частные примеры, основанные на заблуждениях, которые возникали из-за отсутствия надлежащего определения понятия ряда, общего члена ряда, а также переносе свойств конечных величин и конечных сумм на бесконечно малые величины и бесконечные суммы.

3. Результаты установленного факта всеобщности ассоциативного закона трудно переоценить. Это, наконец, даёт право без всяких оглядок и оговорок группировать слагаемые в любых рядах любым способом, не опасаясь за эквивалентность группированного и негруппированного рядов.

Библиографический список

1. Алексеева Е.Е. Проблемы и решения в теории рядов/ Е.Е. Алексеева, Е.М. Лушников. — Калининград: ФГУИПП Янтар. сказ, 2004. — 256 с.

2. Виноградова И.А. Задачи и упражнения по математическому анализу. Книга 1 / И.А. Виноградова, С.Н. Олехник, В.А. Садовничий. — М.: Высшая школа, 2002. — 725 с.

3. Виноградова И.А. Задачи и упражнения по математическому анализу. Книга 2 / И.А. Виноградова, С.Н. Олехник, В.А. Садовничий. — М.: Высшая школа, 2002. — 712 с.

4. Власова Е.А. Ряды. Выпуск 9 / Е.А. Власова. — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 612 с.

5. Воробьёв Н.Н. Теория рядов. 6-е издание, стереотипное / Н.Н. Воробьёв. — СПб.: Лань, 2002. — 408 с.

6. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике для вузов. Изд. 14 / М.Я. Выгодский. — М.: Джангар, Большая медведица, 2001. — 863 с.

7. Лузин Н.Н. Интегральное исчисление/Н.Н. Лузин. — М.: Высшая школа, 1961. — 415 с.

8. Никольский С.М. Курс математического анализа. Учебник для вузов. — 6-е изд., стереотип/С.М. Никольский. — М.: Физматлит, 2001. — 592 с.

9. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. Т.2 / Н.С. Пискунов. — М.: Наука, 1970. — 576 с.

10. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 2 / Г.М. Фихтенгольц. — М.: Физматлит, 2001. — 864 с.

АЛЕКСЕЕВА Елена Евгеньевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры высшей математики.

Статья поступила в редакцию 23.04.06 г.

© Алексеева Е. Е.

УДК 372.851

А. В. СЕМКИН

Технический колледж г. Щучинска
(Республика Казахстан)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ В КОЛЛЕДЖЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Рассматривается вопрос необходимости обучения учащихся колледжей технического профиля математическому моделированию, выступающему как средство осуществления профессиональной направленности преподавания математики. Перечислены основные виды моделей и методов математического моделирования, которые могут быть использованы для этого преподавателем.

Практика обучения показывает, что многие учащиеся средних специальных учебных заведений технического профиля, даже имея хорошие математические знания, часто затрудняются применять их при изучении профессионально-технических дисциплин и прохождении производственной практики. Решение данной проблемы многие исследователи видят в усилении профессиональной направленности обучения математике. Под этим принято понимать использование педагогических средств, при которых обеспечивается усвоение учащимися предусмотренных программой знаний, формирование ум-

ний и навыков, и в то же время формируется интерес к выбранной профессии, ценностное отношение к ней, профессиональные качества и знания будущего специалиста. Реализация профессиональной направленности осуществляется по следующим основным направлениям: включение в курс математики дополнительных вопросов и разделов, имеющих ярко выраженный прикладной характер, насыщение курса задачами и упражнениями с «производственной» фабулой, использование межпредметных связей курса математики с дисциплинами профтехцикла, применение внеурочных форм работы. Одна-

ко анализ стандартов, учебных программ, рекомендуемых ими учебных пособий и реализация их на практике выявляют многочисленные трудности осуществления профессионально направленного обучения математике. Они обусловлены отсутствием учебных программ, недостаточным внедрением существующих методических разработок для преподавателей, учебных материалов для студентов, позволяющих вести профессионально направленную подготовку учащихся по ряду специальностей, недостатком учебного времени, слабой базой школьных знаний.

В меньшей степени эти трудности затрагивают применение на уроках математики задач с производственным (практическим) содержанием, которые часто рассматриваются как наиболее приемлемый и действенный инструмент осуществления производимой направленности обучения [1, с. 4]. Но и здесь имеются свои существенные препятствия. Анализ многочисленных сборников задач с производственным содержанием, методических пособий по их решению показывает, что в основной их массе реализация профессиональной направленности осуществляется за счет переноса акцентов с собственно математических методов решения задач на преподнесение некоторых дополнительных «технических» сведений. При этом преподаватель математики вынужден заниматься объяснением материала, знание которого им не проверено никаким экзаменатором. А должен ли он в условиях сильно ограниченного времени замещать преподавателей профтехдисциплин? Ведь межпредметные связи, являющиеся дидактической основой профессионально направленного обучения, как раз и призваны предупреждать дублирование учебного материала. Разбросанность же и поверхностность включаемых в эти сборники общетехнических или профессиональных сведений не позволяет говорить о формировании каких-либо существенных профессиональных знаний. Такой подход только усложняет процесс обучения, снижает внимание к формированию математических знаний и умений, что в конечном счете, как показывает практика обучения, приводит к перегрузке учащихся и недостаточному уровню их математической подготовки.

Итак, решить поставленную в начале статьи проблему не так просто, как может показаться на первый взгляд, ведь изложить саму математику гораздо легче, чем дать представление о ее приложениях [2, с. 5]. По этому поводу Л.Г. Семушкина и Н.Г. Ярошенко [3, с. 106] отмечают, что в процессе обучения учащиеся усваивают основные законы и закономерности, принципы, сформулированные в виде теоретических положений, прямой перенос которых в практическую деятельность невозможен. Вызвано это тем, что между теоретическими положениями и практической деятельностью стоят практические знания. В математике роль таких знаний выполняет математическое моделирование. Обучение учащихся моделированию позволит осуществлять профессиональную направленность преподавания математики не путем попыток формирования у учащихся на уроках математики профессиональных знаний – этим должны заниматься соответствующие специалисты, а обучению математическим методам решения возникающих практических задач через переход к надлежащим подобранным математическим моделям.

Математическое моделирование не обделено вниманием методистов. Существует несколько ва-

риантов его включения в учебный процесс [4, с. 53]. Наиболее оптимальным из них является введение элементов моделирования в курс математики колледжа как содержательной линии. В результате осуществления такого подхода учащиеся должны не только получить представление о сущности формализации и методе моделирования, но и научиться строить и исследовать простейшие, характерные для профессиональной деятельности модели. Это позволит совершенствовать подготовку специалиста уже при изучении математики. Следовательно, выбранный подход является развивающим и деятельностным.

Однако несмотря на понимание важности овладения будущими специалистами технического профиля математическим моделированием, как показывает проведенный нами анализ, методика его обучения используется редко и непоследовательно, и потенциал моделирования в формировании у учащихся умений и навыков, необходимых им в будущей профессиональной деятельности, остается в полной мере неиспользованным. Отчасти это объясняется различным содержанием профтехдисциплин и развитием методов моделирования, их переходом в новые качества, например, в экономико-математическое. Но главным является отсутствие теории такого обучения на соответствующем методическом уровне. В рамках проводимого исследования попытаемся восполнить данный пробел.

Обучение моделированию по совету В.В. Краевского [5, с. 39] необходимо начать с определения чего-то общего, с цели. Целью процесса обучения в среднем профессиональном учебном заведении любого типа, достижению которой должны быть подчинены все предметы, все виды учебных работ, является соответствие выпускника определенной квалификационной характеристике. Предполагаемая универсальность применения результатов нашего исследования для подготовки специалистов технического профиля позволила выделить общность предстоящей им по окончании колледжа профессиональной деятельности. Она заключается в умении

- подготовить и первично обработать техническую, технологическую, экономическую и другую информацию в целях обеспечения инженерных решений;
- обеспечить работоспособность технических и технологических систем и управление ими;
- управлять деятельностью первичных звеньев производства.

Перечисленные виды деятельности весьма разнородны, представляют свои специфические требования и предполагают достаточное время на их освоение. Помочь в этом может применение методов математического моделирования. Так, обучение производственно-управленческой работе может осуществляться как усвоение методов экономико-математического моделирования. При формировании у учащихся производственно-технологических умений необходимо помнить, что специалист со средним техническим образованием имеет дело с узлами, деталями, несложными конструкциями, принципиально сходство между которыми нетрудно заметить в существующих машинах и механизмах. Выделение общего, изучение в этом общем отношении и закономерностей, перенос полученных результатов в новые условия – такое применение математического моделирования как метода познания не только создает основу овладения указанными умениями, но и

способствует формированию профессиональной мобильности и широты профиля специалиста.

Это основано на развитии лежащих в основе технологии процесса моделирования таких интеллектуальных умений и их составляющих, как

- анализ проблемной ситуации;
 - постановка вопроса;
 - нахождение необходимой и отbrasывание лишней информации для решения;
 - выдвижение гипотезы;
 - определение границ поиска решения;
 - перевод проблемы на язык математики;
 - интерпретация решения;
 - произведение дедуктивных и индуктивных умозаключений и т.д.,
- и общих интеллектуальных приемов сравнения, обобщения, анализа и абстрагирования [6, с. 48].

Кроме того, построение математических моделей развивает такие качества ума, как устойчивость и осознанность, что, по мнению В.А. Далингера [7, с. 45-46], происходит при обучении ориентироваться на некоторую совокупность ранее выделенных значительных признаков, несмотря на воздействие признаков случайных и умений выразить в знаково-символьных схемах цель и результат своей деятельности.

Не менее важным при подготовке специалиста является развитие его творческого мышления, связь которого с математическим моделированием проявляется в умении переносить приемы, сформулированные при решении одних задач на другие задачи [8, с. 32]. Да и сам «... переход от реального объекта к его математической модели всегда является эвристическим...» [9, с. 16].

Перейдем к описанию видов моделей, с которыми учащиеся могут быть ознакомлены при реализации намечений линии обучения.

Начнем со статических и динамических моделей курса алгебры, геометрии и начал анализа. При знакомстве с ними необходимо показать учащимся, что связь математики с ее приложениями осуществляется с помощью математических объектов (моделей): геометрических фигур, уравнений, функций и т.п., исследование которых должно дать ответ на поставленный неформальный вопрос. Схематически каждый акт приложения математики сводится к построению математической модели, ее исследованию при помощи подходящего математического аппарата и интерпретации полученного результата. Эта процедура требует сочетания неформального мышления с формальным и потому обычно вызывает затруднения у учащихся. Необходимо заметить, что формализация или создание математической модели знакомы учащимся еще с начальной школы по решению текстовых задач на составление уравнений. Выбор модели при решении практической задачи диктуется рядом факторов: требуемой точностью, здравым смыслом, опытом математизации задач, в большой мере — интуицией, по мнению еще А. Пуанкаре [10, с. 464], заполняющей пропасть, отделяющую символы от реального мира. Конечно, математизация практической задачи заметно облегчается, если при ее решении учащиеся опираются на свой трудовой опыт или видят объект, модель которого им предстоит построить. Предлагаемые задачи с практическим содержанием, на которых предстоит обучение моделированию, должны иметь гла-венствующее математическое содержание, математическую сущность. Желательно присутствие в них

— отражения реальной производственной ситуации;

— реальных числовых данных условия и предполагаемого решения;

— пояснений встречающихся профессиональных терминов;

— в начальном условии формул и законов обще-технических и специальных дисциплин, если они применяются в решении.

К сожалению, применение моделей часто ограничено решением задач с практическим содержанием. Изложение же нового материала в колледже не отличается от предлагаемого в средней школе. Такой подход сознательно отрывает теорию от практики, затрудняет поиск материала изучаемой дисциплины, применяемого в профессиональной деятельности. Это особенно проявляется при изучении геометрии. Так, после объяснения темы «Конус, усеченный конус» у учащихся в памяти остается некий шпиль, имеющий применение разве что в строительстве. Между тем в машиностроении многие детали получены обработкой на токарных станках и имеют сочетание цилиндрической и конической форм. Значит, целесообразно представить конус не как отвлеченное от техники понятие, а как математическую модель, описывающую определенное множество деталей. Соответственно, эта модель, рассматриваемая на уроках математики при подготовке специалистов технического профиля, должна отражать характеристики деталей, необходимые в машиностроении, такие как конусность и уклон, которые не изучаются в общеобразовательном курсе математики, но будут необходимы учащимся при прохождении специальностей и токарной практики.

Остается добавить, что любой цилиндр, как модель детали, существует лишь с определенным допуском точности его оснований — иначе он превращается в конус (в технике под конусом понимают как полные, так и усеченные конусы). Осознание этого факта имеет большое значение для развития технического мышления будущих специалистов. Наш опыт показывает, что практически все учащиеся после знакомства на уроках математики с конусом как математической моделью деталей во время прохождения токарной практики осознанно и успешно производят вычислительные операции при обработке конических поверхностей [11].

Рассмотренные нами модели лишь описывают объекты или процессы. В тех случаях, когда процессом необходимо управлять — принимать те или иные решения, этих моделей оказывается недостаточно. На помощь приходят оптимизационные модели. Среди них можно выделить модели и методы линейного программирования, как наиболее простые в изучении и применимые на практике. Аппарат линейного программирования позволяет решать несложные задачи рационального использования имеющихся ресурсов, что способствует становлению экономического мышления учащихся, необходимого им как будущим руководителям среднего звена производства. В этом качестве они должны уметь планировать работу несложных экономических объектов. Некоторые умения, необходимые для этого, можно приобрести и при построении моделей сетевого планирования. Эти модели позволяют найти рациональный план проведения сложного комплекса взаимно обусловленных работ. Взаимная обусловленность вызвана тем, что приступить к определенным работам нельзя раньше, чем будут завершены некоторые другие. Применение сетевых моделей позволяет

определить минимальные временные рамки выполнения всего комплекса работ и не выходить за них, используя при необходимости временные ресурсы, содержащиеся в некритических работах.

Оптимизационные модели описывали ситуации, в которых не существует сил, противодействующих лицу, принимающему решение. Между тем в производственной деятельности встречаются конфликтные ситуации, когда участники имеют не совпадающие между собой интересы. Математические модели, описывающие эти ситуации и помогающие найти выходы из них, предполагающие наименьшие потери для участвующих сторон, получили название игровых. Бессспорно, умение грамотно разрешать конфликтные ситуации, основанное на математическом расчете, – качество, без которого нельзя представить себе хорошего руководителя, однако в колледжах формированию этого качества не уделяется достаточного внимания. Обучение учащихся на уроках математики созданию и исследованию игровых моделей позволяет восполнить это упущение.

Среди игровых моделей выделяют те, в которых участнику предлагается принять решение в условиях неопределенности. Примером может служить так называемая игра с природой, состоящие которой мы можем лишь прогнозировать с некоторой вероятностью. Изучение моделей игр с природой позволяет развить такие качества интеллекта, как умение анализировать проблемные ситуации в условиях неопределенности, овладение искусством расчетливого риска, основанного на использовании аппарата теории вероятностей и математической статистики. Эти качества объединяются в рисковом характере мышления.

Обучение перечисленным методам моделирования из-за ограниченности времени, отводимого на изучение математики в колледже, возможно проводить на факультативных занятиях.

Необходимо заметить, что полный процесс математического моделирования включает в себя обработку полученных результатов на ЭВМ. В подготовке специалиста это умение играет немаловажную роль. Однако такое обучение математическому моделированию потребует от преподавателя математики системного ознакомления учащихся с элементами программирования и работы с существующими прикладными программами, что не входит в учебный план предмета математики. Выход может быть найден как осуществление интеграции на основе моделирования курсов математики и информатики. Такое исследование, проведенное в колледже технического профиля, будет являться продолжением и развитием нашей работы.

В заключение необходимо заметить, что выбранный подход обучения, формируя необходимые специалисту качества, нисколько не ущемляет формирования у учащихся собственно математических знаний и умений, способствует их систематизации и повышению прочности. Все это позволяет сказать,

что введение моделирования в курс математики колледжа технического профиля в качестве содержательно-методической линии способствует осуществлению профессионально направленного обучения, что является одним из важнейших факторов оптимизации учебного процесса и позволяет совершенствовать профессиональную подготовку выпускника средствами математики.

Библиографический список

1. Лисинчук Н.И. Задачи по математике для машинистов кранов: Методическое пособие/Н.И. Лисинчук, В.Л. Пискунова, Г.Н. Цыбульская. – К.: Выща школа, 1990. – 104 с.
2. Лайтхилл Дж. Новые области применения математики/ Дж. Лайтхилл, Р.У. Хюорис, С.Х. Холлингдейл; Под ред. Дж. Лайтхилла; Пер. с англ. А.Ф. Якубова. – Мин.: Вышешшая школа, 1981. – 494 с.
3. Семушкина Л.Г. Содержание и технологии обучения в средних специальных учебных заведениях: Учеб. пособие для преп. учреждений сред. проф. образования / Л.Г. Семушкина, Н.Г. Ярошенко. – М.: Мастерство, 2001. – 272 с.
4. Кийко П.В. Математическое моделирование как системообразующий фактор в реализации межпредметных связей математики и специальности в обучении будущих экономистов: дис. ... канд. пед. наук / П.В. Кийко. – Омск, 2006. – 167 с.
5. Скаткин М.Н. Содержание общего среднего образования. Проблемы и перспективы/ М.Н. Скаткин, В.В. Краевский. – М.: Знание, 1981. – 96 с.
6. Бурмистрова Н.А. Моделирование экономических процессов как средство интегративной функции курса математики / Н.А. Бурмистрова. //Среднее профессиональное образование. – 2002. – № 4. – С. 48-50.
7. Далингер В.А. Самостоятельная деятельность учащихся и ее активизация при обучении математике: Учебное пособие / В.А. Далингер. – Омск: Изд-во ОмИПКРО, 1993. – 156 с.
8. Бурмистрова Н.А. Обучение студентов моделированию экономических процессов при реализации интегративной функции курса математики в финансовом колледже: дис. ... канд. пед. наук / Н.А.Бурмистрова. – Омск. 2001. – 149 с.
9. Садовский Л.Е. Математика и спорт / Л.Е. Садовский, А.Л. Садовский. – М.: Наука, 1985. – 192 с.
10. Пуанкере А. О науке: Пер. с фр. – 2-е изд., стер. / А. Пуанкере; Под ред. Л.С. Понtryгина. – М.: Наука, Гл. ред. Физ.-мат. мет., 1990. – 736 с.
11. Семкин А.В. Осуществление профессиональной направленности обучения математике / А.В. Семкин //Профессионал Казахстана. – 2005. – № 9. – С. 38-39.

СЕМКИН Александр Владимирович, преподаватель математики Технического колледжа г. Щучинска, соискатель кафедры математики Кокшетауского государственного университета им. Ш. Уалиханова, научный руководитель – доктор педагогических наук, профессор К.Г. Кожабаев.

Статья поступила в редакцию 20.11.06 г.
© Семкин А. В.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОММУНИКАТИВНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ У СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА ПОСРЕДСТВОМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

На основании проведённых исследований установлена степень влияния составляющих компонентов коммуникативной компетентности на её формирование и выявлены педагогические условия.

В современных экономических условиях среди молодёжи всё более престижным становится получение качественного образования. От того, насколько высок уровень профессионализма молодого специалиста, зависит его будущее: выбор места работы, материальное благосостояние, положение в обществе, самореализация в жизни. Подготовка современного специалиста должна включать не только передачу знаний и навыков, полученных в прошлом, но также и умение создавать будущее. Соответственно, подготовка будущего специалиста требует перехода к формированию у студентов стойких творческих, исследовательских навыков, умения решать проблемы, то есть формированию компетентности. Поэтому проблемы, связанные с качеством образования, по-прежнему привлекают внимание педагогов-исследователей.

Концепция модернизации российского образования на период до 2010 года определила необходимость нового качества образования как важнейшую задачу образовательной политики XXI века. Развитие системы подготовки специалистов представлено как задача, решение которой определяет инновационную деятельность нашего общества в области экономического и научно-технического сотрудничества.

Прежняя схема образования уже не отвечает социальному заказу общества, которому нужны специалисты, не просто знающие, что и как нужно делать, но и умеющие применять свои знания на практике. Однако в результате традиционной парадигмы образования выпускник «может знать всё, но ничего не уметь делать». Таким образом, акцентировалась проблема формирования компетентностей современного специалиста, которые и обеспечивают связь между знанием и ситуацией. Как результат возникла необходимость разработки новых подходов к образованию современных специалистов, которые должны включать два аспекта: «приобретение знаний, поскольку сами знания без определённых навыков и условий их использования не решают проблему образования человека» [1].

Качество образования будущих специалистов – «умение образовательных учреждений осуществить подготовку специалистов на основе адаптивных программ, в основу которых положено формирование надпрофессиональных компетентностей, что позво-

ляет специалистам быть конкурентоспособными на рынке рабочей силы, эффективно решать через умение профессионального общения управленческие, интеллектуальные и творческие задачи» [2]. Качество подготовки будущих специалистов можно определить как процесс, направленный на удовлетворение социальных потребностей в формировании и развитии личности в аспектах её обученности, воспитанности, выраженности социальных и психических свойств [3]. Коммуникативную компетентность мы рассматриваем исходя из приведённого выше определения как одну из возможностей «формирования и развития личности в аспектах её обученности, воспитанности, выраженности социальных и психических свойств. А под коммуникативной компетентностью мы понимаем ситуативную адаптивность и свободное владение вербальными и невербальными средствами социального поведения» [4].

Современная концепция высшего профессионального образования предполагает также и то, что каждый выпускник вуза, в частности технического, является потенциальным специалистом-руководителем, для которого важно обладать не только профессиональной компетентностью, но и уметь грамотно общаться с коллегами и партнёрами (коммуникативная компетентность). Поэтому необходимо рассмотреть педагогические условия формирования коммуникативной компетентности у студентов технического вуза:

1. Использование упражнений по значимости влияния составляющих компонентов.

Наиболее важными составляющими коммуникативной компетентности являются:

- а) уровень развития коммуникабельности;
- б) логичность изложения информации;
- в) владение нормами языка.

Значимость влияния составляющих компонентов была определена математически, посредством корреляционной матрицы. Эксперимент проводился в начале и в конце года (табл. 1 и табл. 2). Корреляционная матрица показывает, что наиболее сильно влияет уровень развития коммуникабельности – 0,71; затем идёт логичность изложения информации – 0,64; коэффициент владения нормами языка составляет лишь 0,59.

Таблица 1
Корреляционная матрица № 1 (начало года)

	Var1	Var2	Var3	Var4
Var1	1,00	0,17	0,23	0,71
Var2	0,17	1,00	0,27	0,64
Var3	0,23	0,27	1,00	0,59
Var4	0,71	0,64	0,59	1,00

Таблица 2
Корреляционная матрица № 1 (конец года)

	Var1	Var2	Var3	Var4
Var1	1,00	0,22	0,20	0,74
Var2	0,22	1,00	0,29	0,66
Var3	0,20	0,29	1,00	0,61
Var4	0,74	0,66	0,61	1,00

Var1 – уровень развития коммуникабельности;

Var2 – логичность изложения информации;

Var3 – владение нормами языка;

Var4 – коммуникативная компетентность.

Если сравнить две матрицы, то можно увидеть, что колебание максимум составляет 0,05, а значит, можно утверждать, что степень влияния составляющих компонентов остаётся одинаковой как в начале, так и в конце года.

Так как уровень развития коммуникабельности наиболее сильно влияет на формирование коммуникативной компетентности, то наибольшее количество упражнений и должно даваться на развитие этой составляющей. Это могут быть ролевые игры на вскрытие мотива с использованием открытых и закрытых вопросов, упражнения на развитие невербальных и парalingвистических средств общения, техники регуляции эмоционального напряжения и т. д.

Логичность изложения информации развивают такие упражнения, как аннотирование и рефериование. Им отводится меньше времени, чем на развитие первой составляющей.

Владение нормами языка подразумевает использование грамматических упражнений.

2. Сочетание автоматизированной обучающей системы с традиционными методами обучения.

Автоматизированная обучающая система (АОС) – это взаимосвязанный на базе ПК комплекс учебно-методического, информационно-лингвистического, программного и технического обеспечения, позволяющий сформировать те или иные навыки, умение, компетентности. Но сформировать коммуникативную компетентность, учитывая три вышеперечисленные её составляющие, только посредством АОС невозможно. Развивать первую составляющую – коммуникабельность – возможно только при непосредственном общении человека с человеком, а выполнять упражнения на развитие второй и третьей составляющей коммуникативной компетентности вполне возможно на компьютере. В данном случае АОС позволяет студенту работать в обучающем, контролирующем, консультирующем и подсказывающем режимах.

3. Обеспечение индивидуального подхода посредством АОС.

Преподаватель, работая с группой, ориентируется на средний уровень группы, в то время как про-

грамма АОС имитирует деятельность добросовестного и терпеливого репетитора, а значит, обеспечивает индивидуальный подход к студенту. В начале работы на экране монитора высвечиваются основные правила, после ознакомления с которыми студенты приступают к выполнению практических упражнений. В программе предусмотрены упражнения разных уровней сложности. Студенты имеют возможность самостоятельно при помощи меню выбрать уровень сложности задания.

Студенту предлагается выбор:

1. Выполнять задание самостоятельно под контролем и с подсказками машины.
2. Просить машину объяснить выполнение задания.

Все ошибки студента программа запоминает и после выполнения задания оценивает его умение.

Подводя итог, мы можем сказать, что вышеперечисленные педагогические условия были реализованы при изучении предмета «Иностранный язык» и оказывают эффективное влияние на процесс формирования коммуникативной компетентности студентов технического вуза.

Библиографический список

1. Валеева Н.Ш. Теория и практика дополнительной профессиональной подготовки студентов в техническом вузе: Автореф. дис. ...д-ра пед. наук / Н.Ш. Валеева. – Казань, 1998. – 48 с.
2. Головаха Е.И. Психология человеческого взаимопонимания / Е.И. Головаха, Н.В. Панина. – Киев: Политиздат Украины, 1989. – 127 с.
3. Гузеев В.В. Педагогическая техника в контексте образовательной технологии / В.В. Гузеев. – М.: Мысль, 2001. – 63 с.
4. Емельянов Ю.Н. Обучение паритетному диалогу / Ю.Н. Емельянов. – Л.: ЛГУ, 1991. – 59 с.

АЛЕКСАНДРОВА Елена Александровна, преподаватель.

Статья поступила в редакцию 28.11.06 г.

© Александрова Е. А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ ДЛЯ СТИМУЛИРОВАНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ИНТЕРЕСА СТУДЕНТОВ

Компьютерные игры, согласно проведенному исследованию, вызывают усиленный познавательный интерес учащихся, в то время как интерес к занятиям информатикой имеет минимальный уровень. Для его стимулирования компьютерные игры были внедрены в процесс обучения. Полученные данные доказывают, что компьютерные игры могут являться и являются средством стимулирования познавательного интереса студентов к практическим занятиям информатикой.

Ни одна сфера жизнедеятельности человека не растет и не развивается в таких масштабах, как компьютерная. Виртуальная жизнь увлекает людей с невероятной скоростью, отвлекая от реальности. Одним из средств приобщения людей к виртуальному миру являются компьютерные игры. В связи с этим возникают несоответствия между широчайшим распространением компьютерных игр как средства развлечения, проведения свободного времени и неиспользуемыми педагогическими возможностями, которые они представляют для развития различных потенциалов личности за счет стимулирования познавательного интереса.

Стимулирование познавательного интереса – это внешнее научно обоснованное целенаправленное воздействие или влияние, которое порождает адекватное внутреннее состояние активности в виде потребности или интереса.

Многие исследователи и практики давно поняли, что компьютерные игры по сравнению с другими средствами имеют ряд преимуществ именно потому, что основаны на одной из древнейших потребностей человека – потребности играть.

Под понятием «компьютерная игра» мы понимаем форму интерактивного развивающе-развлекательного взаимодействия пользователя и компьютера, имитирующую в виртуальном пространстве жизненные и воображаемые ситуации, имеющую значительный нераскрытый и неиспользуемый образовательный потенциал, который заключается в стимулировании познавательного интереса. Компьютерные игры стимулируют у студентов познавательный интерес к практическим занятиям информатикой. Они вызывают желание увеличить скорость работы, полностью овладеть программным обеспечением, прививают студентам самостоятельность в работе. Компьютерные игры на занятиях повышают интерес учащихся к предмету благодаря агонистики – принципу состязательности с целью достижения наилучшего результата, побуждают к самостоятельной работе и к постоянному поиску чего-то нового, таким образом повышая эффективность обучения. Обучаясь в игре, человек знает окружающую действительность, фантазирует, у него появляется возможность раскрыться и выразиться творчески. Общаясь с объектами реальности

и их моделями, студенты не только знакомятся с основами логики и теории алгоритмов, но и закрепляют эти познания в виде учебных действий. Компьютерные игры делятся на: традиционные, головоломки, аркадные, симуляторы, приключения, стратегии, стрелялки и ролевые.

Множество педагогов и родителей негативно оценивают компьютерные игры, хотя все возрастающее число исследователей считают, что для стимулирования познавательного интереса обучаемых важно применение компьютерных игр. По их мнению, именно при реализации таких игр дидактические возможности компьютера могут быть раскрыты наиболее полно.

Результаты анализа научных исследований и практики позволяют сделать вывод о том, что у студентов в педагогическом вузе познавательный интерес к практическим занятиям информатикой пока не появляется самопроизвольно. Понятие «познавательный интерес к практическим занятиям информатикой» можно трактовать как устойчивую, предметную, избирательную направленность личности, обращенную к познанию компьютерных технологий, к их предметной стороне, самому процессу овладения знаниями, умениями, навыками обращения с компьютерами, базирующуюся на осмысленной потребности в расширении образовательных возможностей человека.

Проведение беседы показало высокий интерес студентов к компьютерным играм. Обучаемые осознавали их необходимость и имели желание с помощью компьютерных игр добиться больших результатов в изучении информатики. Был выявлен низкий уровень интереса у студентов к практическим занятиям информатикой, особенно у обучаемых, получающих специальность, не связанную с информатикой. Они понимали необходимость применения компьютерных игр для успешного решения проблем, возникающих как в профессиональной деятельности, так и в повседневной жизни.

Кроме того, было проведено анкетирование преподавателей с целью выявления их мнения по проведению практических занятий информатикой с использованием компьютерных игр. Анкета включала следующие вопросы:

- 1) Какое место, по-вашему, следует отводить компьютерным играм при обучении информатике?
- 2) Что дает использование компьютерных игр на занятиях информатикой?
- 3) Часто ли вы сами используете компьютерные игры на занятиях информатикой? Приведите примеры.
- 4) На каких курсах применение компьютерных игр, на ваш взгляд, наиболее эффективно?

Преподаватели с большим интересом помогали в опытно-поисковой работе, отвечали на вопросы, высказывали свое мнение и предлагали оригинальные подходы к внедрению компьютерных игр в процесс обучения информатике. Несмотря на то, что компьютерные игры используются некоторыми преподавателями, они не нашли широкого применения в практике работы педагогического института. Большинство преподавателей не используют компьютерные игры совсем. Одна из причин этого, как указывают сами педагоги, заключается в неразработанности методики проведения таких занятий и нехватке необходимых обучающих компьютерных игр. Таким образом, мы видим, что использованию компьютерных игр на занятиях информатикой со стороны преподавателей не уделяется достаточного внимания. Это не говорит о нежелании педагогов внедрять данный вид игр на занятиях. Проблема в создании методики обучения студентов и создании технологии применения компьютерных игр на занятиях, в том числе и на информатике.

В дальнейшем мы использовали компьютерные игры в процессе обучения информатике, для этого были разработаны специальные задания с использованием элементов игры, а также приобретена обучающая компьютерная игра жанра квест «Информатикус».

В процессе обучения были сформированы три группы студентов – две опытно-поисковые (ОПГ1 и ОПГ2), в которых обучение информатике велось с применением обычных компьютерных игр и специальной обучающей игры «Информатикус», и контрольная (КГ), где применялись традиционные методы обучения информатике в соответствии с Госстандартом. Перед началом опытно-поисковой работы со всеми тремя группами был проведен тест, определяющий отношение студентов к игре, в том числе и к компьютерной, а также тест, показывающий заинтересованность будущих учителей в изучении предмета информатика. Результаты теста показали, что в задании распределить изучаемые предметы в следующем порядке информатику поставили на одно из трех первых мест: в ОПГ1 – 14,7%, в ОПГ2 – 13,3%, в КГ – 16,7%, на последующие места в ОПГ1 – 67,5%, в ОПГ2 – 66,7%, в КГ – 66,7%. По первому же вопросу данного теста стало понятно, что информатика интересует в среднем около 15% студентов, оставшаяся часть учащихся совсем не упомянули информатику, что показало необходимость стимулирования познавательного интереса будущих учителей к занятиям информатикой. Переломным моментом стал вопрос: часто ли на занятиях педагоги используют игры? Все три подгруппы ответили почти одинаково: используют часто ОПГ1 – 0%, ОПГ2 – 0%, КГ – 0%; используют иногда ОПГ1 – 28%, ОПГ2 – 32,3%, КГ – 30%, не используют ОПГ1 – 72%, ОПГ2 – 67,7% и КГ – 70%. На вопрос, увлекают ли тебя на занятиях а) решение типичных задач, б) интересные задания, отличающиеся от шаблонных, в) игровые задания, все три подгруппы выбрали третий вариант. Исходя из этого, мы решили отталкиваться не от того, что обычно

предлагает преподаватель, а от того, что хотят студенты. Совместив умение педагога в проведении занятий и желания студентов, мы попытались не отклоняться от рабочей программы внедрить в процесс обучения компьютерные игры.

В течение двенадцати занятий одна подгруппа обучалась информатике по традиционной форме, в соответствии с государственным стандартом, две другие занимались на основе компьютерных игр. Первая опытно-поисковая группа начинала с простейших игр. Под руководством преподавателя компьютерные игры вводились постепенно, начиная с традиционных, аркадных, головоломок и завершая ролевой игрой. Студенты изучали игру, пытались понять смысл, содержание и правила, затем играли и по завершении описывали в анкете полученные навыки. После нескольких занятий мы подводили итоги и обсуждали результаты всей группой. Согласно анкетам будущие учителя считали, что с помощью игр они получили не только массу удовольствия при изучении информатики, но и огромный опыт по установке игры, изучению данных программ и развитию таких навыков, как логическое мышление, зрительная память, скорость печати, умение пользоваться панелями инструментов, меню и т. д. После простейших головоломок мы перешли к аркадным играм, приключениям, стратегиям. Студенты отмечали, что игры типа стратегий помогли им научиться ориентироваться в пространстве, располагать здания и дороги на оптимальном расстоянии, сохранять пропорции города, а также экономически мыслить, предпринимать шаги в зависимости от заключенных сделок. В игре приходилось обдумывать количество продаж ресурсов города так, чтобы импорт не превышал экспорт. Студенты оперировали такими экономическими понятиями, как товарооборот, налогообложение, спрос и предложение рынка. Переход на новую игру шел согласно разработанным нами уровням познавательного интереса к практическим занятиям информатикой. Соотношение уровней познавательного интереса и деятельности преподавателя представлено в таблице 1.

Вторая опытно-поисковая группа изучала компьютерную игру «Информатикус». Игра в жанре «квест» содержит более 30 различных задач и головоломок по информатике, более 200 энциклопедических статей и 20 тестов по информатике, множество интерактивных моделей и мини-игр. Чтобы преодолеть возникающие трудности, необходимо изучить такие области информатики, как системы счисления, графы, криптография и т.д. Игра учит программировать робота и передавать сообщения с помощью азбуки Морзе, знакомит с принципами хранения и передачи информации. В удобном интерактивном справочнике находятся подсказки ко всем головоломкам, которые предстоит решить. Данная компьютерная игра вызвала огромный интерес у студентов, они обсуждали решения и советовались друг с другом о способах решения головоломок. Они вспоминали теоретический материал и пытались применить его на практике. Студенты оставались после занятий для нахождения новых вариантов решения и способов прохождения уровней игры. Все задания нестандартны и привлекают красивым интерфейсом. У каждого учащегося был свой оригинальный способ достижения победы в каждом уровне. Игра привлекала смыслом, каждый из студентов чувствовал себя детективом, расследующим странный водоворот событий и изобличение преступника, совершившего обвал в древнем храме. Студенты очутились в мире

Таблица 1

Уровни познавательного интереса к практическим занятиям информатикой

Уровни	Интерес к информатике	Наличие знаний, умений и навыков работы с компьютером	Роль компьютерных игр	Действия учащихся	Роль педагога, педагогические рекомендации
Исходный	Отсутствует.	Знания минимальны, умений и навыков пока нет.	Компьютерные игры на данном этапе не вводятся в процесс обучения.	В конце уровня появляется умение правильного включения и выключения компьютера.	Педагог должен проводить контрольно-оценочное стимулирование работы студентов, должен увлечь их и объяснить необходимость изучения информатики.
Первоначальный	Появляется интерес к информатике как средству овладения игрой. С каждым новым выигрышем познавательный интерес увеличивается, появляется потребность в более сложных уровнях. Появление любопытства.	Появляется умение работы мышью, клавиатурой, ориентация на игровом поле, развивается позиционное мышление, способность просматривать ходы и возможные варианты достижения победного окончания игры.	На данном этапе желательно применять простейшие игры (традиционные, головоломки).	Учащиеся владеют компьютером, основными клавишами, привыкают к интерфейсу программы, пробуют простейшие действия (работа с мышью, на клавиатуре).	Чтобы интерес не был потерян, педагог должен помочь студенту перейти на следующий уровень.
Динамичный	Появляется интерес к скорости и динамичности в игре.	Умения преобразуются в навыки. Приращения знаний пока нет.	На данном уровне используются быстрые динамичные игры (аркадные игры, имитаторы, приключения).	Увеличивается скорость игры, но нет интереса к завершению игры, нет определенной цели. Работа на клавиатуре не вызывает сложностей. Внимание студентов переключается на быстроту в движении, ускоряется реакция.	Роль педагога заинтересовать учащихся, объяснить, что скорость нужна не для каждой игры, и плавно перевести интерес с динамичности на содержание игры.
Содержательный	У студента появляется интерес к содержанию игры для достижения победы в игре. Развивается любознательность.	Устойчивый интерес к возможностям программного обеспечения.	Можно вводить более сложные игры, имеющие сюжет (стратегии, стрелялки).	Студент интересуется результатом игры и средствами для достижения цели, изучает замысел игры, выполняет необходимые действия для окончания игры. Он продумывает выбор тех или иных предметов, вещей, которые, возможно, понадобятся на следующих уровнях компьютерной игры. Выбирает ход движения, путь героя, рассматривает варианты более простого и быстрого окончания игры. Логически продумывает вероятность каких-либо событий, чтобы исход оказался благоприятным. Умственная деятельность сосредоточена на содержании игры.	Показать, что игра составляется программистами, и каждый из студентов может сам запрограммировать игру, усилить интерес к интерфейсу игры, и предложить студентам разработать свой интерфейс.
Активный	Студент сознательно занимается информатикой. Повышается познавательный интерес при каждом переходе на новый уровень игры.	Развиваются умения и навыки планировать и рационально строить свои действия, правильно отбирать и организовывать данные.	Можно для обучения применять ролевые компьютерные игры с усовершенствованием героя и добавлением ему улучшенных качеств.	Студенты самоорганизуются, легко ориентируются в пространстве, имеют свободу выбора движения героя. Главное для студента не сама игра, а возможность самостоятельного создания похожей программы с индивидуальными предпочтениями каждого игрока.	Педагог уходит от постоянного контроля к перспективному планированию совместной деятельности, дает редкие замечания и рекомендации, студенты самостоятельно занимаются информатикой.

заброшенных городов, древних монастырей, великих загадок прошлого и настоящего, которые создавали ореол таинственности и избранности.

Нами было замечено, что у студентов, занимающихся информатикой с помощью компьютерных

игр, усилился познавательный интерес к предмету информатика. Подгруппа, занимавшаяся по традиционной методике, неохотно шла на занятия. Подгруппы, занимавшиеся изучением информатики с элементами компьютерных игр, всегда присутство-

Таблица 2

%-ное соотношение	а	в	с	д	е	Н	І
ОПГ1	16,67	22,22	44,44	0,00	16,67	100,00	1,54
ОПГ2	11,76	29,41	47,06	0,00	11,76	100,00	1,56
КГ	12,50	18,75	56,25	0,00	12,50	100,00	1,37

Таблица 3

%-ное соотношение	а	в	с	д	е	Н	І
ОПГ1	33,33	50,00	16,67	0,00	0,00	100,00	3,24
ОПГ2	47,06	52,94	0,00	0,00	0,00	100,00	4,33
КГ	18,75	25,00	43,75	0,00	12,50	100,00	1,95

вала почти в полном составе. Студенты данных подгрупп часто подходили к преподавателю с интересующими их вопросами. Необходимо заметить, что будущие учителя отнеслись серьезно к такому обучению, их интересовала не сама игра, а знания, получаемые с ее помощью. При использовании игр студенты научились работать с архивами, с установкой программ, разрабатывать красочные интерфейсы своих проектов по информационным технологиям. Также было отмечено, что англоязычное меню компьютерных игр заинтересовало студентов, что привело к усилению познавательного интереса к изучению иностранного языка.

На начальном этапе опытно-поисковой работы был определен индекс активности студентов. Вычисление индекса активности было связано с тем, что познавательный интерес является устойчивой чертой личности студента, и он определяет активность учащегося в учении, его инициативу в постановке познавательных целей, т.е. в интересной для студента деятельности – он всегда активен и инициативен.

Вычисление индекса активности производилось по следующей формуле: $I = (a + 0,5 \cdot b - 0,5 \cdot c - d + 0 \cdot e) / N$, где I – общий индекс активности, a – число максимально активных испытуемых, b – активные учащиеся, c – неактивные, d – неактивные всегда, e – неопределенные, безразличные, N – общее число испытуемых.

Как видно из таблицы 2, индекс активности в опытно-поисковых и контрольной группах в начале работы почти одинаков. Приведем процентное соотношение.

После опытно-поисковой работы студентам всех подгрупп было предложено эвристическое опережающее задание, которое, по нашему мнению, наиболее полно показало знания и умения, приобретенные на занятиях информатикой. Задание заключалось в следующем: необходимо было установить и научиться работать в программе FrontPage. Данная программа ранее не изучалась, и студентам необходимо было применить все свои умения на практике. В итоге самостоятельно справились с заданием только студенты опытно-поисковых подгрупп, особые способности показывали учащиеся второй подгруппы, занимающиеся с помощью обучающей игры «Информатикус». После установки программы они просматривали меню, читали справку и пробовали использовать интересующие их инструменты FrontPage. Поиск новых сведений усиливал познавательный интерес к данной программе, и в итоге каждый показал отличные результаты по созданию Web-страничек. Обучаемые контрольной подгруппы уже при формулировке задания потеряли интерес и счи-

тали это задание слишком сложным, они не пытались самостоятельно разбираться и требовали помощи от преподавателя. Даваемые им ранее лабораторные работы заранее содержали в себе подсказки для более легкого усвоения материала и не развивали логическое мышление.

Опережающий контроль показал следующие результаты, представленные в таблице 3. Как видно из таблицы 3, в опытно-поисковых группах, где проводились занятия по информатике с использованием компьютерных игр, наблюдается более быстрый рост индекса активности, чем в контрольной группе, где обучение проводилось традиционно.

Сравнительный анализ начального и итогового срезов показал, что:

1) число максимально активных увеличилось на 16,67% в ОПГ1, на 35,29% в ОПГ2, а в КГ лишь на 6,25%;

2) коэффициент b , т.е. число активных студентов, в ОПГ1 увеличился на 27,78%, в ОПГ2 на 23,53%, а в КГ лишь на 6,25%;

3) число неактивных учащихся, т.е. с, в ОПГ1 уменьшилось на 27,78%, в ОПГ2 на 47,06%, а в КГ лишь на 12,5%;

4) число безразличных студентов, коэффициент e , уменьшился на 16,68% в ОПГ1, в ОПГ2 на 11,76%, а в КГ остался без изменений.

Мы видим, что в опытно-поисковых группах перемещения значительнее, особенно во второй, где на занятиях применялась специальная обучающая компьютерная игра по информатике. Следовательно, использование компьютерных игр в большей степени способствовало стимулированию познавательного интереса к практическим занятиям информатикой. Таким образом, количественный анализ показал, что и в опытно-поисковых, и в контрольной группе наблюдается переход обучаемых в группы с более высокой активностью. При этом рост активности в опытно-поисковых группах значительно опережает изменения в контрольной группе.

Таким образом, анализ результатов исследования показал, что компьютерные игры могут являться и являются средством стимулирования познавательного интереса студентов к практическим занятиям информатикой, что было проверено с помощью статистической обработки результатов эвристических опережающих заданий и тестов.

КАТКОВА Алла Леонидовна, ассистент кафедры прикладной математики.

Статья поступила в редакцию 02.12.06 г.

© Каткова А. Л.

Contents

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCE

N. V. Ostrovskiy. The affect of Moon and Sun to the gravitational field on the surface of the rigid Earth	5
E. A. Altman. The optimization of computational scheme of fast Fourier transformation	9
A. T. Kogut, N. Y. Bezborodova. Calculation of accuracy and indices of convergence for iteration algorithms with second derivations	11

CHEMICAL SCIENCES

I. A. Kirovskaya, E. I. Bykova, O. T. Timoshenko, T. N. Filatova. Absorption and electrical-physical study of InSb-CdTe component system surface	15
I. A. Kirovskaya, E. I. Bykova, O. T. Timoshenko, T. N. Filatova. Acid-base balance of surface components of InSb-CdTe system	20
I. V. Mozgovoi, G. M. Davidan, A. G. Nelin, L. N. Olejnik, E. D. Skutin. Isomerisation of light petrol fractions - a perspective way of improvement of quality of automobile gasolines	26

DESCRIPTIVE GEOMETRY AND COMPUTER GRAPHICS

N. G. Ivantsivskaya, V. G. Burov. Graphic education at the university: the content and information technologies	31
K. L. Panchuk, V. Ya. Volkov. Osculation of curves in an elliptic plane and their analogues in linear space	35
E. K. Smorshkov. About links of analytical, geometrical and graphical calculations for a comprehensive drawing of a project design	39

MECHANICAL AND THEORETICAL ENGINEERING

P. D. Balakin, E. A. Kuznetsov, V. A. Lobov, P. A. Prozorov. First approximation model of the interconnection between shock absorber rod and its case guide sleeve under variable and alternating loading	41
V. B. Masyagin, S. B. Skobelev. The identification of modes of shock-acoustic processing	45
S. M. Ovcharenko. Recognition of catastrophic wear process of details of a diesel engine on the basis of a model of neural networks	49
E. A. Lysenko. Specification of piston compressor with gas supported piston and multifunction mechanism of actuator	52
E. Yu. Nosov, E. A. Pavlyuchenko. Intensive cooling of rotary compressors with rolling rotor	55
V. I. Sologaev, K. A. Kravtsev. The forecast of underset filtering from under flooding centre into dry soil	59
S. N. Litunov. Modeling of work of ink serving mechanism of stencil printing device with roller squeegee	61
V. S. Scherakov, A. M. Minitaeva. Automation of process of mathematic modeling of hydraulic actuators	65

SCIENCE OF MATERIAL

D. N. Korotaev, Y. K. Mashkov. Technological opportunities of control of operational properties of friction surfaces at electro spark alloying	71
V. V. Akimov, M. V. Akimov, S. N. Kul'kov. Destruction character in composites TiC-TiNi using fracrographical examination	74
I. V. Mozgovoy, A. G. Nelin, G. M. Davidan, E. I. Mozgovoy, O. I. Mozgovoy. Study the affect of energy fields to polyethylene	76
Y. N. Ivlev, N. V. Najmushina. Substantiation of use bone nail designs from an alloy nicelide the titan in clinic of orthopedic stomatology	84

ELECTRICAL ENGINEERING

V. V. Biryukov. The determination of regulation law of DC pulse frequency thyristor modulator in starting mode	87
A. Yu. Kovalev, Yu. Z. Kovalev. The mathematical model of electro-mechanical processes of submersible electrical motors	90
M. Y. Kletsel, K. I. Nikitin, A. S. Stinskiy. Relations of currents in phases — a basis to design of backup protection of a transformer	93

INSTRUMENT ENGINEERING, DATA-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

V. A. Borodenko. Modeling during automation devices synthesis	96
V. I. Gorbunkov, A. P. Popov. The energy pulse during electronic dosing of mercury lamp emission	100
I. V. Mosgovoy, A. G. Ponomarev, S. G. Maltzev. About Original Requirements to performance indices of steam sterilizers designed before 1996	103
A. V. Kobylkin. Management of oil dehydration process before transportation	111
V.A. Spiridonov. Monitoring of agricultural area of Omsk region by GPSS	114

RADIO ENGINEERING, COMMUNICATION AND ELECTRONICS

Yu. N. Klikusin. The Method and Algorithm of the Signals' Classification	117
I. I. Semenov, A. I. Tikhonov. Design and experiments on radio communication lines of super low frequency using binary broadband signals	125
V. A. Maistrenko, S. D. Korovin. The control algorithms of frequency-timing resource of adaptive decametric wave radio circuit under complex radio electronic environment	134
D. N. Kovalenko, O. N. Kovalenko, K. S. Fadeev. Interaction problems of switching systems using PRI	139
P. A. Lutov, V. A. Shaptsev. The concept of a system for monitoring and support of developing, introducing and servicing of the software of foreign software developers	141

INFORMATION TECHNOLOGIES

S. I. Solomonova. Information technologies in re-structuring and management of productions at the enterprises of mechanical engineering	143
S. V. Nopin, V. G. Shahov. Use of cryptographic interfaces of operational system Windows at system engineering of a IP-telephony protected from the non-authorized access	149
I. V. Potapov. Informational redundancy of artificial neuron networks as a factor of its reliability	153
O. Z. Isyanov. About intellectual knowledge building technology	157
A. N. Nosyrev. Supervision of information system objects using behavioral models	159
N. G. Lukyanenko. Substantiation of integrative course «information science and foreign language» on conditions of information educational system at school of the North	161

PEDAGOGICAL SCIENCE

E. Yu. Belyanina. The technological approach of compilation the course of mathematics for students of the economic specialties	165
L. A. Gorbunova. The tasks as a means of formation of student's mathematical activity	168
I. A. Drozdova, S. A. Minabudinova. The problem of the development of practical skills of mathematical knowledge in adaptation process of first-year students of an institution of higher technical educational	170
E. E. Alekseeva. The associative law at numbers series, methodical aspect	172
A. V. Semkin. The mathematical modeling is a means applying professional teaching of mathematics in a technical college	176
E. A. Aleksandrova. Pedagogical conditions of technical higher school students' communicative competence formation with help of computerized training system	180
A. L. Katkova. Usage of computer games at informatics classes for stimulating cognitive skills of students	182

Summary

PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCE

N. V. Ostrovskiy

The effect of Moon and Sun to the gravitational field on the surface of the rigid Earth

The description of celestial bodies theory of influence to the gravity field of the Earth and experimental data review is given. The calculation of the gravity affects by the Moon and Sun activity is done using the generalized gravitation interaction equation. The calculation matches experimental data.

E. A. Altman

The optimization of computational scheme of fast Fourier transformation

The article offers a method of speed optimization for fast Fourier transformation function. The additional data register is used to accelerate data access and reducing operations with pointers.

A. T. Kogut, N. Y. Bezborodova

Calculation of accuracy and indices of convergence for iteration algorithms with second derivations

This work considers methods of numerical calculation solving non-linear equations by means of linearization techniques. Namely, the iteration algorithms accounting second derivations are used. The experimental results are obtained and reviewed.

CHEMICAL SCIENCES

I. A. Kirovskaya, E. I. Bykova, O. T. Timoshenko, T. N. Filatova

Absorption and electrical-physical study of InSb-CdTe component system surface

The capability, nature, acid center's concentration, its change by screening in CO and the system composition change have been determined. The acid-base interaction procedure was registered.

I. A. Kirovskaya, E. I. Bykova, O. T. Timoshenko, T. N. Filatova

Acid-base balance of surface components of InSb-CdTe system

The acid-base properties and chemical composition of the surface of rigid solutions and binary components were studied by the methods of hydrolytic absorption, nonaqueous conductometric titration, mechanical chemistry, IR and mass spectrography.

I. V. Mozgovoi, G. M. Davidan, A. G. Nelin, L. N. Olejnik, E. D. Skutin

Isomerisation of light petrol fractions - a perspective way of improvement of quality of automobile gasolines

The analysis of world and domestic production of high-octane not aromatic components of automobile gasolines is presented. It is shown, that the Russian oil refining essentially lags behind the leading oil refining countries on this parameter, and the reasons of such backlog are revealed. Positive tendencies of development of the Russian oil refining in manufacture of highoctane not aromatic components of automobile gasolines, in particular gasolines of process of an isomerisation are noted.

DESCRIPTIVE GEOMETRY AND COMPUTER GRAPHICS

N. G. Ivantsivskaya, V. G. Burov

Graphic education at the university: the content and information technologies

The article is devoted to the increase of the graphic education level at universities due to qualitative changes in the content of graphic discipline's course, application of multimedia technologies while creating tutorials and working up the system of arrangements to raise the level of the pre-institution graphic education.

K. L. Panchuk, V. Ya. Volkov

Osculation of curves in an elliptic plane and their analogues in linear space

On the basis of the analysis of the metrics of spaces: an elliptic plane and variety of straight lines three-dimensional linear spaces, presence of the common metric structure of these spaces is established. It allows to represent one of spaces as metrical model of another. Presence of the

common metric structure leads to an establishment of conformity of figures of spaces and analogies in the decision of a homogeneous geometrical problem which is carried out in one and other space. As an example the problem about contact in both spaces is considered.

E. K. Smorshkov

About links of analytical, geometrical and graphical calculations for a comprehensive drawing of a project design

The algorithm for graphical determination of limits of functional integration has been developed. The interrelation between graphical and analytical algorithms was identified.

MECHANICAL AND THEORETICAL ENGINEERING

P. D. Balakin, E. A. Kuznetsov, V. A. Lobov, P. A. Prozorov

First approximation model of the interconnection between shock absorber rod and its case guide sleeve under variable and alternating loading

This work describes a first approximation model of the interconnection between shock absorber rod and its case guide sleeve under variable and alternating loading

V. B. Masyagin, S. B. Skobelev

The identification of modes of shock-acoustic processing

On the basis of the carried out research the analytical dependences of submission of the tool and the frequency of rotation of processed part and parameters of the machine tool and cutting tool were established. The received expressions reflect kinematical features of shock-acoustic processing and allow to control such a process.

S. M. Ovcharenko

Recognition of catastrophic wear process of details of a diesel engine on the basis of a model of neural networks

By the results of modeling dynamics of concentration of products of wear process in motor oil of a diesel engine the model of recognition of catastrophic wear process of the interested details is developed. The methods of the theory of neural networks are applied for development of the model. The model is used for diagnosing of a diesel engine by the results of spectral analysis of motor oil.

E. A. Lysenko

Specification of piston compressor with gas supported piston and multifunction mechanism of actuator

The article considers practicability of using a springy design in the compressor from the multifunction mechanism of the actuator. Studies are conducted on the mathematical models, describing thermodynamic processes, running in checking volumes of compressor, and power processes in the mechanism of drive. Installed that using springy beam allows greatly to increase tolerances for design and assembly of the machine.

E. Yu. Nosov, E. A. Pavlyuchenko

Intensive cooling of rotary compressors with rolling rotor

In the article two variants of compressors with a rolling rotor and internal source of pressures of liquid – volume and dynamic. The last is organized using a hydraulic diode in hydraulic cooling lines. Numerical and natural experiments have shown a possibility and usefulness of using the considered designs for the real use when designing new machines.

V. I. Sologaev, K. A. Kravtsev

The forecast of undersel filtering from under flooding centre into dry soil

In the article it is considered a decision of one of problems to hydrogeologies in case of flat-parallel filtering. The decision is compared with result, got earlier other researcher and with result, got by practical consideration.

S. N. Litunov

Modeling of work of ink serving mechanism of stencil printing device with roller squeegee

Mathematical model of liquid flow in ink serving mechanism of investigated stencil printing device is presented. The flow of perfect liquid is considered. The flow model is based on the theory of complex variable function and theory conformal reflections. Current function is got and current lines for some parameters of flow are built, which provide the opportunity to evaluate considered flow effectively.

The article gives the description of a methodology of mathematical modeling of hydraulic actuators in the form of hydraulic multiterminals network. This methodology permits to formalize and automate the composition process of mathematical modeling of hydraulic actuators.

SCIENCE OF MATERIAL

D. N. Korotaev, Y. K. Mashkov
Technological opportunities of control of operational properties of friction surfaces at electro spark alloying

On the basis of the carried out researches the channels of management of process electro spark alloying rapid cutting steel with the help of gas interelectrode environment, electrical modes of processing and electrode materials are established. The dependences of resistance of cutters P6M5 and P9K5 from speed of cutting are revealed at alloying in technological gas environments by various electrodes. Silt. 4. Bibl. 4.

V. V. Akimov, M. V. Akimov, S. N. Kul'kov
Destruction character in composites TiC-TiNi using fractographical examination

Destruction character of firm alloys on the basis of the titanium carbide with structurally unstable binding matrix is analyzed with fractographical examination.

I. V. Mozgovoy, A. G. Nelin, G. M. Davidan, E. I. Mozgovoy,
O. I. Mozgovoy
Study the affect of energy fields to polyethylene

Polymer materials are widely used in different branches of modern industry and domestic appliances. The problem of influence of energy fields to polyethylene is considered in this work.

Y. N. Ivlev, N. V. Najmushina
Substantiation of use bone nail designs from an alloy nicelide the titan in clinic of orthopedic stomatology

Results of the estimation of condition of teeth- jaw systems after application bone nail designs from nicelide titan, based on special clinical research, testify to high efficiency of the design. According to this, the use of alloy nicelide titan showing superelastic properties and possessing effect of memory of the form for manufacturing bone nail of designs at restoration completely destroyed crown of teeth, is represented as a perspective direction in orthopedic stomatology.

ELECTRICAL ENGINEERING

V. V. Biryukov
The determination of regulation law of DC pulse frequency thyristor modulator in starting mode

In the paper the problems assisted with determination of regulation law of output voltage on traction drive depending of rolling stock's speed during starting mode are considered.

A. Yu. Kovalev, Yu. Z. Kovalev
The mathematical model of electro-mechanical processes of submersible electrical motors

Modeling of the dynamic processes of the anisochronous electric motors of oil pump is considered. In the article on the base of the system approach, according to which electric motor is considered as a complex technical system (the super system), consisting of separate modules (the systems), containing electric, mechanical and the other part (the subsystems) with concentrated parameter.

M. Y. Kletsel, K. I. Nikitin, A. S. Stinskiy
Relations of currents in phases - a basis to design of backup protection of a transformer

The principle of the design of backup protection of a transformer is offered to two-phase short circuits on the side of low voltage, using phase's currents under specified type of damage. It is shown that the protection is not against the current of the load and can be used at all transformers with the scheme of joining the windings Y/D.

INSTRUMENT ENGINEERING, DATA-MEASURING DEVICES AND SYSTEMS

V. A. Borodenko
Modeling during automation devices synthesis

The role of modeling in the basic stages of design of devices of automation systems is specified, the example of modelling of a phase-sensitive start control is given. It is shown that for formation of logical structure of the device the simplified model is sufficient.

V. I. Gorbunkov, A. P. Popov
The energy pulse during electronic dosing of mercury lamp emission

The authors pay attention to the capability of infrared and visible light dosing using an electronic metering device as a tool providing repeatability of biological research and medical practice.

I. V. Mosgovoy, A. G. Ponomarev, S. G. Maltzev
About Original Requirements to performance indices of steam sterilizers designed before 1996

This article deals with the questions concerning applying of indicators of efficient performance control of steam sterilizers in processes organized on outdated but working rather well devices. The authors pointed out some facts of discrepancy of technical characteristics of modern indicators to standard demands. As for demands to exact work of indicators of operating control there is necessary to install dependent tolerance. Some decisions allowing to supply the work control of working park of outdated steam sterilizers to needed standards are proposed.

A. V. Kobylkin
Management of oil dehydration process before transportation

The problem of algorithmization for management of a reagent shop operation for preparation of crude oil before its transportation to consumers is considered. The problem is solved with the use of a mathematical device of fuzzy logic and methods of Fuzzy-management. On the basis of research experience of technology engineers' the linguistic variables for description of parameters of the process and management are offered. Also, the mathematical model of a Fuzzy-regulator is developed.

V. A. Spiridonov
Monitoring of agricultural area of Omsk region by GPSS

The transportation vehicle operation monitoring in one of agricultural farms of Omsk region is considered. The harvest period is modeling by GPSS application. The algorithms and simulation results are submitted.

RADIO ENGINEERING, COMMUNICATION AND ELECTRONICS

Yu. N. Klikusin
The Method and Algorithm of the Signals' Classification

The Method and Algorithm of the Signals' Classification were presented. These instruments were designed for the Automatic's Signals Recognition. A great number of signals were divided into the some groups with the helping of the Identification Scales. The Signals were combined into fuzzy groups with according to the Signal -Noise Relation.

I. I. Semenov, A. I. Tikhonov
Design and experiments on radio communication lines of super low frequency using binary broadband signals

Benchmarking available algorithms of radio communication lines of super low frequency design, the anti-interference radio communication system is developed using binary broadband signals.

V. A. Maistrenko, S. D. Korovin
The control algorithms of frequency-timing resource of adaptive decametric wave radio circuit under complex radio electronic environment

The game theory algorithm is used as a control philosophy in the presence of information from current counteracting system strategy. The frequency coefficient vector is taken into consideration applying control algorithms of frequency-timing resource of adaptive decametric wave radio circuit under complex radio electronic environment

D. N. Kovalenko, O. N. Kovalenko, K. S. Fadeev
Interaction problems of switching systems using PRI

It is considered the connection of the dial exchanges with junctions 30B + D. The value of capacity and rotational latency of information frames are calculated. The diagrams of rotational latency and delays, depending from loading the channel are built for different lengths of the information message.

P. A. Lutov, V. A. Shaptsev
The concept of a system for monitoring and support of developing, introducing and servicing of the software of foreign software developers

This article pays attention to so called expert systems that accumulate expert databases in specific fields of knowledge. The problems of the product introducing and launching are considered in the article and relate to identification and formalization of knowledge.

INFORMATION TECHNOLOGIES

S. I. Solomonova
Information technologies in re-structuring and management of productions at the enterprises of mechanical engineering

On the basis of the lead researches contours of management of various information products with the purpose of their overlapping in uniform information system for efficient control re-structuring and productions at the machine-building enterprises are revealed.

S. V. Nopin, V. G. Shahov
Use of cryptographic interfaces of operational system Windows at system engineering of a IP-telephony protected from the non-authorized access

In the article new opportunities of cryptographic interfaces of operational system Windows are considered for system engineering of transfer of speech through a network Internet/Ethernet in the compressed and protected forms from non-authorized access.

I. V. Potapov
Informational redundancy of artificial neuron networks as a factor of its reliability

In the article a main examined object is information redundancy of messages, generated under working by artificial neurons with presynaptic bus interaction, representing the two-ply threshold elements mini-networks. The obtained conclusions are generalized for multi-layer artificial neural networks. Generated messages' information redundancy increase brings to reliability increase only using the information reserving is shown.

O. Z. Isyanov
About intellectual knowledge building technology

Up to date problems of automation of design in engineering systems and creation of automation systems for such developments have been discussed in this article. The design equipped with the complex of automation systems controlled by the computer are called "Intelligent Buildings" and elaboration of its concept is issue of the day.

N. G. Lukyanenko
Substantiation of integrative course «information science and foreign language» on conditions of information educational system at school of the North

According to realization of pedagogical experiment, the integrative model of training to information science and foreign language on conditions of school information educational system of the North is developed. Application of the model to the process of education assumes quality raising, full access to information resources, education continuity, renewal of its content, wide usage of computer technologies at all stages of education.

A. N. Nosyrev
Supervision of information system objects using behavioral models

This article reflects the problem of protection of the information, based on the principle of external supervision over a condition of the information system. Supervision method uses the integrated estimation of the danger, received by the expert analysis of behavioral model of the controlled information object.

PEDAGOGICAL SCIENCE

E. Yu. Belyanina
The technological approach of compilation the course of mathematics for students of the economic specialties

The technological approach on the mathematics course planning is considered in this article. Any discipline of educational standard should be focused on formation of professional competence of a graduate. On the basis of the research done it was found that implementation of the technological approach taking into account professional slant of the mathematics course favored increasing of mathematical prerequisite and formation of professional competence of future economists.

L. A. Gorbunova
The tasks as a means of formation of student's mathematical activity

On the basis of the theory of mathematical activity one of methods of construction of full systems of the tasks differentiated on difficulty of their decision is offered.

I. A. Drozdova, S. A. Minabudinova
The problem of the development of practical skills of mathematical knowledge in adaptation process of first-year students of an institution of higher technical educational

The problem of adaptation of first – year students of an institution of higher technical educational in the aspect of provision with sufficient base of mathematical knowledge for natural and technical subjects study is considered; similar ways of this problem's solution are proposed.

E. E. Alekseeva
The associative law at numbers series, methodical aspect

The literature widely cultivates incorrect examples of inapplicability of the associative law to divergence series. On the base of investigation was revealed, that the associative law, has no any exceptions to the rules (is universal). It is shown, that it is equally applicable to converging and diverging numbers series that allows grouping the items without any limitation in any series any way, not being afraid for equivalence of the received results.

A. V. Semkin
The mathematical modeling is a means applying professional teaching of mathematics in a technical college

This article considers the problem of necessity in teaching technical college students the mathematical modeling distinguishing as a means of realizing professional teaching of mathematics. The main types of modeling methods at mathematical modeling, which may be used by a teacher, are shown.

E. A. Aleksandrova
Pedagogical conditions of technical higher school students' communicative competence formation with help of computerized training system

The article deals with the influence of communicative competence components on its formation and research of pedagogical conditions.

A. L. Katkova
Usage of computer games at informatics classes for stimulating cognitive skills of students

Computer games according to the research done provoke the cognitive skills of students but the interest to informatics subject is reducing. To increase the interest to the informatics games are introduced in the education process.