

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Омский государственный технический университет»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Материалы Международной научно-практической конференции

(Россия, Омск, 17 мая 2017 года)

Омск
Издательство ОмГТУ
2017

УДК 621.3:620.9:62-83:697

ББК 31

А43

Редакционная коллегия:

А. В. Косых, ректор ОмГТУ;

Б. Д. Женатов, проректор по НР ОмГТУ;

А. А. Татевосян, декан ЭНИ ОмГТУ;

А. В. Бубнов, зав. каф. «Электрическая техника» ОмГТУ;

В. Н. Горюнов, зав. каф. «Электроснабжение
промышленных предприятий» ОмГТУ;

А. Г. Михайлов, зав. каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ;

П. А. Батраков, доц. каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ (отв. редактор)

Актуальные вопросы энергетики : материалы Междунар. науч.-практ. А43 конф. (Россия, Омск, 17 мая 2017 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ ; [редкол.: П. А. Батраков (отв. ред.) и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 408 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2453-7

Представлены результаты выполненных в вузах научно-исследовательских, опытно-конструкторских и внедренческих работ, отражающие проблемы энергоэффективности; генерации, трансформации и потребления электрической энергии; построения теплоэнергетических систем; электротехнических комплексов и систем.

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников, а также аспирантов и студентов технических вузов.

УДК 621.3:620.9:62-83:697

ББК 31

ISBN 978-5-8149-2453-7

© ОмГТУ, 2017



СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Энергетика.

А. А. Морев, А. Н. Мракин, А. А. Селиванов

СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

Повышение энергоэффективности первичной термической переработки сернистых горючих сланцев..... 14

Е. М. Резанов¹, П. В. Петров²

¹ОмГУПС, г. Омск, Россия²

ООО «Сибирская проектная компания», г. Омск, Россия

К вопросу повышения эффективности утепления тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций стен зданий 18

Э. Э.Новикова

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Особенности применения конденсационных котлов в России..... 22

А. М. Парамонов¹, Е. М. Резанов²

¹ОмГТУ, г. Омск, Россия

²ОмГУПС, г. Омск, Россия

К вопросу повышения эффективности работы термических печей 25

В. Д. Галдин, П. В. Кальницкий

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Влияние законов закрутки решеток на распределение давления в проточной части турбодетандера 28

Д. И. Данилов, М. В. Шкаруба

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Совершенствование методики расчета молниезащиты подстанции 32

В. А. Кихтенко, С. А. Рютикова, И. А. Степашкин, А. Г. Михайлов

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Методы теплового расчета топочных камер котельных агрегатов 36

П. В. Кальницкий, В. Д. Галдин

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Влияние законов закрутки решеток на место расположения скачка кристаллизации в проточной части турбодетандера 41

Д. С. Лобов, К. С. Самутенко

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Энергосбережение в системах вентиляции..... 46

Д. Г. Мумладзе, П. А. Батраков, А. А. Беляков, Е. В. Зиновьев

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Технологический процесс получения технического углерода печным способом..... 49



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ
ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- Д. В. Шагаров, К. В. Хацевский
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Анализ способов улучшения технических характеристик стабилизаторов напряжения 52
- С. В. Козлей, К. В. Хацевский
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Проблемы эксплуатации кабельных линий 10/0,4 кВ 56
- Л. С. Нифонтова, В. Д. Галдин, П. В. Кальницкий
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Влияние начальных параметров продуктов сгорания топлива и геометрии проточной части турбодетандера на место расположения скачка кристаллизации диоксида углерода 61
- В. Ю. Мирошник, Д. В. Батулько
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Определения места повреждения линии при однофазном замыкании на землю в сетях 6 – 35 кВ по параметрам аварийного режима..... 65
- М. К. Ширбаева, А. К. Кинжибекова
ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
Исследование теплофизических свойств брикетов из древесных опилок..... 69
- А. М. Фокин, А. И. Киселева
Филиал «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске, Россия
Разработка методики определения комплексного показателя качества тепловых сетей..... 73
- С. С. Плотников, А. Г. Михайлов, Д. В. Скворцов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Современные теплотехнические измерительные приборы..... 78
- А. К. Кинжибекова, А. Ж. Алеева
ПГУ им. С. Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
Исследование теплофизических характеристик брикетов из лузги подсолнуха 82
- Е. А. Шибанов, Д. В. Рысев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Модернизация системы управления ветроэнергетической установкой 87
- Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Применение дискретного и пакетного вейвлет-преобразования для частотной декомпозиции сигналов в нестационарных режимах 90
- А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько¹, А. Е. Карманов², А. Т. Кажигаева¹
¹ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар Казахстан
²АУЭС, г. Алмата, Казахстан
Методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса 100



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ
ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- В. Г. Сальников¹, Д. М. Иванов²
¹СГУВТ, г. Новосибирск, Россия
²НГТУ, г. Новосибирск, Россия
Исследование процессов коммутации вакуумным выключателем индуктивной нагрузки . 104
- К. А. Ветлугин, Е. А. Никитина, И. Л. Захаров
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Ультразвуковой кавитационный теплогенератор 108
- О. А. Валентей, Е. Ю. Артамонова, А. О. Шепелев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Основные типы ветроустановок 111
- О. В. Газизова, А. Н. Аламанова, А. В. Малафеев
МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
Исследование влияния коэффициентов статизма регуляторов возбуждения на статическую устойчивость синхронных генераторов 115
- И. С. Коломыцев, В. А. Михайлов
Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Россия
Пути повышения термодинамической эффективности систем с ГТУ путём рационализации отвода теплоты 119
- Ю. Н. Кондрашова, О. В. Газизова, А. Ю. Турищев, А. В. Нуждин
МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
Исследование влияния учета характерных групп электроприемников на устойчивость при больших возмущениях источников собственной генерации 123
- Е. А. Крыгин¹, О. А. Валентей²
¹ООО НПО «ЭнергоСтройПроект», г. Омск, Россия
²ОмГТУ, г. Омск, Россия
Определение сопротивления изоляции электроустановки в рабочем режиме 127
- Н. Н. Малышева, В. Р. Антропова
НГУ, г. Нижневартовск, Россия
Формирование сценария тренировки оперативно-диспетчерского персонала предприятий в планировщике курсов 131
- А. А. Орлова, П. В. Беляев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Эксплуатация солнечных панелей 135
- А. А. Парамонова, В. А. Михайлов
Филиал «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Россия
Пути улучшения показателей ГТУ путем вариаций способов подвода теплоты в систему 139



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- Т. Р. Сагадатов, О. В. Газизова, Ю. Н. Кондрашова, А. В. Малафеев
МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
Исследование результирующей устойчивости синхронных двигателей при выходе электростанции с нагрузкой на раздельную с энергосистемой работу и последующей ресинхронизацией 144
- Г. В. Тихонов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Анализ влияния качества электроэнергии на надежность силовых трансформаторов 148
- А. Ю. Турищев, Ю. Н. Кондрашова, А. В. Нуждин
МГТУ им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия
К вопросу влияния наложения ремонтных режимов на устойчивость при больших возмущениях источников собственной генерации 152
- В. К. Гаак¹, А. В. Гаак²
¹ОмГУПС, г. Омск, Россия
²ОАО "ВТИ", г. Москва, Россия
Повышение эффективности выработки тепловой энергии в современных условиях на примере г.Омска. 157
- К. С. Самутенко, Д. С. Лобов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Автономная система теплоснабжения..... 164
- Р. Д. Аубакиров, А. А. Бубенчиков, В. И. Беляев, А. О. Шепелев, Р. Т. Тажиев, Н. А. Фисун
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Солнечная энергия в России и новая отрасль «зеленой» энергетике в мире – био фотоэлектрические системы 168
- А. А. Бубенчиков, А. О. Вирайло, В. И. Беляев, В. В. Романов, М. А. Голованов, Н. А. Фисун
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Возможность применения солнечной энергии на территории Омской области (России).... 172
- А. С. Ширяев, С. А. Мельников, Е. Е. Шакенов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Характеристика комплексного подхода к выбору мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях с учётом температуры элементов сети 176
- Е. А. Кукарекин
ОмГТУ, г. Омск, Россия
О влиянии реактивной мощности на потери электроэнергии..... 180
- И. А. Медведев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Перспективы использования постоянного тока при передаче электроэнергии в современных энергосистемах 183



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ
ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- К. С. Ожогова, Н. В. Шкурко, В. В. Леонов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Современное состояние проблемы ветроэнергетики. Характерные особенности ветроэнергетических установок. Условия, определяющие эффективность ветроэнергетики 187
- Д. В. Скворцов, А. Г. Михайлов, С. С. Плотников
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Охлаждающие среды в электрических машинах 191
- Н. В. Шкурко, К. С. Ожогова, А. А. Бубенчиков, В. В. Леонов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Обзор современных способов повышения пропускной способности линий электропередачи в распределительных сетях 194
- К. М. Пивоварова, А. С. Уланова
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Комбинированная система теплоснабжения 198
- С. В. Теребилов, Е. В. Зиновьев, А. А. Беляков, Д. Г. Мумладзе
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Методы расчета теплопереноса в топках газотрубных котлоагрегатов 201
- А. П. Кислов¹, В. П. Марковский¹, К. И. Никитин², А. А. Левицкий², Д. Ю. Чусовитин²
¹ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
²ОмГТУ, г. Омск, Россия
Определение информативных параметров резервной защиты лэп с ответвлениями.... 206
- В. В. Леонов, Н. В. Шкурко, К. С. Ожогова
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Ветроэнергетические установки с синхронным генератором 211
- А. В. Приходченко, И. М. Моисеев, Д. С. Лобов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Оптимизация параметров паротурбинной установки при использовании детандер-генераторного агрегата 215
- И. А. Алешина, В. А. Михайлов
Филиал «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске, Россия
Некоторые особенности применения эксергетического анализа для оценки эффективности сложных технологических систем 220
- Е. Н. Слободина
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Теплофизические факторы, влияющие на процесс кипения 224
- Т. В. Бубенчикова, Е. Ю. Артамонова, Е. И. Крыгина
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Методы измерения сопротивления изоляции 227



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



<u>Р. А. Лапин, С. С. Горобей</u> ОмГУПС, г. Омск, Россия Когенерационные установки на основе парогазовых и газотурбинных систем с утилизацией тепла.....	231
<u>С. С. Горобей</u> ОмГУПС, г. Омск, Россия Перспективы развития малой энергетики России.....	236
<u>Д. Д. Дугин¹, В. А. Самусь¹, Д. К. Габбасов¹, А. С. Грицай¹, В. И. Потапов¹, Г. Э. Сеницин²</u> ¹ ОмГТУ, г. Омск, Россия ² ООО «Омская энергосбытовая компания», г. Омск, Россия О механизмах функционирования оптового рынка электроэнергии	239
<u>П. А. Яковлев, П. А. Батраков, Д. В. Баженов, Д. Г. Мумладзе</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия, Особенности выбора горелочных устройств для котлоагрегатов малой производительности.....	244
<u>Секция 2. Электротехника.</u>	
<u>М. Ю. Пустоветов</u> ДГТУ, г. Ростова-на-Дону, Россия Выбор приближенных значений параметров звена постоянного напряжения преобразователя частоты.....	249
<u>С. Г. Конесев, Р. Т. Хазиева</u> УГНТУ, г. Уфа, Россия Тенденции развития индуктивно-емкостных преобразователей, их основные параметры и характеристики.....	252
<u>Е. В. Птицына, Д. В. Птицын</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Исследование электротехнических устройств, работающих на явлении электрического разряда, при различных электрических режимах	256
<u>Е. Г. Андреева, И. А. Семина, Е. А. Новиков</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Численное и экспериментальное исследование гибридной магнитной системы незамкнутого типа.....	260
<u>О. А. Лысенко, А. В. Симаков, Л. Ю. Шелехина</u> ОмГТУ, г. Омск, Россия Определение потоков рассеяния синхронного генератора ветроэнергетической установки	265



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ
ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- А. Е. Белодедов, П. В. Беляев, О. А. Лысенко
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Создание модели частотно-регулируемого электропривода с блоком суперконденсаторов 269
- Е. М. Приходько, К. В. Хацевский
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Энергосберегающие технологии в автоматизированном электроприводе..... 272
- А. В. Бубнов, А. Н. Четверик, А. Н. Чудинов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Особенности использования многофункционального импульсного частотно-фазового дискриминатора в системе управления синхронно-синфазным электроприводом..... 275
- А. С. Матюх, А. В. Демин
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Сравнение параметров существующих амортизирующих систем 281
- А. А. Татевосян, В. С. Мищенко, М. М. Сангов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Математическое моделирование магнитного поля синхронного генератора с постоянными магнитами 286
- Д. А. Поляков, И. В. Комаров, К. И. Никитин, В. Н. Пугач
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Измеритель мощности сигналов частичных разрядов..... 290
- А. С. Татевосян, А. А. Лукачева, Б. В. Чижма
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Электротехнические подходы к исследованию электроимпульсного эффекта очистки..... 294
- В. В. Шишкин, А. В. Демин
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Исследование перспектив применения аморфного железа для изготовления магнитопроводящих частей электромагнитного корректора жесткости..... 299
- Ф. А. Лосев¹, А. С. Мартъянов¹, В. В. Сушков²
¹ТИУ, г. Тюмень, Россия
²НГУ, г. Нижневартовск, Россия
Оценка динамической устойчивости погружных установок электроцентробежных насосов..... 303
- Т. А. Бакаев, Р. Н. Хамитов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Возможности энерго-рекуперативных подвесок транспортных средств 307
- М. С. Бенке, А. Л. Литневский
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Особенности и перспективы развития техники и технологии гашения дуги..... 312



Н. Д. Буряков, А. С. Татевосян, Р. Н. Хамитов

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Исследование нестационарного магнитного поля поляризованного электромагнита с внешним притягивающимся якорем 317

А. В. Демин, В. В. Шишкин

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Исследование изменения массогабаритных параметров электромагнитного компенсатора жесткости при изготовлении магнитопроводящих частей из аморфного железа 322

Д. К. Орынбаев, А. Л. Литневский

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Ограничители перенапряжений: современные технологии и перспективы развития... 326

М. А. Верхошенцев, Е. А. Никитина, Е. В. Птицына

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Исследование нестационарного магнитного поля катушки с сердечником при различных материалах обмотки в программе Elcut 330

Е. М. Кузнецов, К. С. Олесюк

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Схемотехническое моделирование генератора постоянного тока с устройством независимого возбуждения в составе учебно-лабораторного комплекса 335

А. А. Лукачева

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Математическое моделирование рабочего процесса электроимпульсной установки в комплексе программ ELCUT 340

М. В. Демидова, И. А. Семина, Н. А. Бабич

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты 346

М. В. Демидова, Р. Н. Хамитов

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Электрическое торможение..... 349

Секция 3. Электроника. Радиотехника.

И. М. Самохвалов, В. Г. Эйсмонт, Д. А. Поляков

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Лабораторный стенд для исследования датчиков электрических величин 354

В. Г. Эйсмонт, И. М. Самохвалов, Д. А. Поляков

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Лабораторный стенд по исследованию датчиков неэлектрических величин..... 358



Секция 4. Охрана окружающей среды.

А. А. Езикеева, О. А. Иванова

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Проблема развития экотуризма в районах Омской области 363

К. П. Мичиняну¹, С. А. Мичиняну²

¹ОмГТУ, г. Омск, Россия

²НГУ, г. Нижневартовск, Россия

Организация природоохранной деятельности на ЗАО "Завод СибгазСтройдеталь"

г.Омск и модернизация очистных сооружений..... 366

К. И. Беликова

ОмГУПС, г. Омск, Россия

Основные проблемы, связанные с очисткой и утилизацией сточных вод предприятий

энергетики Сибирского региона 371

В. А. Акимкина¹, А. Б. Саржанова²

¹ОмГТУ, г. Омск, Россия

²АО «Омская геологоразведочная экспедиция», г. Омск, Россия

Промышленное производство и экологическая обстановка в городе Омске..... 374

Д. А. Якименко, Е. О. Реховская

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Синтез экологически чистого топлива в условиях Тюменской области 377

Ю. А. Козельская, И. Я. Горецкая, П. Е. Нор

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Использование ингибиторов комплексного типа при водоподготовке воды

промышленного водоснабжения 382

И. П. Залознов, М. Д Савчук

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Метод утилизации отработанной автомобильной охлаждающей жидкости с

использованием двигателя внутреннего сгорания..... 386

Е. В. Лапова, П. Е. Нор

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Способы переработки и утилизации отходов синтетических каучуков 390

А. А. Толдыкина

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Внедрение мобильной компрессорной станции для перекачивания природного газа

при ремонтных работах на магистральном газопроводе..... 394

В. П. Белоглазов, Л. В. Белоглазова, А. В. Булова, В. В. Нечупаев, А. Е. Протасова, С. В. Шлейко

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Использование нетрадиционных источников энергии на территории Омской области 397



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ
ACTUAL ISSUES OF ENERGY



О. Ю. Жигарова

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Основные мероприятия для снижения негативного воздействия на водные объекты магистрального нефтепровода в период его реконструкции 403

М. Н. Кравец, М. В. Васина

ОмГТУ, г. Омск, Россия

Оценка механических методов очистки сточных вод на нефтеперерабатывающих предприятиях 405

СЕКЦИЯ 1



УДК 662.731

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРВИЧНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЕРНИСТЫХ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ¹

А. А. Морев, А. Н. Мракин, А. А. Селиванов

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
г. Саратов, Россия*

Аннотация – Разработана принципиальная технологическая схема переработки сернистого горючего сланца с использованием реактора псевдооживленного слоя. Приведено сравнение эффективности переработки сернистых сланцев в реакторах с псевдооживленным слоем и установках с твердым теплоносителем. Показана целесообразность первичной термпереработки сернистых сланцев с использованием реакторов псевдооживленного слоя, позволяющих увеличить выход сераорганических соединений тиофенового ряда и уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты в установку.

Ключевые слова – Горючие сланцы, полукоксование, псевдооживленный слой, тиофен, установки с твердым теплоносителем.

1. ВВЕДЕНИЕ

На территории Поволжского региона сосредоточены крупнейшие месторождения горючих сланцев. Огромный экономический потенциал волжских сланцев может быть реализован путем их использования как сырья для получения синтетической нефти, газа и газового бензина, который является источником ценных сераорганических соединений тиофенового ряда (тиофена, 2-метилтиофена, 2,5-диметилтиофена). Данные соединения в настоящее время в РФ и странах СНГ не производятся.

Процесс первичной термической переработки горючих сланцев может быть реализован в установках различного типа: в шахтных генераторах, реакторах шнекового типа, циклонных реакторах и т.д. Наибольшее распространение для термпереработки горючих сланцев получила технология «Галотер», основанная на пиролизе сланца в режиме полукоксования в установках с твердым (зольным) теплоносителем (УТТ) [1].

Недостатком данного способа является то, что, нагрев сернистого горючего сланца в реакторе осуществляется за счет контакта частиц сланца с твердым (зольным) теплоносителем, что обуславливает относительно низкую скорость теплообмена, при которой среднее время полукоксования горючего сланца в реакторе с твердым теплоносителем составляет не менее 18 – 20 минут. Низкая интенсивность теплообмена в реакторе УТТ препятствует полному использованию потенциала органического вещества сернистого сланца и обуславливает относительно низкий выход сераорганических продуктов тиофенового ряда. Кроме того, недостатком данного способа является достаточно громоздкое оборудование реактора с твердым теплоносителем, требующего организации дополнительных устройств по подготовке

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №15-48-02313 «р_поволжье_а».



и транспортировке зольного теплоносителя и, как следствие, большие капитальные затраты в аппараты реакторного блока полукоксования горячего сланца.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача настоящего исследования заключается в создании способа переработки сернистых горючих сланцев, обеспечивающего наибольший выход сераорганических соединений тиофенового ряда, а также позволяющего уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты в оборудование реакторного блока.

III. ТЕОРИЯ

Одним из наиболее распространенных способов интенсификации тепломассообменных процессов при подготовке и термической переработке твердых топлив является использование реакторов с псевдооживленным слоем. Принципиальная технологическая схема переработки сернистого сланца с использованием реактора псевдооживленного слоя представлена на рис. 1.

Подготовленный горючий сланец размером частиц 1 – 10 мм поступает в сушилку 1. После процесса сушки сланец с температурой 100 – 150 °С направляют в реактор псевдооживленного слоя 2, где происходит его термическое разложение при температуре 500 – 600 °С. В результате термического разложения сланца образуется парогазовая смесь и коксозольный остаток, который направляют для дожига в циклонную топку 15. Образующиеся в результате сгорания коксозольного остатка дымовые газы в смеси с воздухом служат сушильным агентом в сушилке 1, а оставшийся после сгорания зольный теплоноситель направляют в зольный теплообменник 16 для нагрева поступающего в циклонную топку воздуха. Образующаяся в результате термического разложения парогазовая смесь, после очистки в пылеосадительной камере 3, поступает в скруббер 4 для конденсации тяжелых фракций смолы с температурой кипения выше 350 °С. Далее, парогазовую смесь направляют в ректификационную колонну 5, где происходит выделение фракций с температурами кипения 175 – 250 °С и 250 – 350 °С. Неконденсируемая парогазовая смесь охлаждается в конденсаторе-охладителе 6 и поступает в сепаратор 7, где происходит отделение подсмольной воды, сланцевого газа и бензиновой фракции, выкипающей до 175 °С. Сланцевый газ, содержащий в своем составе неконденсирующиеся пары газового бензина направляют в блок выделения 8, где происходит выделение газового бензина методом абсорбции. В качестве абсорбента используется каменноугольное масло. Далее бензиновая фракция и газовый бензин поступают в ректификационную колонну 9, где происходит выделение трех фракций с температурами кипения 79 – 90 °С, 90 – 116 °С и 116 – 145 °С. Каждую из полученных фракций в отдельности подвергают экстрактивной ректификации в колонне 10, в присутствии бинарного растворителя (N-формилморфолин, пропиленкарбонат). Полученную смесь растворителя и целевого продукта выводят из нижней части колонны 10 и направляют в ректификационную колонну 11, где эту смесь разделяют с получением целевого продукта (тиофен, концентрат метилтиофенов, концентрат диметилтиофенов) и очищенного бинарного растворителя, возвращаемого на орошение колонны экстрактивной ректификации 10. Часть сланцевого газа после блока выделения газового бензина 8 направляют на рециркуляцию в реактор 2. Оставшаяся часть поступает в блок выделения сероводорода и диоксида углерода 12. Очищенный сланцевый газ используются для внутреннего потребления, часть его сжигают в топке

13. Образующиеся при этом дымовые газы поступают в теплообменник 14 для нагрева газообразного теплоносителя.

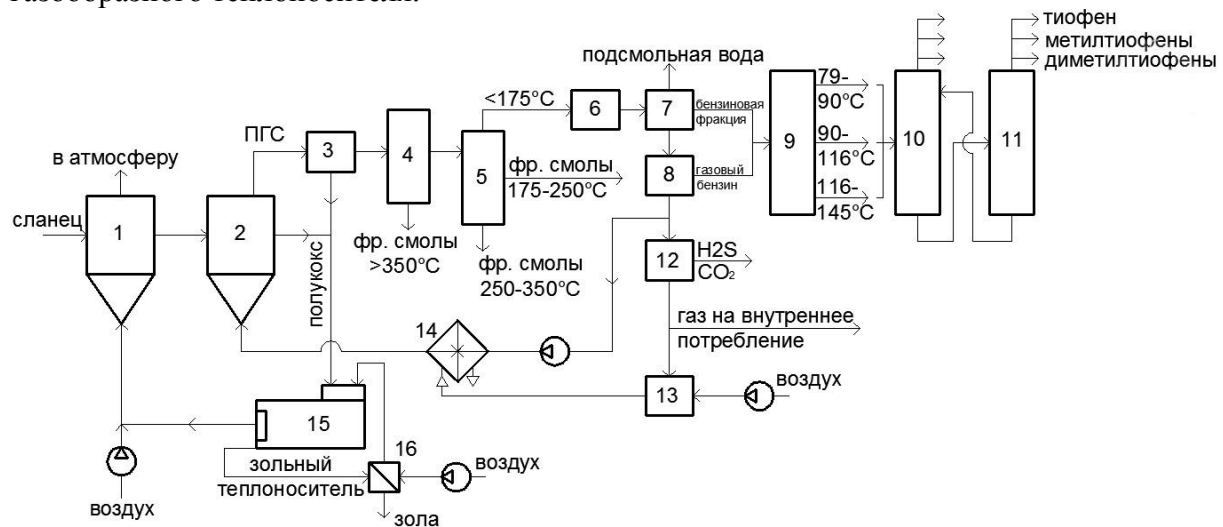


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема переработки сернистого сланца с использованием реактора псевдооживленного слоя

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для определения эффективности первичной термической переработки сернистых сланцев в реакторе псевдооживленного слоя по сравнению с УТТ были проведены численные эксперименты на математических моделях установок [2, 3]. Результаты моделирования представлены в табл. I. Исходными данными являлись: горючий сланец Коцебинского месторождения, размером частиц 1 – 10 мм, содержанием 27,26 кг/100 кг сух. сл. условной органической массы. Расход сланца был принят равным 5,78 кг сух. сл./с.

ТАБЛИЦА I
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК ПЕРЕРАБОТКИ СЕРНИСТЫХ СЛАНЦЕВ

Установка	Капитальные затраты, млн руб.	Годовые издержки, млн руб./год	Выход тиофена, кг/т сух сл.
Реактор псевдооживленного слоя	240,690	19,117	4,02
Установка с твердым теплоносителем	314,934	50,781	3,68

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из таблицы, предложенный способ позволяет уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты в оборудование реакторного блока, так как ввиду высокой интенсивности тепломассообменных процессов в реакторе псевдооживленного слоя, среднее время полукоксования горючего сланца составляет не более 10 – 12 минут, что обеспечивает увеличенную по сравнению с УТТ производительность установки. Кроме того, использование в реакторе полукоксования газообразного теплоносителя позволяет отказаться от применения аэрофонтанной топки и не требует организации дополнительных устройств по подготовке и транспортировке зольного теплоносителя, снижая тем самым затраты в оборудование реакторного блока.

Использование реактора псевдооживленного слоя позволяет увеличить выход соединений тиофена. Так как теплообмен в реакторе псевдооживленного слоя можно



считать завершенным, то скорость теплообмена значительно превышает скорость разложения органической массы горючего сланца и процесс деструкции сланца практически полностью протекает при заданных (конечных) условиях нагрева, что позволяет предотвратить разложение органического вещества при низких температурах и способствует увеличению выхода сераорганических соединений тиофенового ряда [4].

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ существующих установок первичной термопереработки горючих сланцев, обоснована необходимость разработки нового способа переработки, обеспечивающего наибольший выход сераорганических соединений тиофенового ряда, а также позволяющего уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты в оборудовании реакторного блока.

2. Разработана принципиальная технологическая схема переработки сернистого сланца с использованием реактора псевдооживленного слоя, позволяющая увеличить интенсивность тепломассообменных процессов внутри реактора по сравнению с УТТ.

3. На основе данных, полученных в ходе численных экспериментов, показана целесообразность первичной термопереработки сернистых сланцев с использованием реакторов псевдооживленного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем / А. И. Блохин [и др.] – М.: Светлый СТАН, 2005. – 336 с.
- [2] Морев А. А. Разработка и оптимизация реакторного блока для комплексной энерготехнологической переработки сернистых горючих сланцев в псевдооживленном слое: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Морев Александр Александрович. – Саратов, 2014. – 132 с.
- [3] Селиванов А.А. Оптимизация параметров реакторного блока для полукоксования сернистых сланцев Поволжья на основе установок с твердым теплоносителем: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04 / Селиванов Алексей Александрович. – Саратов, 2015. – 158 с.
- [4] Каширский В. Г. Экспериментальные основы комплексного энерготехнологического использования топлив. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1981. – 144 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. А. Морев, к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплотехника», e-mail: aamorev@gmail.com

А. Н. Мракин, к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплотехника», e-mail: anton1987.87@mail.ru

А. А. Селиванов, к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплотехника», e-mail: selivanych-86@mail.ru



УДК 699.865

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УТЕПЛЕНИЯ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ СТЕН ЗДАНИЙ

Е. М. Резанов¹, П. В. Петров²¹*Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия*²*ООО «Сибирская проектная компания», г. Омск, Россия*

Аннотация – актуальность разработки вопросов, связанных с повышением эффективности утепления ограждающих конструкций зданий, отвечает Федеральному закону РФ № № 399 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» от 28 декабря 2013 года. Целью является разработка оптимизации утепления наружных ограждающих конструкций стен зданий при проведении капитального ремонта. Разработан алгоритм и программное обеспечение для определения оптимальной толщины тепловой изоляции наружных ограждающих конструкций стен зданий. Проведены численные исследования теплового режима здания. В работе использованы методы математического моделирования и численного решения оптимизационных задач. Полученные результаты способствуют повышению эффективности теплового режима зданий, снижается расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, уменьшаются капитальные затраты.

Ключевые слова – отопление, толщина, ограждающие конструкции, эффективность, затраты.

И. ВВЕДЕНИЕ

Капитальный ремонт зданий в настоящее время невозможно представить без применения энергосберегающих мероприятий, отвечающих определенным стандартам. К таким мероприятиям относят использование теплоизолирующих современных строительных материалов, регулирующего оборудования, а также замену устаревших морально и физически систем.

Одним из требований сегодня, поставленным жилищным фондом, является сбережение тепловой энергии в зданиях. Данное требование отвечает Федеральному закону РФ № 399 «О внесении изменений в Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности ...» от 28 декабря 2013 года. Результатом такой политики будет снижение единовременных затрат на капитальный ремонт зданий, а также потребляемых ими в будущем энергетических ресурсов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время к зданиям при капитальном ремонте предъявляют комплекс требований: приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений; температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений; удельная теплозащитная характеристика здания должна быть не больше нормируемой.

Определяющим показателем энергетической эффективности и тепловой защиты зданий принят класс энергосбережения и удельный годовой расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию.



Одним из основных мероприятий повышения класса энергосбережения и снижения расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий является утепление тепловой изоляцией наружных ограждающих конструкций его стен, так как потери тепловой энергии через стены в общем балансе достигают 30 % и более [1].

Применение тепловой изоляции для утепления наружных ограждающих конструкций стен – основное мероприятие по повышению эффективности теплового режима зданий при капитальном ремонте. Однако это ведет к увеличению затрат на теплоизоляционные материалы, поэтому целесообразно определять оптимальную толщину утепления тепловой изоляцией ограждающих конструкций стен зданий.

III. ТЕОРИЯ

Значение оптимальной толщины тепловой изоляции ограждающих конструкций стен здания можно найти исходя из минимума суммарных дисконтированных затрат по утеплению ограждающих конструкций стен здания и его толщины тепловой изоляции [2]:

$$\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} = \sqrt{\frac{86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot \Pi_{\text{т}} \cdot \lambda_{\text{ут}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{н}}) \cdot n)}{r_0 \cdot \eta \cdot (E_{\text{ст}} + H_{\text{ст}}) \cdot \Pi_{\text{ут}} \cdot F_{\text{ут}}} - R_{\text{уст}} \cdot \lambda_{\text{ут}}}; \quad (1)$$

$$r_0 = \frac{1}{1 + (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}})) \cdot (\sum 1_j \cdot \psi_j + \sum n_k \cdot \chi_k)}, \quad (2); \quad \eta = \frac{\sum F_{i,\text{ст}}}{\sum (F_{i,\text{ст}} / R_{o,i}^{\text{усл}}) \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}}))}, \quad (3);$$

$$R_{\text{уст}} = \frac{1}{\alpha_1} + ((\sum F_{i,\text{ст}}) / (\sum (F_{i,\text{ст}} / (\sum (\delta_i^{\text{усл}} / \lambda_i^{\text{усл}})))))) + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (4); \quad R_{o,i}^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i^{\text{усл}}}{\lambda_i^{\text{усл}}} + \frac{\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (5);$$

$$R_{o,\text{уст}}^{\text{пр}} = 1 / ((1 / R_{o,\text{уст}}^{\text{усл}}) + \sum 1_j^{\text{усл}} \cdot \psi_j^{\text{усл}} + \sum n_k^{\text{усл}} \cdot \chi_k^{\text{усл}}), \quad (6); \quad R_{o,\text{уст}}^{\text{усл}} = (\sum F_i) / (\sum (F_i / (\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i^{\text{усл}}}{\lambda_i^{\text{усл}}} + \frac{1}{\alpha_2}))), \quad (7);$$

$$E_{\text{ст}} = r / (1 - \exp(-r \cdot T_{\text{ок}})), \quad (8); \quad T_{\text{ок}} = (\ln(1 + T_0 \cdot r)) / (\ln(1 + r)), \quad (9);$$

$$T_0 = \frac{(\Pi_{\text{ут}} \cdot \delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} + \Pi_{\text{раб}}) \cdot F_{\text{ут}} \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}})) \cdot \eta \cdot r_0 \cdot R_{o,\text{уст}}^{\text{пр}}}{\Pi_{\text{т}} \cdot 86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{н}}) \cdot n) \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}})) \cdot \eta \cdot r_0 - R_{o,\text{уст}}^{\text{пр}}}; \quad (10)$$

$$I_{\text{ут}} = \frac{86400 \cdot z_{\text{от}} \cdot \Pi_{\text{т}} \cdot (\sum F_{\text{ст},i} \cdot (t_{\text{в},i} - t_{\text{н}}) \cdot n)}{r_0 \cdot (R_{\text{уст}} + (\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} / \lambda_{\text{ут}}))} + (\Pi_{\text{ут}} \cdot \delta_{\text{ут}}^{\text{опт}} + \Pi_{\text{раб}}) \cdot (E_{\text{ст}} + H_{\text{ст}}) \cdot F_{\text{ут}}; \quad (11)$$

где $\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}$ – оптимальная толщина утепляющего слоя тепловой изоляции ограждающих конструкций стен здания, м; r_0 – коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции после утепления, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений; η – коэффициент расхождения осредненности по площади условного сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, при утеплении его снаружи теплоизоляционным материалом; $\Pi_{\text{ут}}$ – стоимость 1 м³ утепляющего материала, р./м³; $E_{\text{ст}}$ – коэффициент эффективности инвестиций в утепление наружных ограждающих конструкций стен здания, 1/год; $H_{\text{ст}}$ – норма отчислений на амортизацию и ежегодное обслуживание ограждающих конструкций стен здания, 1/год; $R_{\text{уст}}$ – установленное сопротивление теплопередаче однородной ограждающей конструкции стен здания, (м²·°C)/Вт; $\lambda_{\text{ут}}$ – теплопроводность утепляющего слоя ограждающей



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



конструкции стен здания, Вт/(м·°C); C_T – тариф на тепловую энергию, р./Дж; l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида после утепления, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, м/м²; ψ_j – удельные потери тепловой энергии через линейную неоднородность j -ого вида после утепления, Вт/м²·°C; n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида после утепления, приходящихся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, шт./м²; χ_k – удельные потери тепловой энергии через точечную неоднородность k -го вида после утепления, Вт/°C; $F_{i,ст}$ – площадь i -ой части фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, м²; $F_{ут}$ – общая площадь утепляющей теплозащитной оболочки стен здания, м²; $R_{o,i}^{уст}$ – условное сопротивление теплопередаче однородной части фрагмента теплозащитной оболочки стен здания i -го вида, после утепления его тепловой изоляцией, (м²·°C)/Вт; r – норма дисконта; $T_{ок}$ – срок окупаемости, лет; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи внутренней и внешней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C); $\delta_i^{уст}$ – толщина i -го слоя установленной ограждающей конструкции, м; $\lambda_i^{уст}$ – теплопроводность i -го слоя установленной ограждающей конструкции, Вт/(м·°C); $t_{в,i}$ – расчетная температура внутреннего воздуха i -го помещения в здании, °C; $t_{н}, z_{от}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года и продолжительность отопительного периода, °C, сут/год; n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; T_0 – бездисконтный срок окупаемости инвестиций за счет номинальной величины дохода, лет; $C_{раб}$ – стоимость 1 м² работ по утеплению ограждающих конструкций стен здания с учетом прочих расходов, р./м²; $R_{o,уст}^{пр}$ – установленное приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, (м²·°C)/Вт; $R_{o,уст}^{уст}$ – осредненное по площади установленное условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, (м²·°C)/Вт; $l_j^{уст}$ – протяженность линейной неоднородности j -го вида до утепления, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, м/м²; $\psi_j^{уст}$ – удельные потери тепловой энергии через линейную неоднородность j -ого вида до утепления, Вт/м²·°C; $n_k^{уст}$ – количество точечных неоднородностей k -го вида до утепления, приходящихся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки стен здания, шт./м²; $\chi_k^{уст}$ – удельные потери тепловой энергии через точечную неоднородность k -го вида до утепления, Вт/°C; $I_{ут}$ – приведенные дисконтированные затраты по утеплению ограждающих конструкций стен здания, р./год; $C_{раб}$ – стоимость 1 м² работ по утеплению ограждающих конструкций стен здания, р./м².

Выражение для определения класса энергосбережения здания «КЭ» можно представить в виде [3], %:

$$КЭ = ((q_p - q_{от}^{тр}) / q_{от}^{тр}) \cdot 100, \quad (12)$$

где $q_{от}^{тр}$ – нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м³·°C); q_p – расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания, Вт/(м³·°C).



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты расчета использования предложенной разработки, применительно к утеплению стен и условиям эксплуатации жилого пятиэтажного панельного здания 1970 года постройки в городе Омске (отапливаемый объем 8200 м^3 , отапливаемая площадь 2545 м^2 , существующий класс энергосбережения $+16,1 \%$ («D» пониженный), площади наружных стен: жилой части – 1182 м^2 ; общественной части – 208 м^2 ; общей утепляющей теплозащитной оболочки – 1390 м^2 ; $R_{\text{уст}}=1,077 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$; $r_0=0,878$; $r=0,15$; $E_{\text{ст}}=0,186 \text{ 1/год}$; $H_{\text{ст}}=0,011 \text{ 1/год}$; $Ц_{\text{ут}}=2200 \text{ р./м}^3$; $Ц_{\text{раб}}=2800 \text{ р./м}^2$; $Ц_{\text{т}}=3,583 \times 10^{-7} \text{ р./Дж}$;), показали: $\delta_{\text{ут}}^{\text{опт}}=0,12 \text{ м}$; $I_{\text{ут}}=884000 \text{ р./год}$; $КЭ = -22,5 \%$ («B» высокий).

При выборе стандартных параметров проектировщиками: $\delta_{\text{ут}}=0,1 \text{ м}$ ($I_{\text{ут}}=904000 \text{ р./год}$; $КЭ = -5,6 \%$ («C+» нормальный)); $\delta_{\text{ут}}=0,15 \text{ м}$ ($I_{\text{ут}}=896000 \text{ р./год}$; $КЭ = -28,2 \%$ («B» высокий)).

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Применение предложенной разработки, учитывающий расчет оптимальной толщины утепления тепловой изоляции стен здания, способствует уменьшению затрат при капитальном ремонте и повышению эффективности теплового режима здания, с учетом соблюдения нормативных требований класса энергосбережения.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм эффективного расчёта утепления наружных ограждающих конструкций стен здания при проведении капитального ремонта, с учетом нормативных документов по тепловой защите зданий и оптимальному обоснованию применяемых экономических решений.

Применение оптимизации обеспечивает нахождение наиболее выгодных технических решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Петров, П. В. Основные направления совершенствования тепловой работы зданий и сооружений при капитальном ремонте / П. В. Петров [и др.] // Энергетика и ЖКХ, 2015. № 3(34). С. 30 – 33.
- [2] Резанов, Е. М. Методика эффективного расчета утепления наружных ограждающих конструкций стен зданий при проведении капитального ремонта / Е. М. Резанов [и др.] // Омский научный вестник, 2016. № 6(150). С. 109 – 113.
- [3] СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий (Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003). – Введ. 2013–07–01. – М. : ФАУ «ФЦС», 2012. – 96 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. М. Резанов, к. т. н., доцент каф. «Теплоэнергетика» ОмГУПС, e-mail: rezanove1@mail.ru.

П. В. Петров, заместитель директора по техническим вопросам ООО «Сибирская проектная компания», e-mail: ppv55@mail.ru.



УДК 621.18.01

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ В РОССИИ

Э. Э. Новикова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье рассматриваются эффективные газотрубные конденсационные котлы с целью изучения возможности их применения на территории Российской Федерации. Указаны основные различия между данными котлами и стандартными газотрубными, заключающиеся в использовании теплоты сгорания – высшей или низшей, а также значения минимальной температуры теплоносителя. Приведены преимущества конденсационных котлов перед стандартными моделями. Описывается устройство и принцип действия конденсационного котла, сделаны выводы о рациональной области применения подобных агрегатов.

Ключевые слова – автономное теплоснабжение, газотрубный котел, конденсационный котел, высшая теплота сгорания, температура.

I. ВВЕДЕНИЕ

Создание энергетической эффективности и экологической безопасности – основные тенденции формирования современной теплотехники. Конденсационные котлы позволяют по максимуму использовать всю полноту сгорания органического топлива, уменьшая эксплуатационные издержки и обеспечивая минимум влияния на окружающую среду. В Европейских странах применение подобных теплогенераторов опирается на законы и программы, разработанные правительством, продвигается высокими темпами. Так как в последнее время в России наблюдается рост внутренних цен на энергоносители, перспективы применения в качестве источников теплоты конденсационных котлов для децентрализованных систем теплоснабжения также приобретают экономическую актуальность.

Реальными условиями для использования автономных систем теплоснабжения являются: отсутствие избыточных мощностей на источниках централизованного теплоснабжения; рост новых объектов жилья в городских районах; причем, большая часть построек приходится на местности, где неразвита технологическая инфраструктура; малые капиталовложения и возможность постепенного покрытия тепловых нагрузок; обеспечение условий комфортности в квартире, что является преимуществом по сравнению с объектами при централизованной системе теплоснабжения, в которой температура определяется директивным решением о сроках отопительного периода; присутствие на рынке значительного разнообразия конструкций отечественных и зарубежных теплогенераторов малой мощности [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Необходимо рассмотреть возможность применения конденсационных котлов на территории Российской Федерации с учетом климатических условий. Также необходимо оценить зависимость КПД от температуры обратной воды, учитывая температурные графики при подаче от источников теплоснабжения в тепловые сети: от крупных ТЭЦ: 150/70 °С, 130/70 °С или 105/70 °С; от котельных и небольших



ТЭЦ: 105/70 °С или 95/70 °С. В зависимости от конкретных местных условий применяются иные температурные графики.

III. ТЕОРИЯ

При эксплуатационных режимах котлов классического типа большая доля энергии, накопленная в продуктах сгорания и покидающих камеру, идет на нагрев теплоносителя. Температура уходящих газов (t_{yx}) должна быть не ниже 140...200 °С. Так как при значительных ее понижениях уменьшается тяга, и формируется химически агрессивный конденсат. Это способствует выводу котлов из работы из-за развития коррозии.

Рассуждая об устройстве классических котлов, необходимо выделить то, что последние имеют или один двухступенчатый рекуперативный теплообменник или два отдельных. Первая ступень работает как обычный теплообменник в стандартных котлах. Потом уходящие газы попадают на вторую ступень теплообменника, называемую вторичной или конденсационной. Присутствующий в уходящих газах водяной пар охлаждается до «точки росы» и конденсируется до состояния жидкости. Теплота, которая выделяется в процессе упомянутой трансформации, переходит к теплоносителю. То есть в котлах таких технических конструкций происходит рекуперация [2].

Значительный эффект от применения теплоты конденсации водяных паров из продуктов сгорания обусловлен как существенным их присутствием в продуктах окисления при сжигании топлива с высоким содержанием водорода в горючих компонентах, так и уникальным свойством воды, которая имеет очень большую скрытую теплоту парообразования. При атмосферном давлении эта теплота равна 2270 кДж/кг (540 ккал/кг). Нужно отметить, что при уменьшении парциального давления водяных паров в продуктах сгорания их скрытая теплота парообразования возрастает. Важным аспектом в оценке эффективности работы конденсационного теплогенератора является количество водяных паров в продуктах сгорания и, что особенно важно, доля их конденсации. Поэтому наиболее эффективными являются конденсационные котлы, работающие на газе, жидком топливе и теплогенераторы сжигающие высоко-влажное твердое топливо (торф, древесина и т.д.). Коэффициент полезного действия конденсационного котла не всегда может быть максимальным. Чтобы потери теплоты с уходящими газами стремились к минимуму, на теплообменных поверхностях котлоагрегата должна присутствовать конденсация паров воды из уходящих газов. Это становится возможным, когда температура части поверхности теплообменника эквивалентна или ниже температуры точки росы. При невыполнении этого условия коэффициент полезного действия конденсационного котлоагрегата становится меньше, но все равно он будет на 4...5 % выше, чем коэффициент полезного действия обычного котлоагрегата. Коэффициент полезного действия конденсационного котла выше тогда, когда температура входящего теплоносителя из системы теплоснабжения ниже.

Существуют различные типы конденсационных котлов: настенные (чаще их мощность до 100 кВт); напольные; одноконтурные; двухконтурные. К преимуществам таких агрегатов относится тот факт, что в зимний период, когда средняя температура равна - 20 °С, котлы работают более эффективно, чем их обычные аналоги.



IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При правильном использовании конденсационного котла происходит экономия природного газа не меньше чем на 15 %. При сопоставлении со стандартными моделями, то даже на 30 %. Более того, эти модели конденсационного котлоагрегата наносят незначительный вред окружающей среде, так как выделяют минимальное количество CO и других газов, повышается эффективность применения оборудования и его экологичность. Поэтому основными преимуществами конденсационных котлов, способствующих продвижению последних на рынках России, являются: более полное сгорание топлива по сравнению с конкурентами; невысокая t_{yx} , благодаря чему в дымоходах становится возможным применение более дешевых пластиковых труб; диаметр дымоотводов небольшой, что позволяет сэкономить на материале; меньшие по сравнению с аналогами вес и размеры котла; невысокий уровень вибраций и шума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Любимова Н. Г. Децентрализованное теплоснабжение – путь к энергосбережению // Вестник университета (Государственный университет управления), 2012. № 5. С. 129–133.
- [2] Кулешов М. И., Кожевников В. П., Губарев А. В. Конденсационный водогрейный котел для нужд отопления и горячего водоснабжения // Юбилейная международная научно-практическая конференция "Научные технологии и инновации". – Белгород: Изд-во: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2014. – С. 181 – 189.
- [3] Табунщиков Ю. А. Конденсационные котлы в автономном теплоснабжении // Вентиляция, отопление, кондиционирование, 2014. №4. С. 26 – 28.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Э.Э. Новикова, магистр, linanovikova7@gmail.com



УДК 662.994

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

А. М. Парамонов¹, Е. М. Резанов²¹*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*²*Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия*

Аннотация – обоснована актуальность повышения эффективности работы термических печей посредством оптимизации параметров их тепловой схемы. Разработан метод, алгоритм и программное обеспечение для определения оптимальной температуры подогрева воздуха, идущего для горения топлива в радиационных трубах термических печей. Проведены численные исследования по оптимизации тепловой работы термической печи с радиационными трубами. В работе использованы методы математического моделирования и численного решения оптимизационных задач. Полученные результаты способствуют повышению экономичности работы термических печей, снижению удельного расхода топлива и времени нагрева металла, повышению коэффициента полезного действия печи.

Ключевые слова – топливо, оптимизация, температура, нагревательная печь, рекуператор.

И. ВВЕДЕНИЕ

В машиностроительной промышленности для термообработки изделий широкое распространение получили нагревательные печи с радиационными трубами.

Известные исследования по улучшению работы нагревательных печей преимущественно относятся к нагревательным агрегатам прокатного производства металлургического производства. Исследований термических печей с радиационными трубами в машиностроительной промышленности проводилось недостаточно. Это является сдерживающим фактором повышения эффективности термического производства.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Повышение эффективности работы термических печей с радиационными трубами обеспечивается в первую очередь за счет использования теплоты уходящих газов для подогрева воздуха, подаваемого на горение топлива, так как это дает возможность значительно повысить коэффициент полезного действия печей и сократить удельный расход топлива на тепловую обработку изделий. Но при этом увеличиваются капитальные вложения и эксплуатационные расходы на регенеративные устройства. Вследствие этого актуальна задача определения и выбора оптимальной температуры подогрева воздуха в рекуператоре нагревательной печи.

III. ТЕОРИЯ

Определение экономически наиболее выгодной температуры подогрева воздуха, идущего на горение топлива в радиационных трубах термической печи, производится исходя из условия обеспечения минимальных дисконтированных затрат на рекуператор и топливо, необходимого для тепловой обработки изделий. Выразив расход топлива на тепловую обработку изделий из уравнения теплового баланса рабочего пространства термической печи и площадь теплопередающей поверхности



рекуператора из уравнения теплообмена как функции от температуры воздуха, подаваемого для горения топлива в радиационных трубах, получено расчетное уравнение для нахождения оптимальной температуры подогрева воздуха на основе классического метода решения задач оптимизации и результатов работы [1]:

$$\frac{dZ_p}{dt''_b} = C_T \frac{dB_p}{dt''_b} + C_p \frac{dH_p}{dt''_b} = 0, \quad (1)$$

где Z_p – суммарные годовые дисконтированные затраты на рекуператор и топливо, р./год; B_p, C_T – часовой расход и годовая стоимость топлива, $м^3/ч, (р./м^3) \cdot (ч/год)$; C_p – годовая стоимость в сооружение 1 $м^2$ площади теплопередающей поверхности рекуператора, р./($м^2 \cdot год$); H_p – площадь теплопередающей поверхности рекуператора, $м^2$; t''_b – температура подогрева воздуха в рекуператоре, $^{\circ}C$.

Решение уравнения (1) представляется в виде [2]:

$$at''_b{}^2 + bt''_b + d = 0, \quad (2)$$

$$a = C_p \eta_B C_B''{}^2 V_B c_2 - K \varepsilon_{\Delta t} C_B'' C_T c_2{}^2; \quad (3)$$

$$b = 2(K \varepsilon_{\Delta t} C_T c_1 - C_p \eta_B C_B' t'_B V_B) C_B'' c_2; \quad (4)$$

$$d = C_p \eta_B (C_B'' b_1 c_1 + C_B' t'_B (C_B'' V_B c_1 - c_2 b_1)) - K \varepsilon_{\Delta t} C_B'' C_T c_1{}^2; \quad (5)$$

$$b_1 = Q_H^p (1 - R_2) + C_T' t'_T - C_T t'_T V_T - V_T R_1 - V_B C_B'' \delta t_B; \quad (6)$$

$$c_1 = (A \frac{C_T'}{C_T} + B) t'_T + (\frac{V_B \eta_B C_B'}{m V_T \eta_T C_T'' (1 + \Theta)} - 1) A t'_B; \quad (7)$$

$$c_2 = \frac{A V_B \eta_B C_B''}{m V_T \eta_T C_T'' (1 + \Theta)} + B; \quad (8)$$

$$t'_T = \frac{C_T t'_T + \Theta C_B' t'_B}{(1 + \Theta) C_T} - \delta t_T; \quad (9)$$

$$t''_T = \frac{C_T'}{C_T''} t'_T - \frac{V_B \eta_B (C_B'' t''_B - C_B' t'_B)}{m V_T \eta_T C_T'' (1 + \Theta)}; \quad (10)$$

где Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, $Дж/м^3$; C_T', t'_T – соответственно средняя теплоемкость и температура топлива, $Дж/(м^3 \cdot К), ^{\circ}C$; t_T, C_T – соответственно температура и средняя теплоемкость уходящих газов на выходе из радиационных труб термической печи, $^{\circ}C, Дж/(м^3 \cdot К)$; V_T – количество дымовых газов, приходящееся на единицу количества сжигаемого в радиационных трубах топлива, $м^3/м^3$; R – теплота от химического недожога топлива в уходящих дымовых газах, $Дж/м^3$; R_2 – доля потерь тепла от механической неполноты сгорания топлива; V_B – действительное количество воздуха, идущего для сжигания единицы количества топлива, $м^3/м^3$; δt_B – падение температуры воздуха на пути от рекуператора до горелочных устройств печи вследствие потерь теплоты в окружающую среду, $^{\circ}C$; C_B'' – средняя теплоемкость воздуха на выходе из рекуператора, $Дж/(м^3 \cdot К)$; η_B – коэффициент учета потерь воздуха в рекуператоре; C_B', t'_B – средняя теплоемкость и температура воздуха на входе в рекуператор, $Дж/(м^3 \cdot К)$; K – коэффициент теплопередачи в рекуператоре, $Вт/(м^2 \cdot К)$; $\varepsilon_{\Delta t}$ – поправочный коэффициент при сложной схеме движения теплоносителей в рекуператоре; t'_T, t''_T – температура газов на входе и выходе из



рекуператора, $^{\circ}\text{C}$; А и Б – коэффициенты зависящие от соотношения $(t''_r - t'_r)/(t'_r - t''_r)$; C'_r, C''_r – средние теплоемкости газов на входе и выходе из рекуператора, Дж/($\text{м}^3 \cdot \text{K}$); m – коэффициент, учитывающий выбивание продуктов сгорания из радиационной трубы; η_r – коэффициент учета потерь тепла через футеровку рекуператора в окружающей среде; Θ – степень разбавления воздухом уходящих газов на пути от радиационных труб до рекуператора.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Разработанный алгоритм определения оптимальной температуры подогрева воздуха был апробирован на проходной термической печи непрерывного действия «BIRLEC» R18 с радиационными трубами, служащей для газовой нитроцементации и цементации узлов и деталей автомобильных двигателей. Печь состоит из четырех тепловых зон: первая зона – это зона нагрева металла до 870°C ; вторая и третья зоны – зоны цементации; четвертая зона – стабилизирующая зона, обеспечивающая равномерное температурное поле металла перед его закалкой. Производительность действующего печного агрегата составляет 400 кг/ч при сжигании природного газа с низшей теплотой сгорания $34,5 \text{ МДж/м}^3$, температура подогрева воздуха 100°C , расход газа $4,896 \text{ м}^3/\text{ч}$, коэффициент полезного действия 16,8 %, время нагрева металла в печи 3 ч.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполненные численные исследования с использованием предложенного алгоритма на термической печи показали следующие результаты: оптимальная температура подогрева воздуха в рекуператоре составила $t''_{\text{в,опт}} = 428^{\circ}\text{C}$ при минимальных дисконтированных затратах $Z_p^{\text{min}} = 71900 \text{ р./год}$, расход газа $3,024 \text{ м}^3/\text{ч}$ и поверхность нагрева рекуператора $0,3 \text{ м}^2$, коэффициент полезного действия 28,3 % и время нагрева металла в печи 2,72 ч.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показывают, что повышается коэффициент полезного действия термической печи с радиационными трубами, а также снижается время нагрева металла и удельный расход топлива на тепловую обработку изделий.

Применение оптимизации температуры подогрева воздуха на выходе из рекуператора, обеспечивает нахождение наиболее выгодных технических решений, для достижения максимального технико-экономического эффекта при наименьших затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Парамонов, А.М., Крайнов В.В. Повышение тепловой эффективности и экономичности работы нагревательных печей. – М.: Спутник, 2006. – 226 с.
- [2] Резанов, Е. М. Определение оптимальной температуры подогрева воздуха, необходимого для горения топлива в печах с радиационными трубами / Е. М. Резанов и [и др.] // Промышленная энергетика, 2011. № 2. С. 35 – 38.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. М. Парамонов, д. т. н., доцент (Россия), профессор каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ, e-mail: amparamonov@mail.ru

Е. М. Резанов, к. т. н., доцент каф. «Теплоэнергетика» ОмГУПС, e-mail: rezanovel@mail.ru



УДК 621.592.3

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОВ ЗАКРУТКИ РЕШЕТОК НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОДЕТАНДЕРА

В. Д. Галдин, П. В. Кальницкий

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Исследование процесса расширения продуктов сгорания топлива с образованием твердого диоксида углерода в проточной части осевого турбодетандера является актуальным вопросом. Для выявления особенностей этого процесса на корневом и периферийном диаметрах произведен анализ влияния законов закрутки $c_{\omega}r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$ на распределение давления в проточной части турбодетандера.

Ключевые слова – Диоксид углерода, закрутка решеток, турбодетандер, вымораживание.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из перспективных способов получения твердого диоксида углерода (CO_2) является его вымораживание (десублимация) из потока продуктов сгорания топлива (ПСТ) в турбодетандере (ТД) [1, 2, 3]. Получение твердого CO_2 таким способом оказывает существенный экологический эффект и имеет важное хозяйственное значение в связи с полезным использованием диоксида углерода в ряде отраслей промышленности [4, 5].

В статье [6] представлена установка для комплексного производства теплоты и твердого диоксида углерода, в турбодетандере которой происходит расширение ПСТ. Отличительной особенностью процесса расширения ПСТ в турбодетандере установки является его работа в условиях фазового превращения части рабочего вещества, когда возможно образование в проточной части крупных кристаллов CO_2 , способных привести к повышенным газо- и термодинамическим потерям, неустойчивой работе и эрозионному износу ТД. Анализ литературных источников говорит о том, что данный процесс изучен неполно.

Из вышеизложенного вытекает актуальность дальнейшего исследования процесса расширения продуктов сгорания топлива с образованием твердых частиц CO_2 в проточной части турбодетандера.

II. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе [1] рассматривалось одномерное течение ПСТ в проточной части ТД. Решение предложенной системы дифференциальных уравнений последовательно рассчитывает процесс расширения ПСТ с частичной кристаллизацией CO_2 вдоль криволинейной координаты x средней линии тока проточной части турбодетандера. Расчет был выполнен для среднего диаметра D_{cp} в предположении, что линии тока в меридиональном сечении ТД представляют собой прямые линии, параллельные оси детандера, и являются образующими цилиндрических поверхностей тока (Рис. 1, а), а параметры потока постоянны по высоте решеток. Развертка каждой из таких поверхностей представляет собой плоскость, в которой лежат векторы абсолютной c и относительной w скоростей частиц потока (газа и твердых частиц) (Рис. 1, б).

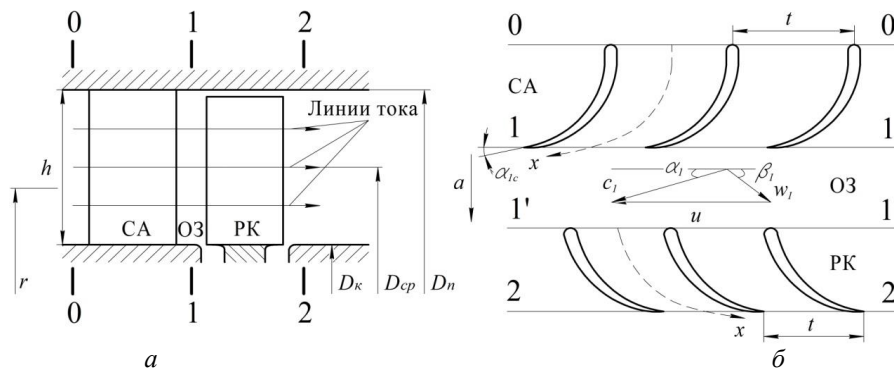


Рис. 1. Меридиональное сечение (а) и развртка на плоскость (б) ступени осевого турбодетандера: СА – сопловой аппарат; ОЗ – осевой зазор; ПК – рабочее колесо

В общем случае при проходе газа через решетку поля скоростей и давлений газа неравномерны в осевом направлении a , по шагу t и по высоте h решетки. Неравномерность по высоте будет тем больше, чем меньше отношение D_{cp}/h . Зная законом изменения угла абсолютной скорости α_1 по радиусу r лопатки $\alpha_1 = \alpha_1(r)$ (закон закрутки решетки), можно определить характер изменения скоростей и давлений по высоте решетки.

Проведенный анализ литературных источников показал, что отсутствуют данные о изменении параметров потока ПСТ по высоте решетки ТД. Целью исследования является выявление особенностей процесса расширения ПСТ с кристаллизацией паров CO_2 на корневом D_k и периферийном D_n диаметрах проточной части осевого ТД. Для достижения поставленной цели необходимо исследовать влияние законов закрутки на распределение давления вдоль проточной части ТД.

III. ТЕОРИЯ

Принимаем, что течение ПСТ перед сопловым аппаратом (сечение 0–0), в осевом зазоре (сечение 1–1) и за рабочим колесом (сечение 2–2) установившееся безотрывное осесимметричное. Проточную часть считаем цилиндрической в меридиональной плоскости (Рис. 1, а). Давление p^* и температуру T^* заторможенного потока ПСТ в сечениях 0–0 и 2–2 принимаем постоянными по высоте решетки. Работа, которую совершает один килограмм газа при переходе через рабочие лопатки, неизменна по высоте, т. е. $l_u = \text{const}(r)$.

Методов закрутки как сопловых, так и рабочих лопаток достаточно много. В общем случае изменение угла α_1 по высоте решетки для различных законов закрутки можно представить в виде

$$\text{tg}\alpha_1 = \bar{D}^m \text{tg}\alpha_{1cp}, \quad (1)$$

где $\bar{D} = D/D_{cp}$; D , α_1 – текущие параметры; D_{cp} , α_{1cp} – параметры среднего сечения; m – показатель степени. Наибольшее распространение в турбостроении получили методы закрутки с практически цилиндрическими линиями тока в меридиональной плоскости. Рассмотрим два из них.

1. Постоянство циркуляции по высоте лопаток. Циркуляция вокруг контура сопловой и рабочей лопатки постоянна когда

$$c_u r = c_{ucp} r_{cp} = \text{const},$$



где c_u – окружная составляющая абсолютной скорости.

Отсюда следует, что осевая составляющая абсолютной скорости

$$c_a = c_{acp} = \text{const.}$$

Для данного закона закрутки в уравнении (1) $m = 1$.

При постоянной циркуляции по высоте решетки с увеличением радиуса возрастает угол α_1 , уменьшается скорость c_1 , растет давление газа p_1 за счет изменения c_u при неизменной c_a .

2. Постоянная величина угла α_1 . Постоянство угла выхода абсолютной скорости из соплового аппарата α_1 достигается при

$$\overline{c_{1u}}, \overline{c_{1a}} = \frac{1}{\bar{D} \cos^2 \alpha_1}.$$

Для данного закона закрутки в уравнении (1) $m = 0$.

При постоянстве выходного угла α_1 абсолютная скорость c_1 падает от корня лопатки к периферии вследствие уменьшения обеих составляющих c_{1u} и c_{1a} .

Давление в сечении 1–1 на любом радиусе

$$p_1 = p_0^* \left[1 - \frac{c_1^2}{2\varphi^2 \frac{k}{k-1} RT_0^*} \right]^{\frac{k}{k-1}},$$

где p_0^* , T_0^* – давление и температура заторможенного потока в сечении 0–0; φ – скоростной коэффициент соплового аппарата, постоянный по высоте решетки; k – показатель адиабаты газа; R – газовая постоянная газа.

По приведенным выше формулам выполнен расчет давления на корневом $p_{1к}$ и периферийном $p_{1п}$ диаметрах в сечении 1–1 осевого одноступенчатого турбодетандера с поворотным сопловым аппаратом, рассмотренного в работах [1, 2, 3]. Основные геометрические характеристики ТД представлены в Табл. I.

В Табл. II приведены результаты расчета давлений $p_{1к}$ и $p_{1п}$ при степени расширения ТД $\pi_d = 2$ и массовой концентрации CO_2 в ПСТ на входе в детандер $g_c = 0,2$ при различных углах поворота $\alpha_{1с}$ соплового аппарата.

В Табл. III представлены результаты расчета давлений $p_{1к}$ и $p_{1п}$ при степенях расширения ТД $\pi_d = 1,8 \dots 2,4$ и массовых концентрациях CO_2 в ПСТ на входе в детандер $g_c = 0,05 \dots 0,2$ при угле $\alpha_{1с} = 13^\circ$ соплового аппарата.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов расчета (Табл. II) показывает, что для рассмотренного ТД давление $p_{1к}$ у корня и $p_{1п}$ у периферии практически не изменяются при законах закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$. Аналогичные результаты (Табл. III) получены и для других значений степени понижения давления $\pi_d = 1,8 \dots 2,4$ и массовых концентраций CO_2 в ПСТ $g_c = 0,05 \dots 0,2$ представляющих теоретический и практический интерес. Расхождение между полученными результатами давлений при рассмотренных законах закрутки не превышает 0,2 %.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



ТАБЛИЦА I

Геометрические характеристики	Сопловой аппарат	Рабочее колесо
Средний диаметр D_{cp} , мм	188	189
Корневой диаметр D_k , мм	154	154
Периферийный диаметр D_n , мм	222	223
Высота лопатки h , мм	34	35

ТАБЛИЦА II

α_{1c} , град	p_{1k} , МПа		p_{1n} , МПа	
	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$
6°52'	0,1236	0,1237	0,1598	0,1598
13°	0,1387	0,1389	0,1681	0,1682
20°24'	0,1606	0,1609	0,1798	0,1799

ТАБЛИЦА III

$\pi_d; g_c$	p_{1k} , МПа		p_{1n} , МПа	
	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$
2; 0,2	0,1387	0,1389	0,1681	0,1682
2; 0,05	0,1330	0,1332	0,1649	0,1650
2,4; 0,2	0,1675	0,1677	0,2023	0,2024
1,8; 0,1	0,1277	0,1279	0,1529	0,1530

Следовательно, законы закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$ не влияют на распределение давления вдоль проточной части рассматриваемого осевого турбодетандера.

Полученные результаты позволяют определить место расположения скачка кристаллизации на корневом и периферийном диаметрах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Галдин, В. Д. Разработка элементов теории и анализ процессов расширения парогазовой смеси в турбодетандере: дис. докт. техн. наук: 05.04.03: защищена 03.12.1998 / В. Д. Галдин. – Омск, 1998. – 410 с.
- [2] Галдин В. Д., Гриценко В. И. Основы теории и опыт создания теплоэнергоагрегатов: монография. ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.
- [3] Кондратьев, Н. В. Коагуляция частиц твердого диоксида углерода при расширении продуктов сгорания топлива в турбодетандере: дис. канд. техн. наук: 05.04.03: защищена 25.06.2004 / Н. В. Кондратьев; ОмГТУ. – Омск, 2004. – 124 с.
- [4] Пименова Т. Ф. Производство и применение сухого льда, жидкого и газообразного диоксида углерода. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 208 с.
- [5] Галдин В. Д. Диоксид углерода. Свойства и применение [Электронный ресурс]: учебное текстовое электронное издание локального распространения. – электрон. дан. – Омск: ОмГТУ, 2016. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
- [6] Кальницкий П. В., Галдин В. Д. Анализ исследования установки для комплексного производства теплоты и твердого диоксида углерода // Актуальные вопросы энергетики: сб. тр. науч. конф. – Омск: ОмГТУ, 2016. С. 56 – 61.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. Д. Галдин, д. т. н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: super-60993@yandex.ru..
П. В. Кальницкий, магистр, e-mail: super-60993@yandex.ru.

УДК 621.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА
МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПОДСТАНЦИИ

Д. И. Данилов, М. В. Шкаруба

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье ставится задача усовершенствования методики расчета молниезащиты подстанций, предложены формулы для расчета зон защиты 3 и 4 молниеотводов, что позволяет существенно облегчить расчет молниезащиты подстанции. Проанализирована концепция методики молниезащиты, такая как методика А. А. Акопяна, предложенная им в 1936 – 1940 гг. В результате решения поставленной задачи, были проведены эксперименты, в которых совпали как экспериментальные, так и расчетные данные, сделаны выводы относительно новых формул.

Ключевые слова – молниезащита, защита подстанции, молниеотвод, прямой удар молнией.

I. ВВЕДЕНИЕ

Стержневые молниеотводы получили наибольшее распространение при защите подстанции от прямых ударов молний. Защитное действие такого молниеотвода основано на явлении избирательной поражаемости молнией высоких объектов. Зоной защиты молниеотвода называют пространство вокруг молниеотвода, в котором поражение защищенных объектов маловероятно. Зоны защиты молниеотводов определяются экспериментально на моделях. Долгие годы молниезащита подстанции выполнялась по методике, предложенной во Всесоюзном электротехническом институте имени В. И. Ленина (ВЭИ) на основе исследований, проведенных в 1936–1940 гг. А. А. Акопяном.

Зона защиты одиночного молниеотвода по этой методике представляет собой «шатер» (рис.1,а). Если объект находится на границе этой зоны (h_x), то защищен с вероятностью $P \approx 0,999$.

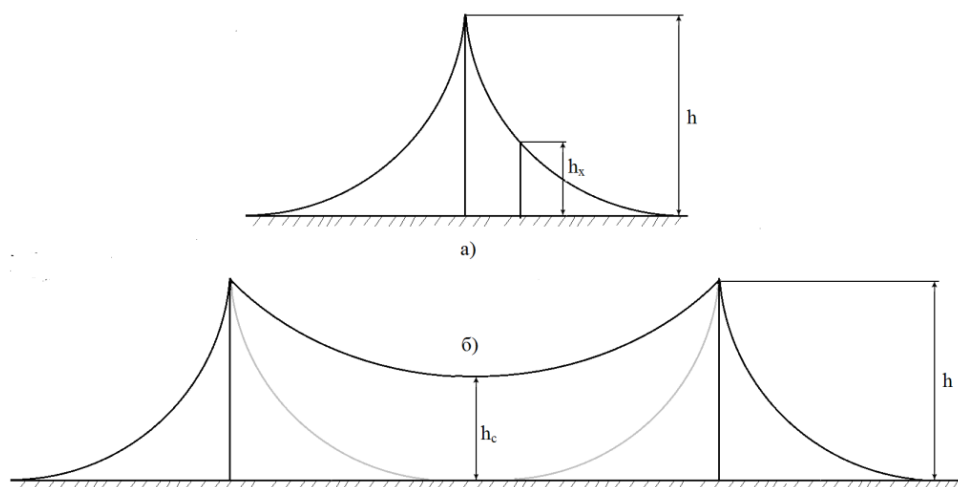


Рис.1. Зоны защиты одного (а) и двух (б) молниеотводов высотой до 60. Здесь h – высота молниеотвода; h_x – высота защищаемого объекта; h_c – наименьшая высота защиты между молниеотводами.

Зона защиты двух молниеотводов высотой до 60 м изображена на (рис. 1,б). Граница внешней зоны определяется так же, как и для одиночного молниеотвода [3]. Граница зоны защиты между молниеотводами (в вертикальном сечении) определяется окружностью радиусом R , проходящей через вершины молниеотводов и точку, расположенную посередине между молниеотводами на высоте: $h_c = h - a/7$, где a – расстояние между молниеотводами, м [3].

Одиночные молниеотводы имеют меньшую зону защиты, чем у трех и более молниеотводов. На рис. 2,а показана зона защиты трех молниеотводов в горизонтальном сечении. Внешняя часть зоны защиты находится так же, как и зона защиты двух молниеотводов. А условие защищенности всей остальной площади, ограниченной треугольником, выражается соотношением $h_a \geq D/8$, где D – диаметр окружности, проведенной через три молниеотвода, h_a – активная зона защиты [3].

Для четырех молниеотводов, расположенных в вершинах прямоугольника, при проверке защищенности всей площади на уровне h_x нужно брать диагональ D (рис. 2,б).

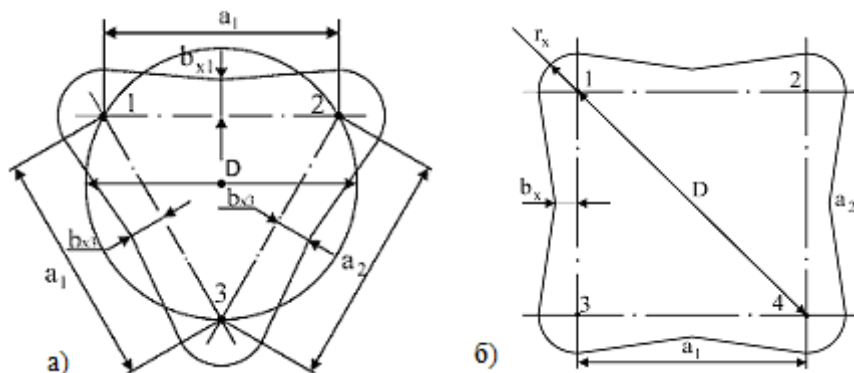


Рис. 2. Зоны защиты трех и четырех молниеотводов горизонтальном сечении на высоте h_x :
1,2, 3,4 – молниеотводы

При произвольном расположении четырех и более молниеотводов защищаемую площадь нужно разбить на треугольники.

Эта методика вошла в «Руководящие указания по расчету зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов» [1]. Она очень удобна для расчетов, так как позволяет по высоте защищаемого объекта h_x сразу определять высоты 3 – 4 соседних молниеотводов.

II. ТЕОРИЯ

Защита подстанции от прямых ударов молнии осуществляется в следующей последовательности:

1. Определяется возможность установки молниеотводов.
2. Размечаются места установки молниеотводов (подстанция должна быть защищена минимальным числом молниеотводов с активной высотой $h_a = 3 - 10$ м).
3. Дробление площади подстанции на треугольники или четырехугольники, и определение активной высоты: $h_a \geq D/8$ и высоты молниеотводов.
4. Проверка защищенности объектов, находящихся за пределами треугольников или четырехугольников.

В дальнейшем было решено перейти на международные стандарты, и в 2003 году приказом Минэнерго России утверждена новая «Инструкция по устройству

молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций” [2]. В новой методике расчета зона защиты одиночного молниеотвода высотой до 150 м представляет собой круговой конус высотой $h_0 < h$ (рис. 3, а). На рис. 3, б приведена зона защиты двойного молниеотвода.

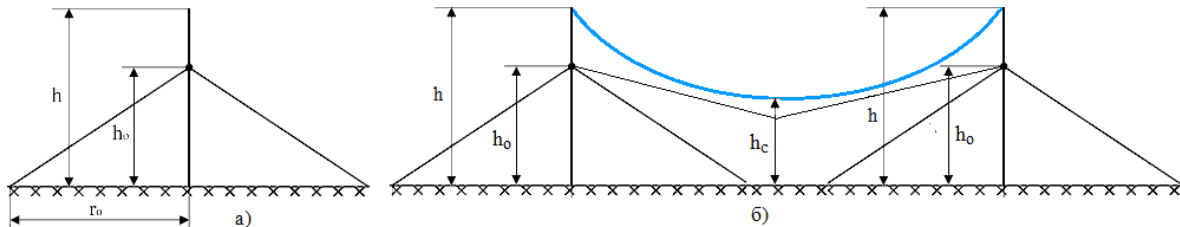


Рис. 3. Зоны защиты одиночного (а) двойного молниеотводов (б): здесь h_c – наименьшая высота защиты между молниеотводами по методике Акопяна.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Новая методика содержит формулы расчета для одного и двух молниеотводов для разных надежностей, но использовать ее для подстанций очень сложно, так как в ней отсутствуют формулы для 3 и 4 молниеотводов.

Было решено на основании расчета и эксперимента дополнить новую методику формулами для 3 и 4 молниеотводов, аналогичные формулам Акопяна

$$h_{1,2,3} = h_0 + D/8 \quad \text{и} \quad h_{1,2,3,4} = h_0 + D/8, \quad (1)$$

только здесь должен стоять другой коэффициент x , а не 8.

Расчеты показали, что коэффициент x в этой методике не является постоянным и зависит от многих причин. Особенно сильно влияет вероятность защиты. Сильно влияют на x размеры защищаемой площади.

Поэтому было решено найти значение x для конкретной задачи. В качестве такой задачи была выбрана молниезащита типовой подстанции 110/6 – 10 кВ [3] (Рис. 5).

Значение x для расчета типовой подстанции 110/6 – 10 кВ можно принять равным 7.

$$h_{1,2,3} = h_c + D/7 \quad \text{и} \quad h_{1,2,3,4} = h_c + D/7 \quad (2)$$

Как показали расчеты, молниеотводы будут получаться примерно на 5% выше, чем по методике Акопяна. Это вызвано тем, что у новой методики h_c (Рис. 4) для двух молниеотводов немного меньше, чем по методике Акопяна.

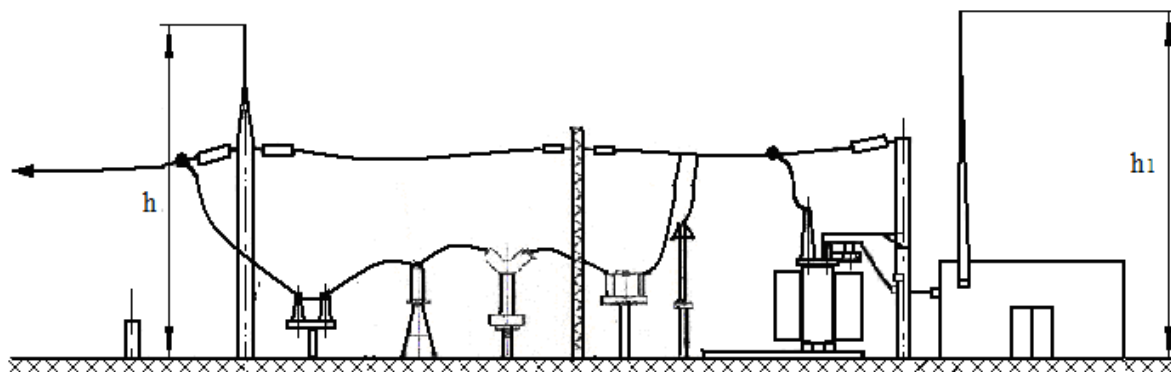
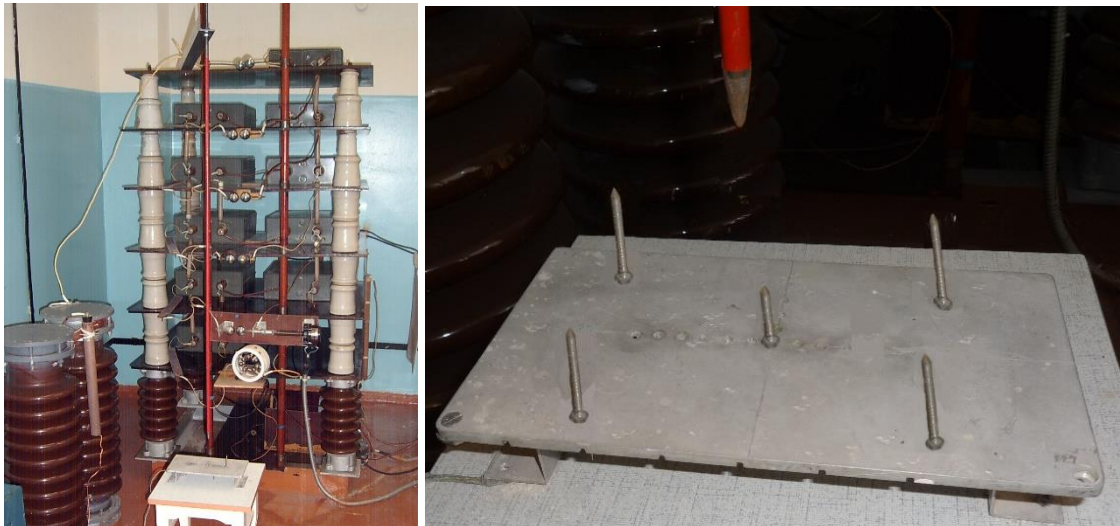


Рис. 4. Типовая понизительная подстанция на 110/6 – 10 кВ

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

Полученные расчеты были проверены экспериментально. Для этого использовался ГИН-300 кВ (Рис. 5, а). Для него изготовлена площадка с 4 молниеотводами (Рис. 5, б). Сначала установлена высота защищаемого объекта, по формуле (2) вычислены и установлены все 4 молниеотвода. Затем выполнялось по 100 разрядов ГИН и высота защищаемого объекта менялась до тех пор, пока в него не приходился всего 1 разряд ГИН. Экспериментальные и расчетные данные хорошо совпадали.



а)

б)

Рис. 5. Фотографии генератора импульсных напряжений (а) и площадки с защищаемым объектом и 4 молниеотводами (б).

V. ВЫВОД

На основании расчетов и эксперимента определены формулы для 3 и 4 молниеотводов, что теперь позволяет выполнять молниезащиту подстанции так же, как и по старой методике:

1. Намечаются места установки молниеотводов .
2. Площадь подстанции разбивается на треугольники или четырехугольники, определяется высота молниеотводов.
3. Проверяется защищенность объектов, находящихся за пределами треугольников или четырехугольников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Руководящие указания по расчету зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов / СЦНТИ. – М.:1974. – 19 с.
- [2] Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Из-во НЦ ЭНАС, 2004. – 48 с.
- [3] Шкаруба М. В. Техника высоких напряжений.– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – 80 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. И. Данилов, магистр, e-mail keziajke@gmail.com

М. В. Шкаруба, к. т. н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail shkaruba@smtp.ru



УДК 62-97

МЕТОДЫ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА ТОПОЧНЫХ КАМЕР КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В. А. Кихтенко, С. А. Рютикова, И. А. Степашкин, А. Г. Михайлов
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – в данной статье рассмотрены основные методы теплового расчета топочных камер котельных агрегатов: модель перемешанного потока, модель стержневого течения, зонная модель топки, нормативный метод. Представлено краткое описание характеристик теплопередачи для многих типов топочных устройств, а также классификация последних. Описание каждого метода расчета содержит в себе рекомендации для определенных типов топочных устройств, где рассмотрены положительные, отрицательные стороны и основные допущения, применяемые в данном расчете.

Ключевые слова – тепловой расчет, котельные агрегаты, топочные устройства, методы расчета.

I. ВВЕДЕНИЕ

Топочное устройство является одним из основных элементов котельного агрегата. В нем происходит процесс преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания, которая затем передается жидкости и пару, находящимся в котле.

Принципы организации сжигания различаются в зависимости от агрегатного состояния органического топлива, по аэродинамическим признакам, а также по конструктивным особенностям топочных устройств. По назначению топки бывают тепловыми, силовыми и технологическими [3].

Сжигание газообразных и жидких топлив осуществляется только в камерных топках, поскольку необходимо осуществить реагирования в объеме. В процессе сжигания твердых топлив основными являются аэродинамические принципы, потому что они осуществляют подвод окислителя к реагирующей поверхности, что в наибольшей мере влияет на удельную производительность и экономичность топочного процесса. В соответствии с приведенными принципами различают способы сжигания твердого органического топлива: слоевой, факельный и вихревой (циклонный). Слоевого способ разделяется на сжигание в кипящем, или псевдоожигенном слое [3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Источником теплоты в топках является энергия, которая выделяется при горении топлива. Для топлив, содержащих водород, существует два значения теплоты сгорания: теплота сгорания, в которой допускается, что вся влага, выделенная в процессе горения, конденсируется и охлаждается до 15 °С; теплота сгорания, в которой допускается, что выделяемая влага остается в паровой фазе.

Характерной особенностью газообразного топлива является сгорание без свечения, в то время как горение нефти может сопровождаться образованием светящегося факела различной степени яркости. Горение распыленного угля из-за наличия в пламени горячих твердых частиц сопровождается образованием факела с высоким уровнем свечения.



Углекислый газ и водяной пар, присутствующие в продуктах сгорания, являются основными источниками излучения от пламени без свечения. Излучение газа зависит от: температуры, объема и его радиационных свойств, обычно выражаемых через коэффициенты излучения и поглощения.

Для расчета излучения яркого пламени необходима информация о радиационных свойствах сажи и других частиц, а также концентрации их распределения.

Чаще всего в качестве теплоприемника применяются один или два ряда труб, расположенных напротив отражающей стенки. Данное расположение повышает эффективность труб с точки зрения поглощения теплоты, это связано с тем, что излучение, не попадающее на большую часть периметра, поступает на отражатель, от которого снова попадает на трубы. Из этого следует, что распределение теплового потока по периметру труб является неоднородным. При применении одного ряда труб, тепловой поток будет максимальным со стороны прямого излучения от продуктов сгорания и меньшие значения теплового потока будут иметь с обратной стороны поверхности труб от отраженного излучения и излучения горячей поверхности отражателя [3].

Еще одной распространенной конструкцией теплоприемника являются горизонтальные трубы, которые размещены в вертикальной плоскости между стенками-отражателями. Расположение труб таким образом используется в критических условиях, когда одним из требований является равномерное распределение труб по периметру. Точное описание рассмотренной конфигурации представляет собой серьезную проблему [3].

Теплоотдача в теплоприемнике. Полное количество теплоты (передача от газообразного источника к поверхности i), передаваемое излучением и конвекцией, равно

$$\dot{Q}_i = g_{g-i} \cdot \sigma \cdot (T_j^4 - T_i^4) + \alpha_i \cdot A_i \cdot (T_k - T_i) \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,76 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴); T_i – абсолютная температура поверхности i ; T_j – абсолютная температура поверхности или объема j внутри камеры сгорания; g_{j-i} – общее сопротивление излучению от поверхности j к i ; α_i – коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности i ; A_i – площадь поверхности i ; T_k – температура газов около поверхности i . Параметр g_{j-i} учитывает многократные отражения от всех поверхностей. Конвективная составляющая в (1) обычно мала по сравнению с радиационной [1].

Расчеты \dot{Q}_i по (1) достаточно сложны, когда общее число поверхности и объемов велико. Очевидно, что для применения этой формулы на практике необходимы некоторые упрощения и предположения, которые представлены ниже.

III. ТЕОРИЯ

Модель перемешанного потока

Модель перемешанного потока достаточно хорошо описывает характеристики теплопередачи многих типов топочных устройств. Данная модель является общей и поэтому может быть применена к любой конфигурации топочной камеры и для всех видов топлива. Рассматриваемая модель используется для предварительных расчетов участков радиационного теплообмена в технологических нагревателях и паровых котлах благодаря своей относительной простоте и соответствию физическим процессам. Она может быть использована для того, чтобы оценить влияния на параметры топки,



а также расход топлива, подогрева воздуха и его избытка, изменяющихся в процессе эксплуатации. Однако данная модель описывает только осредненные характеристики теплоотдачи и не дает никакой информации о распределении теплового потока в топке, а также не учитывает некоторые важные параметры [2].

Основные допущения. Рабочая камера топки подразделяется на три зоны: зону, занятую газом, содержащую факел пламени и продукты сгорания, зону, содержащую поверхность теплоприемников и зону, содержащую поверхность отражателей. Вводятся предположения: для газа задается средняя температура излучения, поверхность поглотителей теплоты принимается серой и температура поверхности равна T_1 , также поверхность отражателей является адиабатической. Потерями излучения через отверстия в стенках камеры можно пренебречь [2].

Теплоотдача от топочных газов. С учетом принятых допущений количество теплоты, передаваемое от газообразных продуктов сгорания к теплоприемнику излучением и конвекцией

$$Q_1 = g_{g-1,r} \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_1^4) + \alpha_1 \cdot A_{1,c} \cdot (T_g - T_1) \quad (2)$$

где σ – постоянная Стефана-Больцмана; α_j – коэффициент теплоотдачи топочных газов; $A_{1,c}$ – поверхность теплоприемника, которая получает теплоту конвекцией; $g_{g-1,r}$ – общее сопротивление передачи теплоты излучением от газа к теплоприемнику, учитывающее многократные отражения от всех поверхностей, и излучение, отраженное от экранов.

Модель стержневого течения

Ограничения, применяемые для модели перемешанного потока, являются недопустимыми и могут играть существенную роль, если длина топки существенно больше ее гидравлического радиуса в туннельных печах, дымогарных паровых котлах, или в металлических подогревателях топок. В таких случаях более точное описание можно получить с помощью применения модели стержневого течения или модели вытянутой топки [2].

Основные допущения. Предположим, что температура и скорость газа равномерно распределены в произвольном сечении топочной камеры. Выделение теплоты при горении происходит таким образом, что температура в сечении топочной камеры остается одинаковой. Также введем допущение о том, что радиация вдоль потока настолько мала, что ей можно пренебречь. Все поверхности являются серыми и отражательные поверхности находятся в радиационном равновесии. Потерями излучения через отверстия в стенках камеры можно пренебречь [2].

Математическая модель передачи теплоты от дымовых газов. При этих допущениях тепловой поток к теплоприемнику в сечении с координатой x может быть выражен через локальные температуры газа и поверхности следующим образом:

$$q_1 = \frac{g_{g-1,r}}{A_1} \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T_1^4) + \alpha_1 \cdot \frac{A_{1,c}}{A_1} \cdot (T_g - T_1) \quad (3)$$

Тепловой поток через стенки-отражателя

$$q_r = U_r \cdot (T_g - T_e) \quad (4)$$

Тепловой баланс для дымовых газов между сечениями x и $x + \Delta x$ имеет вид



$$\dot{q} \cdot dx - \dot{q}_1 \cdot p_1 \cdot dx - \dot{q}_r \cdot p_r \cdot dx = \dot{m}_g \cdot c_{p,g} \cdot dT_g, \quad (5)$$

где q' – линейный поток, обусловленный выделением теплоты при горении; p_l – периметр поверхности поглотителя теплоты; p_r – периметр поверхности отражателя [1].

Зонная модель топki

При расчете потоков со значительными градиентами температур допущения об однородности температуры газа в модели перемешанного потока и допущение об одномерности температуры в модели стержневого течения являются недопустимыми и существенно искажают результаты расчетов. Осуществить тепловой расчет, учитывая градиент температур и других свойств, можно с помощью зонной модели. Зонная модель также используется для исследования влияния на распределение теплового потока таких сложных факторов, как вторичная циркуляция [2].

Основные предположения. Объем топочной камеры делится на малые зоны. Температура, состав и другие физические параметры в этих зонах имеют постоянные значения. Поверхности внутри камеры также разбиваются на зоны. Температура и коэффициент излучения падающих и отраженных потоков в зонах распределены равномерно. Предположим, что поверхности являются серыми, отражение и излучение энергии рассеяно. В соответствии с контуром топki выбирается конфигурация зон для упрощения расчетов коэффициентов сопротивлений излучению между этими зонами. Частным случаем зонной модели является модель перемешанного потока, которая состоит из трех зон: одной зоны, занятой газом, и двух поверхностных зон [2].

Излучение между зонами. Для серого газа тепловой поток излучением между зонами i и j

$$\dot{Q}_{i-j} = g_{i-j} \cdot \sigma \cdot (T_i^4 - T_j^4) \quad (6)$$

где g_{i-j} – общее сопротивление излучению для пары зон $i-j$. Нет отличия в индексации поверхностных и объемных зон. Считается, что поверхность зон разбита на N поверхностных зон и M объемных зон и что индексы $I = 1, 2, \dots, N$ обозначают поверхностные зоны, а индексы $j = N + 1, \dots, N + M$ относятся к объемным зонам.

Обобщенное выражение для теплового потока при излучении между двумя зонами записывается в виде

$$\dot{Q}_{i-j} = g_{i \rightarrow j} \cdot \sigma \cdot T_i^4 - g_{i \leftarrow j} \cdot \sigma \cdot T_j^4 \quad (7)$$

Тепловой баланс записывается для всех зон через неизвестные температуры в зонах. Уравнение теплового баланса для i -й зоны на поверхности имеет вид

$$\sum_{j=1}^{N+M} g_{j-i} \cdot \sigma \cdot T_j^4 - \sum_{i=1}^{N+M} g_{i-j} \cdot \sigma \cdot T_i^4 + \alpha_i \cdot A_i \cdot (T_k - T_i) = \dot{Q}_i, \quad (8)$$

где a_i – конвективный коэффициент теплоотдачи при передаче теплоты к поверхности i ; T_k – температура зоны, примыкающей к поверхностной; Q_i – тепловой поток к поверхности, который должен быть определен из подходящих граничных условий, таких, как уравнение теплопроводности для стенки камеры. Для адиабатической зоны $Q_i = 0$. Аналогично уравнение теплового баланса для газовой зоны i записывается в виде

$$\sum_{i=1}^{N+M} g_{j-i} \cdot \sigma \cdot T_j^4 - \sum_{i=1}^{N+M} g_{i-j} \cdot \sigma \cdot T_i^4 - \alpha_k \cdot A_k \cdot (T_i - T_k) + \dot{Q}_{h,i}, \quad (9)$$



где a_k – коэффициент теплоотдачи для конвекции к соседней зоне с температурой T_k ; $Q_{h,i}$ – суммарный поток в зоне i , проходящий через ее границы [1].

Нормативный метод расчета

Нормативный метод расчета топки основывается на приложении теории подобия к топочному процессу. Наиболее важными параметрами, которые определяют безразмерную температуру газов на выходе из топки, являются критерий радиационного теплообмена Больцмана (Bo) и критерий поглощательной способности Бугера (Bu). Вид функциональной зависимости, связывающей между собой эти параметры, установлен на основании опытных данных по теплообмену в топках котлов.

Учет влияния на теплообмен неизотермичности температурного поля топки и эффекта рассеяния излучения обеспечивается использованием эффективного значения критерия Bu [2].

Безразмерная температура газов на выходе из топочной камеры:

$$\theta''_T = \frac{T''_T}{T_a} = \frac{Bo^{0,6}}{M \cdot Bu + Bo^{0,6}}, \quad (10)$$

где T_a – адиабатическая температура горения, К; M – параметр, учитывающий влияние на интенсивность теплообмена относительного уровня расположения горелок, степени забалластированности топочных газов и других факторов. Формула справедлива для $\theta''_T \leq 0,9$ [2].

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нестационарное течение газов, сопровождающееся процессами горения и излучения, имеет место в топках котлов. Поэтому для расчета сложного теплообмена в подобных устройствах применяются методы численного решения уравнений газовой динамики, записанных в частных производных, и уравнения переноса энергии излучением при соответствующих начальных и граничных условиях. Основное преимущество этих методов заключается в наиболее полном и рациональном учёте всех взаимосвязанных физических и химических процессов в топке котлов. Только при идеальном перемешивании аэродинамическими процессами можно пренебречь, полагая, что параметры одинаковы в любом месте реакционного объема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Справочник по теплообменникам: в 2-х т. Т. 2/ Пер. с англ. под ред. О. Г. Мартыненко [и др.] – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.: ил.
- [2] Михайлов А. Г. Методы расчета теплообмена в топках котлов // Омский научный вестник, 2008. № 3 (70). С. 81 – 84.
- [3] Михайлов А. Г., Батраков П. А. Эффективные поверхности теплообмена в топке газотрубного котла: монография. Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. 120 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. А. Кихтенко, бакалавр, e-mail: vkikhtenko17@yandex.ru
С. А. Рютикова, бакалавр, e-mail: r.svetlana1996@gmail.com
И. А. Степашкин, бакалавр, e-mail: saundersivan7@gmail.com
А. Г. Михайлов, к. т. н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: mikhailovand@yandex.ru



УДК 621.592.3

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОВ ЗАКРУТКИ РЕШЕТОК НА МЕСТО РАСПОЛОЖЕНИЯ СКАЧКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОДЕТАНДЕРА

П. В. Кальницкий, В. Д. Галдин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Выявление особенностей процесса расширения продуктов сгорания топлива с кристаллизацией паров диоксида углерода в проточной части турбодетандера является актуальной задачей. В статье исследовано влияние законов закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$ на место расположения скачка кристаллизации в проточной части турбодетандера. Выполнен анализ расположения скачка кристаллизации на корневом и периферийном диаметрах. Из исследования следует, что рассмотренные законы закрутки не влияют на место расположения скачка кристаллизации, который происходит в последней трети рабочего колеса турбодетандера.

Ключевые слова – Диоксид углерода, закрутка решеток, турбодетандер, скачок кристаллизации.

И. ВВЕДЕНИЕ

Исследование процесса расширения продуктов сгорания топлива (ПСТ) с образованием твердых частиц диоксида углерода (CO_2) в проточной части турбодетандера (ТД) является актуальным вопросом [1, 2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее было рассмотрено влияние законов закрутки постоянства по радиусу r решетки циркуляции $c_u r = \text{const}(r)$ и угла выхода абсолютной скорости $\alpha_1 = \text{const}(r)$ на распределение давления в проточной части ТД.

Для дальнейшего выявления особенностей процесса расширения ПСТ с кристаллизацией паров CO_2 в осевом ТД необходимо: исследовать влияние законов закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$ на место расположения скачка кристаллизации; определить и проанализировать расположения скачка кристаллизации на корневом D_k и периферийном D_n диаметрах ТД.

III. ТЕОРИЯ

Процесс расширения ПСТ в ТД с кристаллизацией CO_2 рассмотрим с помощью условной T - s – диаграммы (Рис. 1), предложенной в [2].

На поле диаграммы нанесены линии постоянной объемной концентрации r_c диоксида углерода, построенные по давлению p и температуре T_s насыщения из уравнения

$$r_c = \exp(23,957443 - 3163,7287/T_s + 0,06577276 \cdot T_s - 3,667608 \cdot 10^{-4} \cdot T_s^2 + 6,661667 \cdot 10^{-7} \cdot T_s^3/p). \quad (1)$$

Линии $r_c = \text{const}$ являются линиями насыщения для данной концентрации CO_2 в ПСТ.

Предположим, что расширение изоэнтропийное (теплоприток извне отсутствует, работа сил сопротивления при движении газа равна нулю), температура T_0 на входе

в ступень ТД соответствует температуре T_S сухого насыщенного пара. При расширении ПСТ в детандере температура потока T снижается в большей степени, чем T_S . В общем случае при появлении переохлаждения ($\Delta T = T_S - T$) наблюдается кристаллизация паров CO_2 с выделением теплоты фазового перехода.

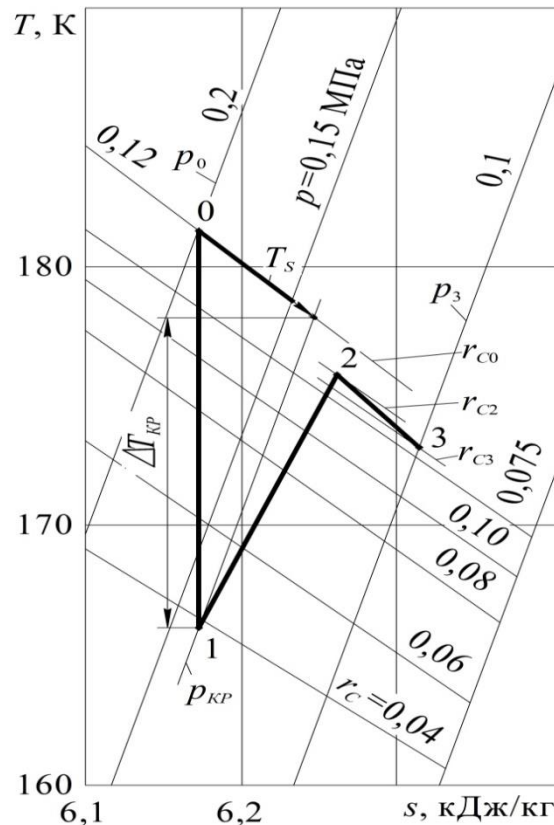


Рис. 1. Условная T-s – диаграмма для продуктов сгорания топлива

Процесс расширения ПСТ в ТД с начальной объемной концентрацией r_{C0} от давления p_0 (точка 0) до давления p_3 (точка 3) делится на три этапа.

На первом этапе (процесс 0–1) наблюдается переохлаждение потока. На втором этапе (процесс 1–2) при снижении давления до p_{CR} достигается критическое переохлаждение ($\Delta T_{KP} = T_S - T_1$) и происходит интенсивное образование зародышей CO_2 и их рост в результате кристаллизации паров. При этом выделяется теплота кристаллизации, повышающая температуру потока до состояния насыщения. Концентрация CO_2 в потоке газа изменяется от r_{C0} до r_{C2} . Происходит скачок кристаллизации. На третьем этапе (процесс 2–3) продолжается кристаллизация CO_2 при малом переохлаждении при этом теплота кристаллизации компенсируется холодопроизводительностью расширяющегося потока. Концентрация CO_2 в потоке газа изменяется от r_{C2} до r_{C3} .

Из работы [2] следует, что в областях степени расширения ТД $\pi_d = 1,8 \dots 2,7$ и объемной концентрации CO_2 в ПСТ $r_C = 0,02 \dots 0,2$ критическим переохлаждением, при котором происходит скачок спонтанной кристаллизации, является разность температур $\Delta T_{KP} = T_S - T = 12,5 \dots 13$ К. Это позволяет определить критическое давление p_{CR} , а вместе с ним и место выпадения CO_2 в проточной части турбодетандера при известном законе распределения давления.

Для определения p_{CR} используется уравнение



$$\Delta T_{\text{КР}} = T_S - T_{\text{КР}} = T_S - T_0 \left[\left(\frac{p_{\text{КР}}}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \eta_d + 1 - \eta_d \right],$$

где T_0 , p_0 – температура и давление ПСТ на входе в ТД; $T_{\text{КР}}$ – критическая температура; k – показатель адиабаты газа; η_d – адиабатный КПД детандера. Температура T_S насыщения при давлении p и концентрации диоксида углерода r_c определяется из уравнения (1).

Для нахождения места скачка кристаллизации распределение давления вдоль элементов проточной части детандера на начальном этапе принимаем прямолинейным.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

По приведенным выше формулам выполнен расчет критического давления на корневом $p_{\text{КРК}}$ и периферийном $p_{\text{КРП}}$ диаметрах осевого одноступенчатого турбодетандера с поворотным сопловым аппаратом при законах закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$. Основные характеристики ТД представлены в [2].

В Табл. I приведены результаты расчета давлений $p_{\text{КРК}}$ и $p_{\text{КРП}}$ при степени расширения ТД $\pi_d = 2$ и массовой концентрации CO_2 в ПСТ на входе в детандер $g_c = 0,2$ при различных углах поворота α_{1c} соплового аппарата.

В Табл. II представлены результаты расчета давлений $p_{\text{КРК}}$ и $p_{\text{КРП}}$ при степенях расширения ТД $\pi_d = 1,8 \dots 2,4$ и массовых концентрациях CO_2 в ПСТ на входе в детандер $g_c = 0,05 \dots 0,2$ при угле $\alpha_{1c} = 13^\circ$ соплового аппарата.

На Рис. 2 показано распределение давления p , температуры T ПСТ и температуры насыщения T_S паров CO_2 на корневом D_k , среднем D_{cp} и периферийном D_n диаметрах проточной части рассматриваемого ТД с учетом кристаллизации диоксида углерода при угле $\alpha_{1c} = 13^\circ$ и концентрации $g_c = 0,2$. Расчет выполнен на основе формул, представленных выше, и данных, полученных в предыдущей статье текущего сборника.

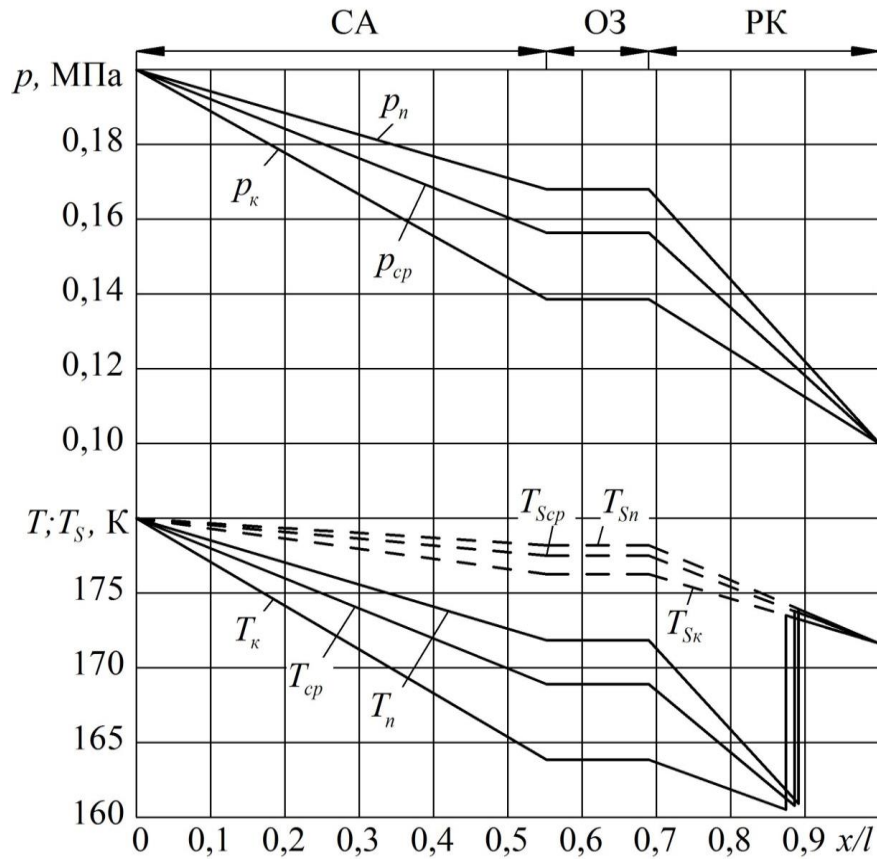


Рис. 2. Распределение давления p , температуры T ПСТ и температуры насыщения T_S паров CO_2 на корневом D_k , среднем D_{cp} и периферийном D_n диаметрах проточной части ТД при $\alpha_{1c} = 13^\circ$ и $g_c = 0,2$: СА – сопловой аппарат; ОЗ – осевой зазор; РК – рабочее колесо; x, l – координата и длина средней линии тока на рассматриваемом диаметре проточной части ТД

ТАБЛИЦА I

α_{1c} , град	p_{KPK} , МПа		p_{KPN} , МПа	
	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$
$6^\circ 52'$	0,1389	0,1389	0,1470	0,1470
13°	0,1157	0,1158	0,1238	0,1239
$20^\circ 24'$	0,1301	0,1302	0,1347	0,1347

ТАБЛИЦА II

$\pi_d; g_c$	p_{KPK} , МПа		p_{KPN} , МПа	
	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$	$c_u r = \text{const}(r)$	$\alpha_1 = \text{const}(r)$
2; 0,2	0,1157	0,1158	0,1238	0,1239
2; 0,05	0,1153	0,1153	0,1231	0,1232
2,4; 0,2	0,1337	0,1338	0,1439	0,1439
1,8; 0,1	0,1133	0,1133	0,1191	0,1191



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



V. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализ результатов расчета (Табл. I) показывает, что для рассмотренного ТД давление p_{KPK} у корня и p_{KPN} у периферии практически не изменяются при законах закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$. Аналогичные результаты (Табл. II) получены и для других значений степени понижения давления $\pi_d = 1,8 \dots 2,4$ и массовых концентраций CO_2 в ПСТ $g_c = 0,05 \dots 0,2$, представляющих теоретический и практический интерес. Ранее было выявлено, что законы закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$ не влияют на распределение давления в проточной части ТД.

Все это говорит о том, что рассмотренные законы закрутки не влияют на место расположения скачка кристаллизации в проточной части рассматриваемого осевого турбодетандера.

Анализ Рис.2 показывает, что расположения скачка кристаллизации на корневом, среднем и периферийном диаметрах находится практически в одном месте – в последней трети рабочего колеса. Массовое выпадение твердого CO_2 следует ожидать ближе к выходу из проточной части турбодетандера. Поэтому эрозионному износу могут быть подвержены выходные кромки лопаток рабочего колеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кальницкий П. В., Галдин В. Д. Анализ исследования установки для комплексного производства теплоты и твердого диоксида углерода // Актуальные вопросы энергетики: сб. тр. науч. конф. – Омск: ОмГТУ, 2016. С. 56 – 61.
- [2] Галдин В. Д., Гриценко В. И. Основы теории и опыт создания теплохладоэнергетических агрегатов: монография. ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. Д. Галдин, д. т. н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: galдин_vd@mail.ru.
П. В. Кальницкий, магистр, e-mail: super-60993@yandex.ru.



УДК 697.911

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ

Д. С. Лобов, К. С. Самутенко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Исследованы определенные условия, при которых разрабатываются и проектируются устройства систем вентиляции. Приведены основные виды мероприятий для повышения энергоэффективности систем вентиляции. Исследованы процессы рекуперации и рециркуляции воздуха. Рассмотрены основные виды рекуператоров воздуха – пластинчатые, роторные, с промежуточным теплоносителем, камерные, тепловые трубки. Указаны все основные преимущества и недостатки каждого вида рекуператоров, указаны их коэффициенты полезного действия.

Ключевые слова – вентиляция, устройства, рециркуляция, рекуперация, энергосбережение.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных составляющих для создания благоприятных условий для жизни и работы человека является эффективная вентиляция помещения. Вопрос повышения энергетической эффективности систем вентиляции и кондиционирования является очень актуальным в настоящее время, т.к. в России огромное количество энергии потребляется системой вентиляции.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Усовершенствование системы вентиляции и рациональное управление ее работой – важный способ повышения ее энергоэффективности. Необходимо выделить методом рассмотрения и обобщения основные значимые мероприятия, которые могут позволить повысить эффективность систем вентиляции.

III. ТЕОРИЯ

Вентиляционные устройства – это специальные устройства, которые поддерживают внутри помещения такое состояние среды, которое не оказывает негативного воздействие на здоровье человека, устанавливают благоприятный микроклимат. Главная цель систем вентиляции – обеспечение санитарно-гигиенических условий для комфортного нахождения человека в помещении.

Устройства систем вентиляции должны разрабатываться и проектироваться с учетом определенных условий:

- 1) Площадь для их размещений должна быть минимальной, не ухудшать при этом интерьер помещения;
- 2) Устройства системы вентиляции не должны мешать производственному процессу, тем самым обладая хорошей звуко- и виброизоляции;
- 3) Наличие удобной эксплуатационной характеристики;

4) Достижение максимально возможной производительности системы при минимальных затратах стоимости оборудования и его эксплуатации. Т.е. необходимо создание и развитие энергосберегающих систем вентиляции.

В настоящее время существуют различные мероприятия для повышения эффективности систем вентиляции. Рассмотрим основные из них:

1) Рециркуляция воздуха – это повторное использование отработанного воздуха, т.е. подмешивание воздуха, удаляемого из помещения, к наружному воздуху, и подача этой смеси в помещение. Главная цель этого мероприятия – экономия тепловой энергии в переходный, а также холодный периоды года. Существенный недостаток – рециркуляция может не допускаться нормативными документами для определенного типа здания. При использовании принципа рециркуляции необходимо соблюдать следующие условия: количество чистого воздуха, поступающего извне, должно составлять не менее 10 % от общего количества воздуха подаваемого в помещение; воздух, поступающий в помещение, должен содержать не более 30 % вредных веществ по отношению к их предельно допустимой концентрации.

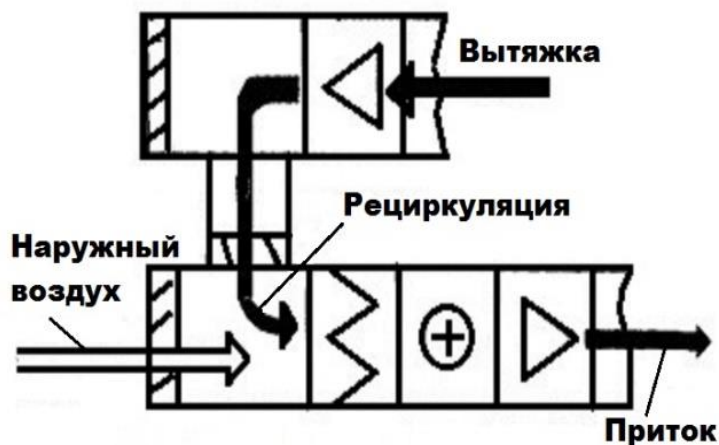


Рис. 1. Схема рециркуляционной приточно-вытяжной системы

2) Рекуперация воздуха – это процесс, при котором приточный воздух обогревается теплым сточным воздухом. Передача тепла производится с помощью теплообменных аппаратов, которые различны по типу исполнения и способу движения воздушного потока. Главное достоинство – отсутствие потребности в устройстве воздухопроводов.

Существует пять основных типов рекуператоров воздуха:

А) Пластинчатый (имеет пластиковые или металлические пластины) – производительность таких устройств составляет 55 – 75 %. Недостаток – образование конденсата, вследствие чего рекуперативное устройство “обмерзает”;

Б) Роторный (характеризуется наличием ротора) – производительность таких устройств составляет 70 – 85 %. Довольно низкое потребление электрической энергии. Недостаток – большое количество механики повышенной сложности;

В) С промежуточным теплоносителем (за передачу тепла отвечает вода или водный раствор) – недостаток – КПД составляет лишь 40 – 55 %, а также передача запахов;

Г) Камерный (имеет заслонку, разделяющую камеру на две части) – высокий КПД 70 – 80%. Недостаток – наличие подвижных деталей, передача запахов;

Е) Тепловые трубки (система наполненных фреоном трубок) – КПД достигает 65 – 70 %. Отсутствуют подвижные части. Исключено смешивание потоков.



Рис. 2. Схема работы вентиляции с рекуперацией тепла

3) Использование электродвигателей с отсутствием “мертвых зон”, т.е. электродвигателей с измененной конструкцией. Это рекомендуется для того, чтобы снизить общее энергопотребление рабочего вентилятора, снизить уровень шума, обеспечить более плавное регулирование частоты работы вентилятора.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены и обобщены три основных вида мероприятий, которые можно проводить с целью повышения энергетической эффективности систем вентиляции. Рассмотрены основные типы устройств, позволяющих добиться поставленной задачи. Указаны положительные стороны и недостатки этих устройств, их КПД. Описаны условия, в основе которых должны разрабатываться и проектироваться устройства систем вентиляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дроздов В. Ф. Отопление и вентиляция. Ч. 2. Вентиляция. – М.: Высш. шк., 1984. – 263 с.
- [2] Богословский В. Н. Отопление и вентиляция. Том 2. Вентиляция. –М.: Стройиздат, 1976. – 439 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. С. Лобов, магистр ОмГТУ, e-mail: nimus94@mail.ru
К. С. Самутенко, магистр ОмГТУ, e-mail: nimus94@mail.ru



УДК 66.023.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПЕЧНЫМ СПОСОБОМ

Д. Г. Мумладзе, П. А. Батраков, А. А. Беляков, Е. В. Зиновьев

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье рассмотрено понятие технического углерода, принцип получения и производства в печных реакторах. Описана доля применения в шинной и химической промышленности. Более 96 % производимого технического углерода получают печным способом из жидкого сырья – получение технического углерода печным способом, который позволяет получать различные марки технического углерода с определенным набором свойств. За основу взят печной реактор РС 50/3500 с расходом сырья 3500 м³/ч. Описано время образования частиц технического углерода, принцип работы реактора, а так же температурные зоны в различных частях аппарата.

Ключевые слова – Технический углерод, печной реактор, сгорание топлива.

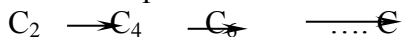
I. Введение

Технический углерод – один из древнейших химических продуктов. Явление усиления резины техническим углеродом совершило революцию в резиновой и шинной промышленности, ставших в последствии основными их потребителями. Повышая механическую прочность, износостойкость, сопротивление раздиру и твердость резины, технический углерод увеличивает срок службы резиновых изделий и ее эластичность, а также применяется в качестве наполнителя для полиэтиленовых изделий [1].

II. ТЕОРИЯ

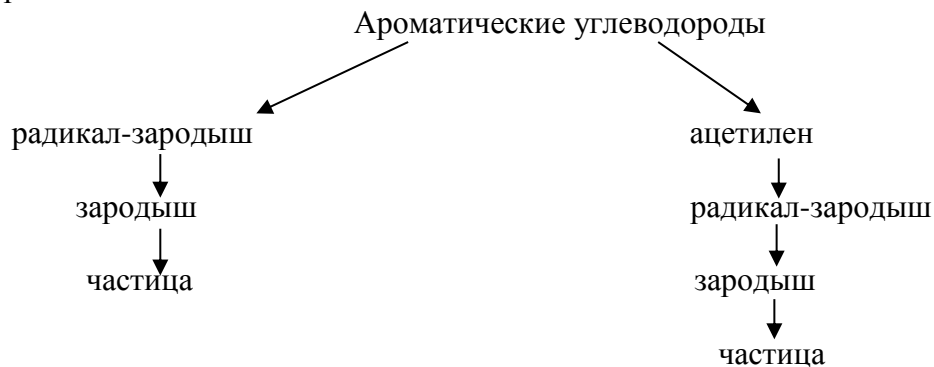
В основе процесса получения технического углерода лежит термоокислительное разложение углеводородов. Образование техуглерода включает:

- Образование радикалов зародышей.
- Образование зародышей из радикалов – зародышей.
- Рост зародышей.



Радикал – зародыш

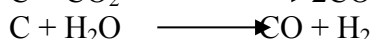
Зародыш





Образование частиц технического углерода происходит в течение $10^{-3} - 10^{-4}$ с. Рост зародышей – гетерогенная реакция, в которой участвуют все молекулы углеводородов, находящиеся в контакте с растущей поверхностью. На ранней стадии образования частиц происходит их коагуляция. В процессе последующего роста агрегатов скоагулированных частиц происходит срастание частиц друг с другом с образованием первичных агрегатов, размеры и разветвленность которых характеризует степень структурности технического углерода.

По окончании процесса роста частиц на их поверхности происходят различные вторичные процессы, приводящие к изменению свойств технического углерода: выгорание углерода на поверхности частиц, взаимодействие углерода на поверхности частиц с водяным паром и двуокисью углерода по уравнениям:



Следствием этого является понижение выхода технического углерода, поэтому после завершения процесса роста частиц для прекращения вторичных процессов реакционную смесь охлаждают водой [2].

Установка предназначена для получения технического углерода в реакторе, путем термоокислительного разложения углеводородов под воздействием высокой температуры.

Процесс получения печного, полуактивного топлива технического углерода может осуществляться в цилиндрическом реакторе типа РС 50/3500. Принцип получения технического углерода основан на разложении углеводородов сырья в высокотемпературном потоке продуктов, полного сгорания природного газа. Природный газ вводится в камеру горения аксиально шестью струйными горелками типа «Кенгору» смонтированных на передней крышке реактора и сгорает в присутствии воздуха, подогретого до температуры не менее $450\text{ }^\circ\text{C}$ в воздухоподогревателе ПВ-185 [3, 4].

В продукт сгорания топлива, шестью радиальными форсунками, впрыскивается сырье представляющее смесь углеводородов различного класса, предварительно подогретое, обезвоженное и очищенное от механических примесей на участке подготовки сырья. Для регулирования отдельных показателей качества технического углерода в сырье, непосредственно перед реактором, подаются растворы присадок щелочных металлов. Количество вводимого раствора составляет: $3,5 - 5$ литров $0,1 - 0,2\%$ водного раствора КОН на тонну сырья.

Формирование факела распыленного сырья осуществляется воздухом среднего давления ($0,06\text{ МПа}$), предварительно подогретого до температуры не менее $450\text{ }^\circ\text{C}$ и подаваемого соосно к сырьевым форсункам механического типа.

При температуре в зоне реакции не более $1650\text{ }^\circ\text{C}$ происходит термическое разложение углеводородов сырья с образованием твердой фазы дисперсного углерода.

Для прекращения реакции газификации и сохранения необходимых свойств технического углерода производится охлаждение, аэрозоля технического углерода осветленной водой, впрыскиваемой форсунками, установленными в два сечения по длине реактора:

1 сечение (предзакалка) – 4 форсунки;

2 сечение (зона закалки) – 4 форсунки.

Далее технологически необходимое охлаждение, аэрозоля технического углерода осуществляется в воздухоподогревателе ПВ-185 и оребренной вставке за счет отдачи

физического тепла, аэрозоля, воздуху на горение и теплопотерь в окружающую среду [5]. Схема производства технического углерода представлена на рис. 1.

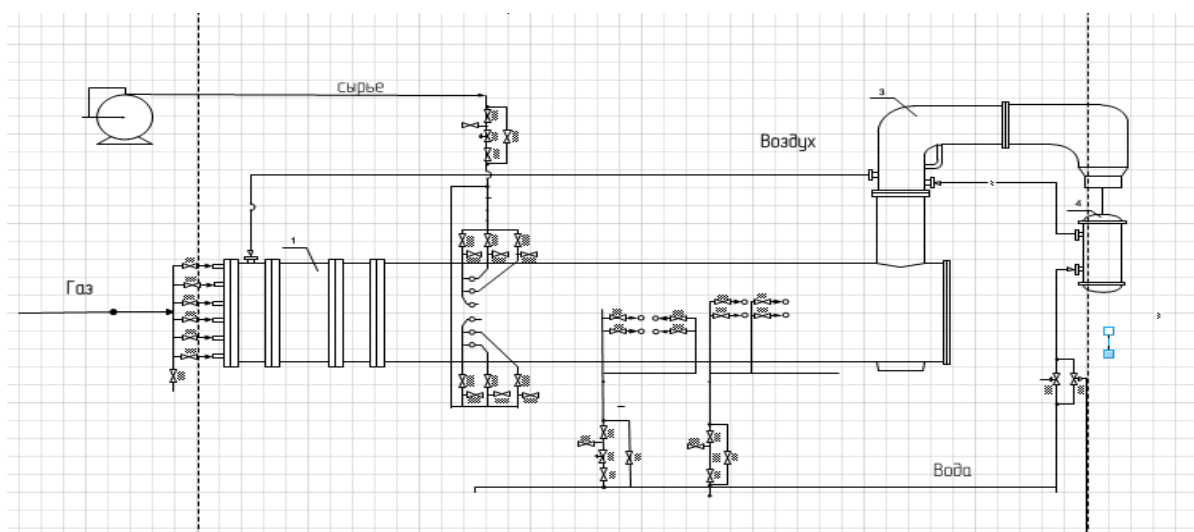


Рис. 1. Схема узла производства технического углерода

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

В процессах техуглерода, процессы горения являются важной составляющей как самого процесса получения технического углерода, так и процессов сушки и сжигания отходящих газов. В данной статье рассматривается процесс получения технического углерода в печном реакторе типа РС 50/3500. Процесс происходит в реакторе, который имеет две зоны, в одной из которой сжигают природный газ. Во второй зоне происходит разложение сырья и образование технического углерода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. Массообменные процессы и аппараты. 4-е изд. в 2. Ч – М.: Химия, 2002 – 400 с., 368 с.
- [2] Вихман Г. Л., Круглов С. А. Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. – М.: Машиностроение, 1978. – 328 с.
- [3] Поникаров И. И., Гайнуллин М. Г. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки: Уч. изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Альфа-М, 2006. – 608 с.
- [4] Лощинский А. А. Основы конструирования и расчета химических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- [5] Ивановский В. И. Технический углерод. Процессы и аппараты. – Нижнекамск: Полиграф НК, 2005. – 227 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. Г. Мумладзе, магистр, e-mail: daniel_mumladze@mail.ru.

П. А. Батраков, к. т. н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: peter_1cool@mail.ru.

А. А. Беляков, магистр, e-mail: 5374748@mail.ru.

Е. В. Зиновьев, магистр, e-mail: evgeniy.zinovev.2012@mail.ru.



УДК 621.316.722.1

АНАЛИЗ СПОСОБОВ УЛУЧШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Д. В. Шагаров, К. В. Хацевский

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Значительные колебания и отклонения напряжения в питающих сетях весьма отрицательно сказываются на качестве и продолжительности работы электрооборудования. Для устранения указанного недостатка питание электрооборудования осуществляют через стабилизаторы напряжения. В данной работе выполнен анализ патентов, изобретений и полезных моделей стабилизаторов напряжения и рассмотрены возможные способы улучшения их эксплуатационных характеристик, а также масса-габаритных параметров, что востребовано в современной системе электроснабжения и энергетики в целом.

Ключевые слова – стабилизатор напряжения, отклонение напряжения, патенты, качество электроэнергии.

И. ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы развития производства, ведут к непрерывному повышению потребления электроэнергии. Рост нагрузок в населённых пунктах и на производстве ухудшает качество электроэнергии. Кроме того, в настоящее время интенсивно развиваются компьютерные системы связи и обработки информации, автоматические системы управления технологическими процессами и производственными комплексами, при несоответствии качества потребляемой электроэнергии и перерывы в электроснабжении таких систем могут приводить не только к сбоям в работе, но и к аварийным ситуациям, последствиями которых может быть значительный ущерб [1].

Учитывая негативные последствия, связанные с увеличением или уменьшением напряжения более чем на 5 %, такие как перерасход электрической энергии, чрезмерный износ оборудования потребителей, особое значение приобретает стабилизация напряжения.

Значительные колебания и отклонения напряжения в питающих сетях весьма отрицательно сказываются на качестве работы электрооборудования. Для устранения указанных недостатков питание электрооборудования осуществляют через стабилизаторы напряжения [2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Известно, что потребители электроэнергии рассчитаны работать на номинальные значения параметров, обеспечивающих их высокие значения КПД, показателей надежности, а также длительное время работы.

В соответствии с государственной программой Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 321 "Энергоэффективность и развитие энергетики", подпрограммой "Развитие и модернизация электроэнергетики", целью которой является инвестиционно-инновационное обновление отрасли, направленное на обеспечение высокой энергетической, экономической и экологической эффективности производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Одними из задач подпрограммы является повышение экономической и энергетической эффективности электроэнергетики; повышение надежности функционирования



электроэнергетики [3]. Таким образом, Правительство РФ, динамика развития производства предъявляет повышенные требования к показателям качества электроэнергии и надёжности электроснабжения.

С 1 июля 2014 года вступил в действие ГОСТ 32144-2013, регламентирующий нормы качества электрической энергии, согласно которому предел установившегося напряжения увеличивается до 10 % [4].

Самый простой вариант для поддержания напряжения – использование стабилизатора напряжения. Стабилизатором напряжения называется устройство, поддерживающее неизменным напряжение на нагрузке при изменении значений питающего напряжения, температуры окружающей среды и при воздействии других дестабилизирующих факторов, которые могут привести к изменению напряжения на нагрузке [5].

III. ТЕОРИЯ

В настоящее время на рынке стабилизаторов предложено большое количество типов приборов от самых разных производителей для стабилизации напряжения, как в быту, так и в производстве. Анализ патентов, изобретений и полезных моделей за последние 5 лет позволил выделить следующую классификацию. Условно все проанализированные устройства стабилизации напряжения можно разделить на:

- 1) устройства для стабилизации однофазного напряжения;
- 2) устройства для стабилизации трехфазного напряжения;
- 3) устройства для стабилизации на трансформаторной подстанции.

В свою очередь, устройства для стабилизации однофазного напряжения можно разделить на устройства для стабилизации постоянного напряжения и устройства для стабилизации переменного напряжения.

Устройства для стабилизации напряжения на трансформаторной подстанции.

Основными недостатками в имеющихся стабилизаторах напряжения на трансформаторной подстанции являются:

- 1) повышение искажений напряжения потребителей и тока сети при расширении диапазона регулирования. Это в свою очередь ухудшает энергетические показатели подстанции и динамические свойства стабилизатора при резких изменениях напряжения в сети, величины и характера нагрузки;

- 2) создание стабилизаторами больших искажений при номинальном напряжении в сети.

Техническая новизна имеющихся патентов, изобретений и полезных моделей заключается в ведении дополнительных элементов в устройство стабилизатора и систему управления входом и выходом сигнала. Результатом этого является рациональное энергопотребление вследствие улучшения качества напряжения и тока на входе и выходе трансформаторных подстанций и снижения в связи с этим потерь силовых трансформаторах и в сети, а также улучшение формы напряжения питания потребителей и повышение точности и быстродействия поддержания его на заданном уровне вследствие существенного уменьшения глубины модуляции добавочного напряжения.

Устройства для стабилизации постоянного напряжения.

Основными недостатками в имеющихся стабилизаторах постоянного напряжения являются:

- 1) невозможность восстанавливать свою работоспособность без постороннего вмешательства при кратковременном пропадании питающего напряжения и повторном его возникновении. Запуск стабилизатора происходит лишь в том случае, если после



выключения питающего напряжения повторное его включение произойдет по истечении времени, достаточного для разрядки пускового конденсатора. Как следствие, необходимо обязательное наличие дополнительного источника питания, что существенно ограничивает применение серии таких стабилизаторов;

2) сложность, обусловленная использованием блоков защиты, выполненных в виде стабилизаторов с непрерывным регулированием;

3) не обеспечивает защиту нагрузки от повышенного напряжения, т.к. при его включении на выходе появляется импульсное напряжение, равное входному, что приводит к выходу из строя питаемой аппаратуры;

4) большое число элементов, выполняющих только функцию запуска, что приводит к усложнению устройства и, следовательно, к ухудшению массогабаритных показателей.

Технический результат имеющихся патентов, изобретений и полезных моделей позволяет:

1) вырабатывать регулируемое напряжение в более широком диапазоне, что увеличивает область применения стабилизаторов;

2) повысить надежность запуска стабилизатора при кратковременном пропадании входного напряжения;

3) повысить надежность стабилизатора путем исключения появления импульсного напряжения на нагрузке при его включении;

4) повысить надежность устройства и стабильности выходного напряжения;

5) увеличить КПД, снизить себестоимость и повысить эффективность эксплуатации, увеличить надежность системы в целом.

Устройства для стабилизации переменного напряжения.

Основными недостатками в имеющихся стабилизаторах переменного напряжения являются:

1) сложная конструкция стабилизатора, высокая стоимость и ненадежная работа;

2) значительные коммутационные токи, резкое повышение в переходном процессе тока;

3) отсутствие точной защиты от перегрузки в широком диапазоне (от 90 В до 270 В) входных напряжений для предотвращения выхода из строя как самого устройства, так и нагрузки. Кроме того, при низком входном напряжении большая погрешность индикации, показывающей ток нагрузки.

4) небольшой диапазон регулирования и импульсно-фазовое управление оптосимисторами, приводящее к неизбежным искажениям напряжения сети, что не приемлемо.

Технический результат имеющихся патентов, изобретений и полезных моделей позволяет достичь следующее:

1) введение в стабилизатор регулятора позволяет упростить конструкцию стабилизатора, повысить надежность и снизить стоимость. Использование устройства управления регулятором позволяет повысить надежность за счет значительного уменьшения количества дискретных электронных элементов и обработки значительного числа аварийных ситуаций, также повышается точность измерений и объем отображаемой информации, снижается стоимость;

2) снижение динамических потерь электроэнергии в первичной обмотке трансформатора при шунтировании контактами реле токоограничивающего резистора;

3) повышения КПД устройства за счет снижения динамических потерь электроэнергии, обусловленные всплесками тока намагничивания трансформатора;



4) обеспечение защиты от превышения номинальной мощности и линейной индикации во всем диапазоне входных напряжений, за счет введения в стабилизатор переменного напряжения блока защиты от превышения номинальной мощности и блока индикации, что обеспечивает надежность и безопасность заявленного устройства.

Устройства для стабилизации трехфазного напряжения.

Основными недостатками в имеющихся стабилизаторах трехфазного напряжения являются:

1) узкий диапазон входного напряжения и увеличенные массогабаритные параметры вольтодобавочного трансформатора в мощных стабилизаторах переменного напряжения;

2) стабилизация только постоянного напряжения в узком диапазоне входного напряжения.

Технический результат имеющихся патентов, изобретений и полезных моделей позволяет обеспечить стабилизацию выходного трехфазного переменного напряжения при изменении входного напряжения в широком диапазоне, уменьшение массогабаритных показателей. Указанный технический результат достигается тем, что в способе и устройстве стабилизации трехфазного переменного напряжения, блок управления управляет автономным инвертором напряжения по закону синусоидальной векторной широтно-импульсной модуляции.

IV. Выводы и заключение

В заключении следует отметить, что большинство рассмотренных патентов, изобретений и полезных моделей представляют собой устройства стабилизаторов напряжения, в основе разработки которых лежит совершенствование, доработка и устранения недостатков в структуре, схеме, параметрах и режимах работы уже имеющихся устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Крысанов В. Н., Макаров И. В. Статические устройства стабилизации напряжения в распределительных сетях // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2012 г. Т8 № 5. С. 98 – 101.
- [2] Денисенко Е. А., Тарасов М. М., Кривошей А. А., Бондарчук А. В. Источники бесперебойного и автономного электроснабжения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016 г. № 115. С. 1337 – 1349.
- [3] Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. N 321 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Энергоэффективность и развитие энергетики".
- [4] ГОСТ 32144-2013 Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Дата введения – 01.07.2014 года.
- [5] Голиков И. О., Виноградов А. В. Современные стабилизаторы напряжения, их разновидности, достоинства и недостатки // Агротехника и энергообеспечение. 2014 г. Т. 1. № 1. С. 409 – 414.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. В. Шагаров, бакалавр, e-mail: Shagarov1984@yandex.ru

К. В. Хацевский, д. т. н., профессор кафедры "Электрическая техника" e-mail: xkv-post@rambler.ru.



УДК 621.315.23

ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ 10/0,4 КВ

С. В. Козлей, К. В. Хацевский

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Кабельные линии электропередачи напряжением 10/0.4 кВ, участвующие в электроснабжении большинства городских объектов, имеют тенденцию к увеличению протяженности в связи с плотной застройкой и концентрацией предприятий в крупных населенных пунктах и городах. Для города Омска кабельные линии являются основным видом распределительных электрических сетей. В настоящее время большая часть кабельных линий напряжением 10/0.4 кВ эксплуатируются уже более 25 лет и характеризуются повышенным количеством повреждений. Поэтому повышение надежности силовых кабельных линий – одна из важнейших задач обеспечения надежного электроснабжения потребителей электрической энергии.

Ключевые слова – Кабельные линии, причины повреждений, разрушающие факторы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Отказы КЛ в работе ведут к перерывам электроснабжения, что ставит под угрозу энергобезопасность современных городов. К последствиям длительных перерывов электроснабжения можно отнести нарушение технологии производства на предприятиях, браку выпускаемой продукции, нарушению нормального теплоснабжения (особенно индивидуального), нарушению горячего и холодного водоснабжения, остановке электрического транспорта, нарушению системы управления транспортными потоками (светофорные объекты), и многим другим последствиям нарушающим нормальный «ритм города». Поэтому совершенствование организации технической эксплуатации подсистемы кабельная сеть приведет к повышению надежности перечисленных систем и, в конечном итоге, к энергосбережению.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Если анализировать статистику отказов КЛ различных напряжений и степень их влияния на возникающие убытки, то наибольшие убытки возникают при отказах КЛ 6 – 10 кВ, на которые приходится более 70 % всех нарушений электроснабжения потребителей [1]. Технологические нарушения в сетях 6 – 10 кВ ведут в свою очередь и к перерывам в электроснабжении сетей 0,4 кВ, что негативно сказывается на надежности электроснабжения ответственных потребителей и социально значимых объектов г. Омска.

Возникающие в последнее время аварии, а также технологические нарушения в электроэнергетике России приводят к нарушению электроснабжения промышленных и бытовых потребителей и как следствие к большим экономическим убыткам.

III. ТЕОРИЯ

В реальных условиях эксплуатации на протяженный кабель воздействует множество разрушающих факторов, многие из которых являются случайными. К таким факторам относятся: воздействие электрического поля, вызывающее электрическое старение изоляции; воздействие теплового поля, вызывающее тепловое старение и окисление изоляции; увлажнение изоляции, приводящее к ухудшению электрофизических



характеристик изоляции; механическое старение и повреждение под воздействием вибрации, электродинамических усилий и механических нагрузок; химическое старение под влиянием агрессивных веществ.

Старение изоляции силовых кабелей в результате длительного воздействия эксплуатационных факторов может привести к пробое кабелей при достижении предельных значений характеристик изоляции [2].

Одними из главных причин аварий и технологических нарушений в настоящее время является моральный и физический износ электрооборудования (моральный и физический износ КЛ 6 – 10 кВ в системах электроснабжения составляет 40 – 95 % [3, 4, 5]), а также наличие дефектов в его изоляции, возникающих в процессе изготовления, транспортировки, монтажа и во время эксплуатации.

Износ кабельных линий 10/0,4 кВ в городе Омске по информации АО «Омскэлектро» составляет от 64,4 % до 71,64 %. Подавляющее большинство кабельных линий выполнены кабелем с бумажно-пропитанной изоляцией.

Для сравнения уровня надежности КЛ рассматривались статистические данные с 2009 г. по 2016 г. Благодаря компьютеризации в местной службе релейной защиты и автоматики, районах электрических сетей (РЭС) города Омска, в управлении АО «Омскэлектро» создаются базы данных по испытаниям и отказам КЛ в работе. Это позволяет оперативно проводить технический анализ и принимать правильное решение при обслуживании КЛ. Анализ статистики отказов КЛ в городе Омске с 2009 г. по настоящее время, показывает, что отказы КЛ наиболее часто происходят из-за старения изоляции, коррозии брони и металлических оболочек кабелей, дефектов конструкции и монтажа концевых и соединительных муфт, механических повреждений и применения не паяных соединений при монтаже заземляющих проводников.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Распределение отказов КЛ 10/0,4 кВ по причинам повреждения показано на рис. 1.

Анализируя количество отказов КЛ по времени года можно сделать вывод о том, что увеличение количества отказов кабелей в том числе связано с наступлением паводкового периода и увеличением температуры среды (Рис. 2).

Если рассматривать количество отказов КЛ 10/0,4 кВ в электрических распределительных сетях города Омска с 2009 г. по настоящее время, то прослеживается четкая картина увеличения их количества с каждым годом. (Рис. 3). Эта тенденция подтверждает информацию о высокой степени износа КЛ.



Рис. 1. Анализ причин выхода их строя кабельных линий

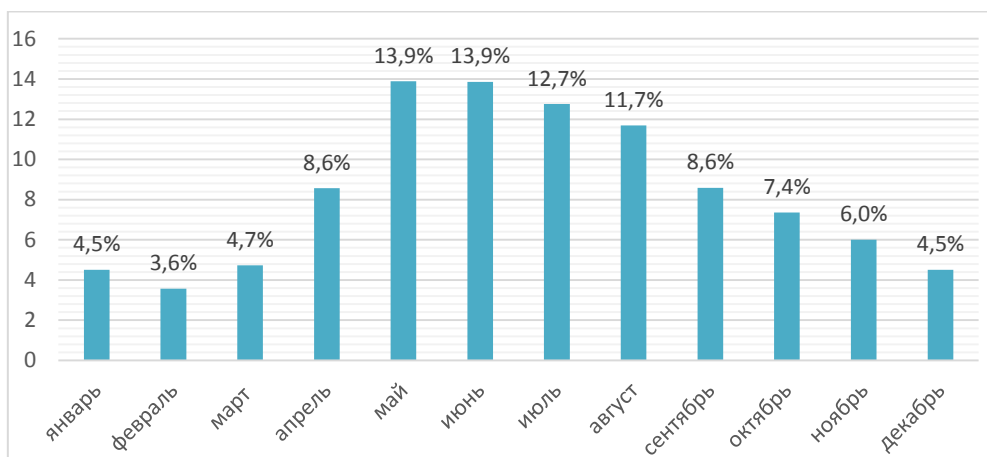


Рис. 2. Распределение количества отказов кабельных линий по времени года

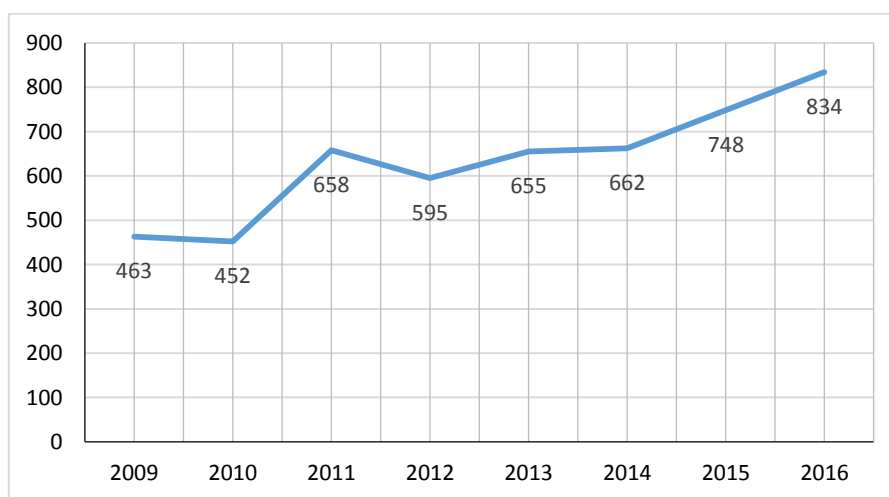


Рис. 3. Анализ количества отказов кабельных линий по годам

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом замена КЛ, выработавших свой нормативный ресурс на новые и современные кабели, выполненные с применением современных изоляционных материалов (нормативный срок службы кабелей, выполненных с применением сшитого полиэтилена составляет 50 лет против 25 – 30 лет для кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией), является лишь частичным решением проблемы, так как требует огромных материальных затрат (с учетом процента КЛ, выработавших свой нормативный срок службы, иногда двукратно!). Только комплексный подход включающий в себя максимальное продление срока службы КЛ и постепенную их замену на новые может в долгосрочной перспективе привести к улучшению сложившейся ситуации.

В целях определения остаточного ресурса для дальнейшей работы КЛ со 100 % износом и принятия решения о их дальнейшей эксплуатации, в соответствии с требованиями пункта 1.5.2 «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации» они должны подвергаться периодическому техническому освидетельствованию. Техническое освидетельствование технологических КЛ проводится по истечении установленного нормативно-технической документацией срока службы, причем при проведении



каждого освидетельствования в зависимости от состояния оборудования намечается срок проведения последующего освидетельствования. Как правило для оценки состояния кабельной изоляции и принятия решения о возможности дальнейшего использования данной КЛ, в процессе технического освидетельствования используют испытания повышенным напряжением выпрямленного тока.

Оценка состояния изоляции – осуществляется путем сравнения результатов испытаний с нормами, а также с результатами предыдущих испытаний. Оценка общего состояния изоляции КЛ проводится с учетом всей полученной информации. Решение о возможности дальнейшей эксплуатации или необходимости проведения восстановительного ремонта и его срочности базируется на прогнозировании функциональной надежности изоляции.

Экономическая целесообразность такой системы контроля, как средства повышения надежности, состоит в том, что затраты на его проведение и стоимость ремонта или замены отбракованных изделий оказываются меньше убытков, причиненных технологическими нарушениями при пробое отбракованной дефектной изоляции. В связи с высокой стоимостью высоковольтной изоляции такая система может быть экономически эффективной только при малом числе бракуемых изделий. Однако с учетом крайне высокого износа КЛ проведение испытаний повышенным напряжением выпрямленного тока способствует возникновению и развитию локальных дефектов в кабельной изоляции и последующему ее пробое, что критично, когда речь идет о максимальном продлении срока службы КЛ выработавших ресурс. Что подтверждается многочисленными публикациями в научной литературе.

Таким образом когда речь идет о принятии решения о продлении срока службы КЛ в рамках технического освидетельствования целесообразно применять неразрушающие методы диагностики. Например, метод испытаний напряжением сверхнизкой частоты. Использование неразрушающих методов диагностики позволяет не только получать информацию о текущем состоянии изоляции силовых КЛ, не травмируя ее, но и рационально и обоснованно планировать сроки проведения ремонтов КЛ или замены кабелей с выработанным ресурсом изоляции.

Следовательно, реально увеличить срок службы КЛ сверх нормативных сроков и с большой экономией обеспечить их техническое обслуживание и ремонт. Периодичность диагностики будет определяться как экономическими показателями, так и требованиями к эксплуатационной надежности КЛ.

VI. Выводы и заключение

1. Анализ статистических данных показал низкую эффективность существующего контроля изоляции для кабельных линий. Наибольшее число не выявленных дефектов испытаниями повышенным напряжением выпрямленного тока, пробивается в эксплуатации через 1–4 месяца после испытаний, а иногда на следующий день после испытаний.

2. Требуется внедрение неразрушающей диагностики для КЛ с целью выявления локальных и распределенных дефектов, способствующей значительно снизить отказы кабелей в работе.

3. Более 64 % кабелей 10/0,4 кВ эксплуатирующийся в городе Омске выработали свой нормативный срок, что приводит к росту отказов КЛ в работе. Следовательно, для повышения надежности КЛ требуется замена, отработавших нормативный срок кабелей, на новые кабели.



4. С целью более полного учета, анализа повреждаемости КЛ и принятия оптимальных решений по эксплуатации КЛ, необходимо на каждом предприятии создавать компьютерные базы данных кабельных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Лебедев Г. М. Повышение эффективности эксплуатации кабельных линий 6 – 10 кВ в системах электроснабжения на основе неразрушающей диагностики: дисс. докт. техн. наук. – 2007. – 410 с.
- [2] Канискин В. А., Таджибаев А. И. Определение остаточного ресурса силовых кабелей неразрушающая диагностика // Новости Электротехники, 2003. №2. С. 34 – 41.
- [3] Боков Г. С. Техническое перевооружение российских электрических сетей. Сколько это может стоить? // Новости электротехники, 2002. № 2 (14). – <http://news.elteh.ru/arh/> (дата обращения: 14.07.2005).
- [4] Применение силовых кабелей с пластмассовой изоляцией / Материалы науч.-техн. совета ОАО «Ленэнерго», 2002. – <http://www.mitsar.ru/news/news2002.html> (дата обращения: 29.08.05).
- [5] Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П.М. Сви. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

С. В. Козлей, магистр, e-mail: f4celess@mail.ru

К. В. Хацевский, д.т.н., профессор кафедры «Электрическая техника», e-mail: xkv-post@rambler.ru



УДК 621.592.3

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА И ГЕОМЕТРИИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОДЕТАНДЕРА НА МЕСТО РАСПОЛОЖЕНИЯ СКАЧКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Л. С. Нифонтова, В. Д. Галдин, П. В. Кальницкий

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье исследовано влияние начальных параметров продуктов сгорания топлива и геометрии проточной части турбодетандера на место расположения скачка кристаллизации диоксида углерода на корневом и периферийном диаметрах лопаточных аппаратов. Выполнен анализ и определен наиболее благоприятный, с точки зрения места расположения скачка кристаллизации, закон закрутки решеток для процесса расширения продуктов сгорания топлива с кристаллизацией паров диоксида углерода в проточной части осевого одноступенчатого турбодетандера.

Ключевые слова – Диоксид углерода, турбодетандер, закрутка решеток, скачок кристаллизации.

И. ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования процесса расширения продуктов сгорания топлива (ПСТ) с образованием твердых частиц диоксида углерода (CO_2) в проточной части турбодетандера (ТД) обоснована в работах [1, 2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее было рассмотрено влияние законов закрутки постоянства по радиусу r решетки циркуляции $c_u r = \text{const}(r)$ и угла выхода абсолютной скорости $\alpha_1 = \text{const}(r)$ на распределение давления и место расположения скачка кристаллизации CO_2 в проточной части осевого одноступенчатого ТД. Для дальнейшего выявления особенностей процесса расширения ПСТ в турбодетандере необходимо: исследовать влияние начальных параметров продуктов сгорания топлива и геометрии проточной части на место расположения скачка кристаллизации на корневом и периферийном диаметрах лопаточных аппаратов турбодетандера; выполнить анализ и определить наиболее подходящий из рассмотренных закон закрутки решеток для процесса расширения ПСТ с кристаллизацией паров CO_2 в проточной части ТД.

III. ТЕОРИЯ

В качестве начальных параметров ПСТ рассмотрены степени расширения турбодетандера $\pi_d = 1,8 \dots 2,4$ и массовые концентрации диоксида углерода в ПСТ $g_c = 0,05 \dots 0,2$.

Изменение геометрии проточной части достигается поворотом соплового аппарата ТД [2]. Рассмотрены выходные углы профиля лопаток соплового аппарата на среднем диаметре $\alpha_{1c} = 6^\circ 52' \dots 20^\circ 24'$.

Твердые частицы CO_2 могут привести к эрозионному износу лопаточных аппаратов турбодетандера, а также к заметному повышению термо-газодинамических потерь. Износ рабочих поверхностей лопаточных аппаратов происходит из-за механического

воздействия острых граней частиц в момент удара и зависит от скорости движения и размеров этих частиц. Поэтому важным вопросом при расширении ПСТ с кристаллизацией паров CO_2 в турбодетандере является определение максимальных значений размеров эрозионно-опасных частиц. Чем раньше происходит скачок спонтанной кристаллизации, тем дольше по времени находятся образовавшиеся твердые частицы CO_2 в проточной части ТД, а это в свою очередь ведет к росту размеров этих частиц в результате теплообмена и коагуляции. Место расположения скачка кристаллизации вдоль проточной части турбодетандера примем в качестве критерия эффективности для определения наиболее благоприятного закона закрутки решеток.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Расчет осевого одноступенчатого турбодетандера с поворотным сопловым аппаратом выполнен по формулам и данным, представленным в предыдущих статьях текущего сборника.

Анализ Рис.1 показывает, что место расположения скачка кристаллизации на корневом (а) и периферийном (б) диаметрах проточной части ТД не зависит от начальных параметров и находится практически в одном месте – в последней трети рабочего колеса.

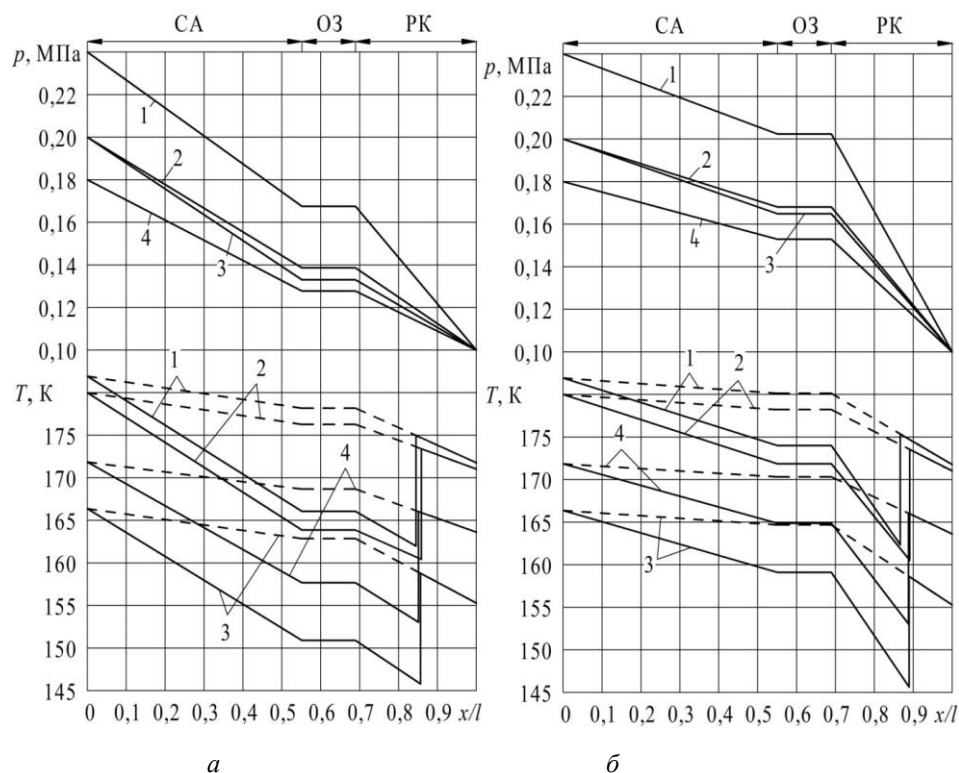


Рис. 1. Распределение параметров продуктов сгорания топлива на корневом (а) и периферийном (б) диаметрах проточной части турбодетандера при $\alpha_{1c} = 13^\circ$:

— — температура T и давление p ПСТ; - - - - температура T_S насыщения паров CO_2 ;
 1 – $\pi_d = 2,4, g_c = 0,2$; 2 – $\pi_d = 2, g_c = 0,2$; 3 – $\pi_d = 2, g_c = 0,05$; 4 – $\pi_d = 1,8, g_c = 0,1$; СА – сопловый аппарат; ОЗ – осевой зазор; РК – рабочее колесо; x, l – координата и длина средней линии тока на рассматриваемом диаметре проточной части ТД

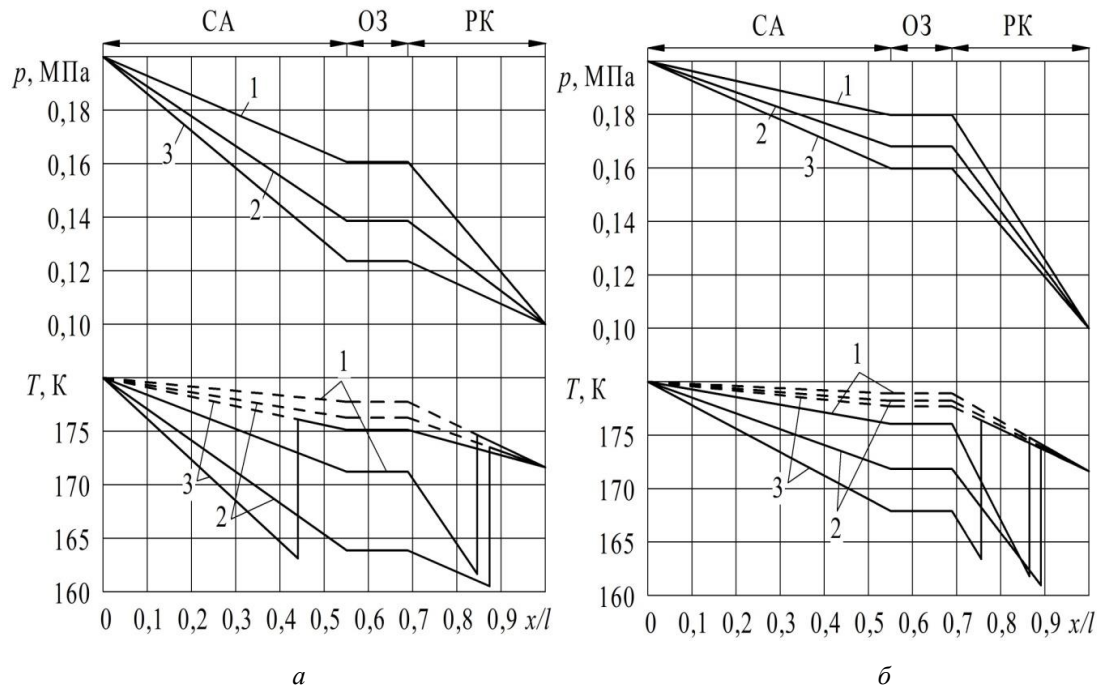


Рис. 2. Распределение параметров продуктов сгорания топлива на корневом (а) и (б) периферийном диаметрах проточной части турбодетандера при $\pi_d = 2$ и $g_c = 0,2$:

— — температура T и давление p ПСТ; — — — — температура T_s насыщения паров CO_2 ;
1 — $\alpha_{1c} = 20^\circ 24'$; 2 — $\alpha_{1c} = 13^\circ$; 3 — $\alpha_{1c} = 6^\circ 52'$

V. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализ зависимостей Рис.2 говорит о том, что изменение угла α_{1c} приводит к смещению скачка кристаллизации вверх или вниз по потоку на корневом (а) и периферийном (б) диаметрах проточной части. Это связано с переохлаждением $\Delta T = T_s - T$, которое достигает своего критического значения (12,5 – 13 К) в ступени с $\alpha_{1c} = 6^\circ 52'$ и $\alpha_{1c} = 20^\circ 24'$ несколько раньше, чем в ступени с $\alpha_{1c} = 13^\circ$. На корневом диаметре скачок кристаллизации происходит как в сопловом аппарате, так и в рабочем колесе при различных α_{1c} . Место расположения скачка кристаллизации при угле $\alpha_{1c} = 6^\circ 52'$ находится в последней четверти соплового аппарат. Поэтому эрозионному износу могут быть подвержены выходные кромки лопаток сопловой решетки. На периферийном диаметре скачок кристаллизации происходит в пределах проточной части рабочего колеса при рассмотренных углах α_{1c} . Поэтому эрозионному износу могут быть подвержены лопатки рабочего колеса.

Ранее выявлено, что законы закрутки $c_u r = \text{const}(r)$ и $\alpha_1 = \text{const}(r)$ не влияют на место расположения скачка кристаллизации в проточной части рассматриваемого турбодетандера. Это говорит о том, что рассмотренные законы закрутки решеток в равной степени приемлемы для процесса расширения продуктов сгорания топлива с кристаллизацией паров диоксида углерода в проточной части турбодетандера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кальницкий П. В, Галдин В. Д. Анализ исследования установки для комплексного производства теплоты и твердого диоксида углерода // Актуальные вопросы энергетики: сб. тр. науч. конф. – Омск: ОмГТУ, 2016. С. 56 – 61.
- [2] Галдин В. Д., Гриценко В. И. Основы теории и опыт создания теплохладоэнергетических агрегатов: монография. ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 176 с.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

ACTUAL ISSUES OF ENERGY



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. Д. Галдин, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: galdin_vd@mail.ru.

П. В. Кальницкий, магистр, e-mail: super-60993@yandex.ru.

Л. С. Нифонтова, магистр, e-mail: super-60993@yandex.ru.



УДК 621.316.1

ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЛИНИИ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ 6–35 КВ ПО ПАРАМЕТРАМ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА

В. Ю. Мирошник, Д. В. Батулько

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Приведена теория по определению расстояния до места повреждения в различных сетях. Рассмотрен перспективный метод определения расстояния до места повреждения при однофазном замыкании на землю в распределительных сетях 6 – 35 кВ. Произведены расчеты по определению расстояния до места однофазного замыкания на землю на одной из отходящих линий подстанции 35/6 кВ с использованием метода с компенсацией погрешности от переходного сопротивления. На основании полученных результатов определена погрешность определения расстояния до места однофазного замыкания с помощью данного метода.

Ключевые слова – Распределительная сеть, однофазное замыкание на землю, определение расстояния до места однофазного замыкания.

I. ВВЕДЕНИЕ

Однофазные замыкания на землю (далее – ОЗЗ) наиболее часто встречающийся вид повреждений в распределительных сетях напряжением 6 – 35 кВ. Длительное ОЗЗ представляет опасность для людей, животных и может перерасти в двух и трехфазное короткое замыкание. В связи с этим оперативное обнаружение места повреждения линии при ОЗЗ в сетях 6 – 35 кВ является актуальной задачей [1 – 3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Наиболее актуальными являются методы и алгоритмы, позволяющие определять место ОЗЗ отключения линии и подключения специального оборудования, что позволяет повысить оперативность и снизить затраты [2]. В таких методах и алгоритмах для определения места ОЗЗ предлагается использовать параметры аварийного и установившегося режимов. На сегодняшний день разрабатываются и производятся различные устройства для дистанционного определения места повреждения линий (далее – МП) [3]. При этом повышение точности определения МП остается актуальной задачей [1].

III. ТЕОРИЯ

Методы определения МП классифицируют по направлению сбора аварийной информации. В двустороннем методе реализован синхронный замер с обоих концов линии и применяется для нахождения МП линий в распределительных сетях напряжением 110 кВ и выше. Актуальным вопросом при этом является обеспечение синхронности измерений, а также сбор и обработка результатов измерений в одной точке [1 – 2]. Обработка результатов измерений и расчет МП производится, как правило, в цифровых микропроцессорных устройствах.



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В микропроцессорных устройствах определения МП (REL5xx, REL6xx), шведской фирмы АBB, используют расчет координаты МП методом, в котором переходное сопротивление отсутствует (скомпенсировано) в месте повреждения. Данный метод разработанный ещё 30 лет назад и до сих пор является одним из универсальных [1, 4, 5].

Если в выражение $U' = \Delta U'_{л} + \Delta U_{R_{II}} = I' \cdot n \cdot Z_{1л} \cdot + I_K \cdot R_{II}$ подставить коэффициент токораспределения $\underline{C}'' = \frac{I'_K}{I_K} = \frac{(1-n) \cdot \underline{Z}_{л} + \underline{Z}''_c}{\underline{Z}'_c + \underline{Z}_{л} + \underline{Z}''_c}$, то получим выражение:

$$n^2 - nK_1 + K_2 - K_3 R_{II} = 0, \quad (1)$$

Рассмотрим расчет для одноцепной ЛЭП:

$$K_1 = \frac{U'}{I' \cdot \underline{Z}_{1л}} + 1 + \frac{\underline{Z}''_{1c}}{\underline{Z}_{1л}}, \quad (2)$$

$$K_2 = \frac{U'}{I' \cdot \underline{Z}_{1л}} \cdot \left(1 + \frac{\underline{Z}''_{1c}}{\underline{Z}_{1л}} \right), \quad (3)$$

$$K_3 = \frac{I'_K}{I' \cdot \underline{Z}_{1л}} \cdot \left(1 + \frac{\underline{Z}'_{1c} + \underline{Z}''_{1c}}{\underline{Z}_{1л}} \right), \quad (4)$$

где U' – напряжение рассматриваемой ЛЭП; $\underline{Z}_{1л}$ – сопротивление прямой последовательности ЛЭП; \underline{Z}'_{1c} и \underline{Z}''_{1c} – сопротивление прямой последовательности системы от начала до МП и от конца до МП; $I' = 0,2$ (А) – ток подводимый к прибору в начале линии (прибор имеет 2 входа 0,2А и 1А); I'_K (А) – ток КЗ подводимый к месту замыкания от системы А и системы Б.

Получив мнимые и вещественные части полученных значений (2 – 4), получим корни квадратного уравнения:

$$n_1 = \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\text{Re}(K_1) - \frac{\text{Im}(K_1) \cdot \text{Re}(K_3)}{\text{Im}(K_3)} \right) - \sqrt{\left(\text{Re}(K_1) - \frac{\text{Im}(K_1) \cdot \text{Re}(K_3)}{\text{Im}(K_3)} \right)^2 - 4 \cdot \left(\text{Re}(K_2) - \frac{\text{Im}(K_2) \cdot \text{Re}(K_3)}{\text{Im}(K_3)} \right)} \right]; \quad (8)$$

$$n_2 = \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\text{Re}(K_1) - \frac{\text{Im}(K_1) \cdot \text{Re}(K_3)}{\text{Im}(K_3)} \right) + \sqrt{\left(\text{Re}(K_1) - \frac{\text{Im}(K_1) \cdot \text{Re}(K_3)}{\text{Im}(K_3)} \right)^2 - 4 \cdot \left(\text{Re}(K_2) - \frac{\text{Im}(K_2) \cdot \text{Re}(K_3)}{\text{Im}(K_3)} \right)} \right]. \quad (9)$$

Результатом будет корень уравнения, лежащий в пределах линии (8 – 9) [4].



Произведем расчет координаты места однофазного замыкания на землю на одной из одноцепных линий 6(10) кВ подстанции с использованием рассмотренного метода. Для выполнения расчетов использовалось программное обеспечение Mathcad [6].

Как и предыдущим методом представим отходящую линию КЛ-7 в виде нескольких отрезков 0 – 333 м (отрезок 1), 333 – 667 м (отрезок 2), 667 – 1000 м (отрезок 3). Предположим, что ОЗЗ произошло на отрезке 3, тогда сопротивление линии будет:

$$Z'_{л} = 0,137 + j0,053(\text{Ом}); Z''_{л} = 0,069 + j0,026(\text{Ом}).$$

$$K_1 = \frac{6,3}{0,2 \cdot 0,206 + j0,079} + 1 + \frac{0,137 + j2,466}{0,206 + j0,079} = 138,558 - j40,913; \quad (10)$$

$$K_2 = \frac{6,3}{0,2 \cdot 0,206 + j0,079} \cdot \left(\frac{0,137 + j2,466}{0,206 + j0,079} \right) = 1222 + j1093; \quad (11)$$

$$K_3 = \frac{26,66}{0,2 \cdot 0,206 + j0,079} \cdot \left(1 + \frac{5,16 + j14,995 + 0,137 + j2,466}{0,206 + j0,079} \right) = 5547 + j1093. \quad (12)$$

Подставим значения (10 – 12) найденные значения в выражение (1), получи корни уравнения:

$$n_1 = \frac{1}{2} \cdot \left(\left(138,558 - \frac{40,913 \cdot 5547}{1093} \right) - \sqrt{\left(138,558 - \frac{40,913 \cdot 5547}{1093} \right)^2 - 4 \cdot \left(1222 - \frac{1093 \cdot 5547}{1093} \right)} \right) = -0,688; \quad (13)$$

$$n_2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\left(138,558 - \frac{40,913 \cdot 5547}{1093} \right) + \sqrt{\left(138,558 - \frac{40,913 \cdot 5547}{1093} \right)^2 - 4 \cdot \left(1222 - \frac{1093 \cdot 5547}{1093} \right)} \right) = 189,89; \quad (14)$$

Определим расстояние до МП (15) используя найденные корни уравнения (13-14):

$$l_k = |n_{1,2} \cdot l|, \quad (15)$$

где n – найденный корень уравнения; l – длина линии.

$$l_{k1} = |n_1 \cdot l| = 688(\text{м}), \quad (16)$$

$$l_{k2} = |n_2 \cdot l| = 189900(\text{м}), \quad (17)$$

Один из найденных корней (16 – 17) лежащих в пределах рассматриваемой линии является координатой МП. Получаем, что корень n_1 уравнения (1) и будет расчетной координатой места однофазного замыкания на землю [5].



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как и метод Лямеца, рассмотрим отклонение результатов от истинного значения. Отклонение результата составляет: $D_{изм} = |x_{расчетное} - x_{действительное}| = |688 - 667| = 21$ (м). Напомним, что при использовании различных односторонних методов определения МП погрешность может достигать 100 м на 1 км длины линии [1, 5], но как и в предыдущем методе она не велика. Однако расчетная координата найденная вторым методом лежит после, а рассчитанная первым методом до истинной координаты замыкания.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный метод является одним из современных и перспективных, так как не требуется определение поврежденных фаз [1]. Так же переходное сопротивление представлено чисто активным, при этом исключается ошибка переходного сопротивления [5]. Данный метод обладает универсальностью и подходит для расчета места повреждения для всех видов КЗ. Таким образом, расчет подтверждает исследование авторов [1, 5] о том, что данный алгоритм позволяет получить большую точность, чем остальные односторонние методы МП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аржаников, Е. А. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Под ред. В.А. Шуин. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
- [2] Батулько, Д. В. Определение поврежденной воздушной линии с однофазным замыканием на землю в сети с изолированной нейтралью: автореф. дис. канд. техн. наук. Омск, 2007.
- [3] Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Павлов А.О. Эволюция дистанционной защиты // Электричество, 1999. №3. С. 8 – 15.
- [4] Application manual. Line distance protection terminal REL 511*2.5 1MRK 506 168-UEN, December 2006, Revision: В. – Sweden: ABB, 2006. – 304 p. [Электронный ресурс]. URL: www.abb.com <http://www.parma.spb.ru/> (дата обращения: 01.04.2017)
- [5] Обалин М. Д., Куликов А. Л. Применение адаптивных процедур в алгоритмах определения места повреждения ЛЭП // Промышленная энергетика, 2013. №12. С. 35 – 39.
- [6] В.Ф. Очков. Mathcad 14 для студентов и инженеров. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. Ю. Мирошник, магистр, e-mail: miroshnikvad@gmail.com

Д. В. Батулько, к. т. н., старший преподаватель кафедры «Электроснабжения промышленных предприятий», e-mail: batulkodv@mail.ru



УДК 62-662.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРИКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

М. К. Ширбаева, А. К. Кинжибекова,

*Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан*

Аннотация – В данной статье авторами была поднята проблема о сохранении природных запасов и их повторном использовании. Были изучены брикеты из древесных опилок как альтернативное топливо. Исследованы теплофизические свойства брикетов из древесных опилок. Определены влажность, зольность топливных брикетов. Влажность брикета равна 4,3 %, что в разы меньше влажности угля. Зольность брикетов составила 1,6 %. Это может говорить о том, что брикеты из древесных опилок является экологический чистым продуктом. Также авторами определен выход летучих веществ из топливного брикета, который составил 13,17 %. Брикеты из опилок имеют очень высокую продолжительность горения. При горении, брикеты выделяют минимальное количество дыма, при этом не искрят и не стреляют.

Ключевые слова – Брикет, влажность, зольность.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большую актуальность приобретает вопрос о сохранении природных ресурсов и их повторном использовании.

Переработка отходов – это повторное использование или возвращение в оборот отходов производства или мусора. Существует множество возможностей повторного использования отходов мебельного производства, макулатуры, соломы и сухих листьев.

Заключения учёных об объёмах природных ресурсов, а также об экологическом состоянии планеты носят весьма неутешительный характер. Актуальность данной проблемы подчеркнул экономический кризис, заставивший человечество пересмотреть свои взгляды в пользу переработки, а не утилизации, отходов, в том числе и опилок.

Постоянно растущие цены на энергоносителей заставляют искать альтернативное топливо как крупных производителей, так и обычных потребителей. Тем более, что природные запасы нефти, газа, угля на планете не бесконечны.

Брикет из отходов деревообрабатывающей промышленности изготавливался без дополнительного связующего вещества с получением экологически чистой золы (без минеральных составляющих), которую можно использовать в качестве удобрения. Состав брикета: деревянная стружка и опилки. Данный материал содержит лигнин, который выступает в качестве связующего вещества при получении брикетов из органических отходов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование теплофизических свойств брикета является важным этапом разработки, внедрения и реализации технологии брикетирования опилок.

Основным параметром прессования, обеспечивающим брикетам требуемые характеристики, является плотность. Проведем эксперименты для определения зольности, влажности и выхода летучих веществ.



III. ТЕОРИЯ

Сущность метода определения влажности брикетов заключается в высушивании навески брикетов в сушильном шкафу при температуре 103 ± 2 °С и вычислении потери массы взятой навески.

Лабораторную пробу измельченного брикета, массой 5 – 10 г, перемешивают ложкой и размещают в предварительно взвешенный тигель.

Тигель без крышки с навеской брикета помещают в предварительно нагретый до температуры 103 ± 2 °С сушильный шкаф и сушат при этой температуре в течение 4-х часов. Затем тигель вынимают из шкафа, закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают.[1]

Содержание влаги определяют по формуле:

$$W_{\text{ОТН}} = \frac{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{после сушки}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Метод определения зольности заключается в озолении навески брикетов в муфельной печи и прокаливании зольного остатка при температуре 800 ± 25 °С.

Лабораторную пробу измельченного брикета массой 6 – 8 г, помещают в предварительно взвешенную тиглю. Затем открытую тиглю ставят в муфельную печь, которую нагревают до температуры 800 ± 25 °С. При этой температуре образовавшийся зольный остаток прокаливают в течение двух часов в закрытой муфельной печи.

После этого тигли с зольным остатком вынимают, охлаждают, сначала на воздухе в течение 5 мин., а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. После охлаждения и взвешивания, определяют изменение массы [2].

Зольность брикета определяют по формуле:

$$A = \frac{m_{\text{тигель+золы}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Выход летучих веществ определяют как потерю массы навески твердого топлива за вычетом влаги при нагревании без доступа воздуха в стандартных условиях.

Для уменьшения окисления навески топлива при нагревании доступ кислорода к пробе должен быть ограничен. Это достигается применением тиглей с шлифованными или притертыми крышками, допускающими свободное удаление летучих веществ, но препятствующими проникновению кислорода.

Навеску пробы нагревают без доступа воздуха при температуре 900 °С в течение 7 мин. Выход летучих веществ в процентах рассчитывают по потере массы навески за вычетом потери массы, обусловленной влажностью пробы.

Температура, понизившаяся при установке тиглей в печь, снова должна достичь (900 ± 5) °С не более чем за 4 мин. В противном случае испытание повторяют.

Вынимают подставку с тиглями из печи и охлаждают на металлической или асбестовой пластине в течение 5 мин. После этого тигли, закрытые крышками, помещают в эксикатор и охлаждают до комнатной температуры вблизи весов.

После охлаждения тигли с нелетучим остатком взвешивают.

Выход летучих веществ из аналитической пробы испытуемого топлива вычисляют по формуле:

$$V^a = \frac{m_{\text{тигель+остаток}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\% - W_{\text{отн}} \quad (3)$$



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По формуле (1) была определена влажность брикета, которая равна 4,3%. Влажность брикета из древесных опилок не превышает 8% и удовлетворяет требованиям по влажности.

После определения влажности брикета, проведен эксперимент по определению зольности. Произведены замеры массы тигеля с измельченным брикетом, тигеля с остатком после эксперимента и масса самого тигеля. Подставив значения в формулу (2) была определена зольность брикета, которая равна 1,6 %.



Рис. 1. Зола после сжигания брикета из опилок

Также определен выход летучих веществ. Проведя два эксперимента, получено среднее значение выхода летучих, равная 13,17 %.



Рис. 2. Остаток после выхода летучих

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Зольность брикетов из опилок составила 1,6 %, что в 10 – 12 раз меньше зольности угля при его самых лучших характеристиках. Это является основным экологическим преимуществом данных брикетов. Зола после сжигания брикетов из опилок можно использовать как минеральное удобрение.

Следующим не менее важным свойством брикетов является влажность. Известно, что влага в твердом топливе является не только балластом, она уменьшает его теплоту сгорания, так как требует дополнительных затрат тепла на её испарение.



Влажность брикетов оказалась равна 4,3 %, что удовлетворяет требованиям по влажности, которое должно не превышать 8 %. Для сравнения: влажность Карагандинского угля составляет не менее 10 %.

Кроме этого был определен выход летучих веществ брикетов из древесных опилок. Остаток после выхода летучих из брикета представлен на рис. 2. Значение выхода летучих брикетов составило значение 13,17 %.

VI. ВЫВОД И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют говорить о высоких качествах брикетов из древесных опилок. В целом задача производства эффективного и экологичного топлива из возобновляемых и неиспользуемых отходов является весьма благородной и благодарной, решая проблемы утилизации практически бесполезных, а зачастую и вредных отходов, дает потребителям дополнительный источник эффективного топлива, является предметом выгодного бизнеса производителей, давая им дополнительный хороший источник прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ Р 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги высушиванием. М.: 2010. – 8 с.
- [2] ГОСТ 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение зольности. М.: 2010. – 8 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. К. Кинжибекова, и.о. асс. профессора кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: akmaral70@mail.ru
М. К. Ширбаева, магистр кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: msaidina_4892@bk.ru



УДК 658.264

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО
ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

А. М. Фокин, А. И. Киселева

*Филиал «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,
Россия*

Аннотация – данная статья затрагивает проблему качества теплоснабжения, связанную с отсутствием государственного стандарта на этот вид продукции. Авторами проведен литературный анализ согласно исследуемой тематике. На основе исследований определена номенклатура показателей качества для тепловых сетей и рассчитаны их численные значения, также был определен и рассчитан базовый образец. По результатам расчетов был получен комплексный показатель качества, представленный на «доме качества». Разработанная методика оценки качества тепловых сетей может быть распространена на любые тепловые сети: как на паровые, так и на водяные. Данную методику также можно рекомендовать для прогнозирования развития как новых, так и существующих объектов теплоэнергетики, при модернизации или реконструкции тепловых сетей.

Ключевые слова – теплоэнергетика, показатели качества, тепловые сети, инженерные характеристики, дом качества.

I. ВВЕДЕНИЕ

Качество продукции – понятие многогранное. В первую очередь качество продукции ассоциируется с комплексом ее естественных свойств, которые определяют ее полезность. Продукцией топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является топливо, электрическая и тепловая энергия. Несмотря на видимой различие энергетической продукции, вся она имеет общее полезное свойство – способность совершать работу (или превращаться в другие виды энергии). Качество тепловой энергии, в зависимости от теплоносителя может характеризоваться такими параметрами как температура, давление, энтальпия и другими. Таким образом, понятие качества идентично для всех видов топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в то время как параметры, определяющие качество, будут различны для каждого вида ресурса (энергоносителя).

Проблема качества энергоснабжения в научно-практическом плане представляется как система взаимосвязанных вопросов, решение которых направлено на разработку и совершенствование показателей и нормативов качества энергоснабжения. Тепловые сети являются одним из важнейших элементов теплоснабжения, так как они соединяют источники тепла с местами их потребления.

Существует много методик оценки качества теплоснабжения. Одним из первых упоминаний об определении показателей качества теплоснабжения следует считать публикацию Л.К. Якимова, где была сформулирована задача определения предельного радиуса теплофикации. В тексте работы, в рамках главы «Технико-экономический расчет тепловых сетей» представлен аналитический способ определения оптимального радиуса действия тепловых сетей. Прорывом в направлении исследования качества теплоснабжения явился период 1951 – 1957 гг., когда Е. П. Шубиным был подробно рассмотрен принципиально новый показатель – оборот тепловой энергии. Вопрос

надежности тепловых сетей исследовали А. И. Юфа, Н. В. Калинин, А. А. Ионин, Е. В. Сеннова и др.

Однако применение разработанных методик на практике дает не полную картину о качестве теплоснабжения, так как они включают в себя лишь отдельные единичные показатели, а не учитывают их взаимосвязь и чувствительность друг к другу.

Вышесказанное обуславливает актуальность расширения методической базы по оценке качества систем теплоснабжения с целью практического применения при проектировании и модернизации систем теплоснабжения.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для разработки комплексного критерия оценки качества тепловых сетей были решены следующие задачи:

- определение номенклатуры показателей качества для тепловых сетей;
- расчет показателей качества с целью оценки качества теплоснабжения;
- определение эталона «тепловой сети» для рассматриваемого объекта;
- определение комплексного показателя качества тепловых сетей.

В качестве объекта исследования был принят паропровод от Смоленской ТЭЦ-2, конфигурация и тепловые нагрузки которой представлены на Рис. 1.

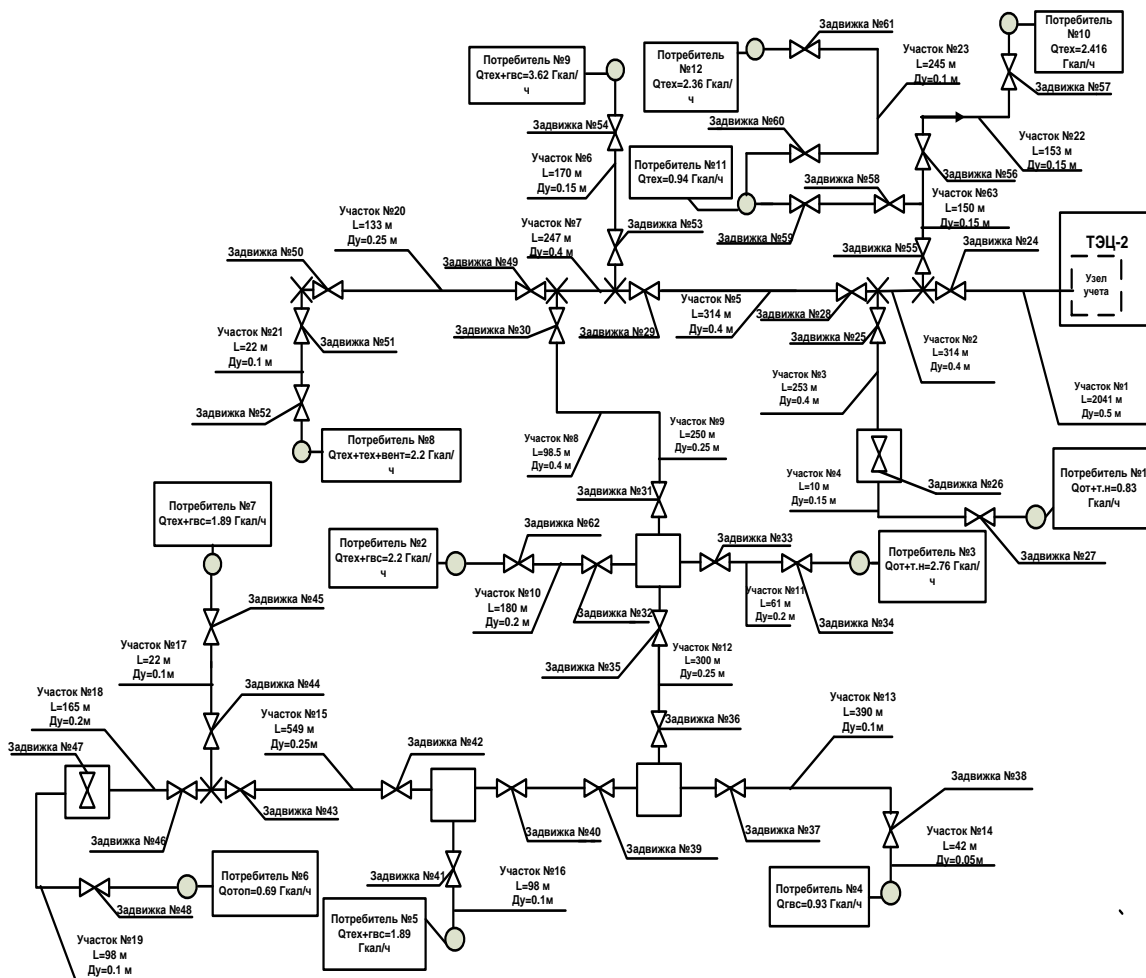


Рис. 1. Схема тепловой сети от ТЭЦ-2



III. ТЕОРИЯ

Первым этапом при определении номенклатуры показателей качества для любого промышленного объекта является установление класса и группы продукции. Тепловые сети можно отнести к продукции, расходующей свой ресурс и группе ремонтируемых изделий. Согласно нормативной документации, для этого типа продукции необходимо определять все единичные и комплексные показатели качества.

При проведении анализа технической литературы, который представлял собой подсчет количества упоминаний по каждой группе показателей качества, было выявлено, что определение абсолютно всех показателей для объекта исследования излишне. Распределение весомостей показателей качества для тепловых сетей представлено в таблице I.

ТАБЛИЦА I
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСОМОСТЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Группа показателей качества	Весомость группы показателей, %
Показатели надежности	30
Показатели назначения	27
Экологические показатели	20
Показатели экономного использования сырья, материалов и топлива	9
Показатели технологичности	8
Прочие показатели	6

Главным требованием при оценке качества любой продукции является наличие базового образца (эталоны). Базовый образец должен относиться к оцениваемой продукции или аналогичной по назначению и условиям эксплуатации продукции. Особенностью данного паропровода является работа в нерасчетном режиме. На данный момент загрузка составляет 30 % от расчетной, поэтому в качестве эталона был спроектирован паропровод на ту же нагрузку, что и оцениваемый объект, но с учетом экономической скорости движения пара. Для данного паропровода были рассчитаны те же показатели качества, что и для рассматриваемого объекта, а именно: показатели назначения (производительность, средняя температура, средний диаметр трубопровода, максимальная скорость теплоносителя и т.д.), показатели надежности (вероятность безотказной работы, коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения, среднее время до восстановления участков тепловой сети, годовой недоотпуск тепла) [2], экологические показатели (доля тепловых потерь из-за нерасчетных температур, нормативные годовые потери теплоты через теплоизоляцию, нормативные годовые потери теплоносителя, фактические потери тепла и т.д.), показатели технологичности (материальная характеристика сети, рабочая вместимость паропровода, объем теплоизоляции, масса конструкции, занимаемая площадь, площадь поверхности теплообмена) и показатели экономного использования сырья, материалов и топлива (производительность на единицу занимаемой площади, удельная материальная характеристика сети, удельная длина тепловой сети, коэффициент полезного действия, расход тепловой изоляции на единицу продукции и т.д.).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для определения качества тепловой сети был применен формальный подход, который осуществляется с использованием матричной диаграммы, названной в соответствии со своей формой «Дом качества». Путем деления абсолютных значений единичных показателей исследуемого объекта на абсолютные значения базового образца были получены относительные значения показателей качества. В результате был определен комплексный показатель, представленный пунктирной линией на «крыше качества» (Рис. 2).

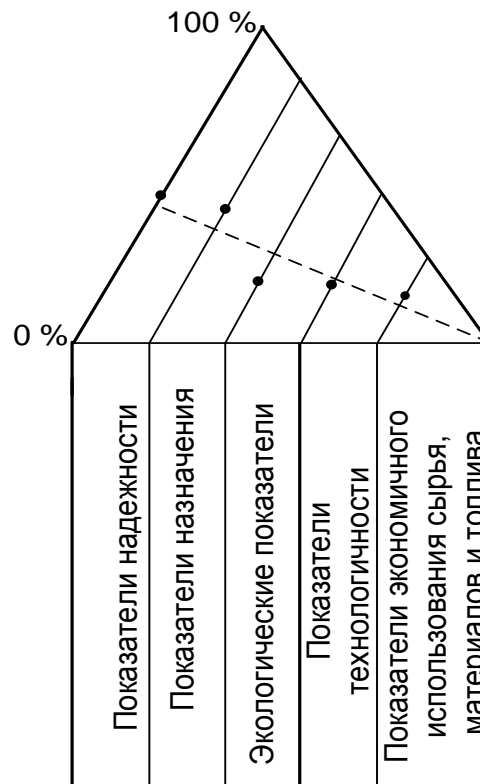


Рис.2. Дом качества для тепловых сетей

Группы показателей качества отображаются наклонными прямыми. Длина каждой прямой, характеризующей группу показателей, была определена весомостью при проведении литературного анализа. (Например, показатели надежности являются важнейшими показателями, поэтому линия, характеризующая эту группа самая длинная). На горизонтальной прямой расположены нулевые значения показателей.

После нанесения относительных показателей качества, по методу наименьших квадратов была построена аппроксимирующая линия, являющаяся комплексным показателем качества паропровода, в общем.

Показатели надежности обеспечивают 47,4 % от должного качества (эталонного, соответствующего значению 100 %). Наибольшее влияние на эту группу показателей оказывает вероятность безотказного теплоснабжения, которая в большей степени не отвечает нормативному значению $P_j = 0.9$. Для того чтобы исправить эту ситуацию, теплоснабжающей организации можно порекомендовать уделить внимание техническому обслуживанию данного паропровода и проводить ежегодные ремонтно-профилактические работы.



Экологические показатели находятся на самой низкой отметке (28,8 %), что объясняется тем, что показатели потерь тепла и теплоносителя значительно превышают допустимые значения. Во избежание подобных ситуаций, следует уделить большое внимание состоянию тепловой изоляции паропровода.

Показатели технологичности и показатели экономного использования сырья, материалов и топлива не соответствуют должному значению по причине недогрузки паропровода, что позволяет сказать о нерациональном использовании материалов и сырья.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате построения комплексного показателя выявлены основные причины некачественного теплоснабжения для тепловых сетей и их последствия. Определена номенклатура показателей качества для тепловых сетей, произведен расчет показателей. На основании полученных результатов выведен комплексный показатель качества, учитывающий параметры тепловых сетей и их влияния на качество теплоснабжения в целом.

Разработанная методика для определения качества тепловых сетей может быть применена для любых тепловых сетей: как для паровых, так и для водяных; ее можно рекомендовать как при проектировании тепловых сетей, так и для определения качества эксплуатируемых объектов.

На основании полученного комплексного показателя качества, можно разрабатывать рекомендации для улучшения качества систем теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кузнецов Е. П. Качество теплоснабжения городов / Кузнецов Е. П. [и др.] – 2-е изд. – СПб.: ПЭИПК, 2004. – 328 с.
- [2] Методика и алгоритм расчета надежности тепловых сетей при разработке схем теплоснабжения городов/ Газпром промгаз. М. 2013. – 104 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. И. Киселева, ассистент, e-mail: sashulka_kiseleva@mail.ru



УДК 621.1.016

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

С. С. Плотников, А. Г. Михайлов, Д. В. Скворцов
Омский государственный технический университет

Аннотация – со временем, измерительные приборы устаревают, или частично выходят из строя. Выбор измерительных приборов является важным фактором при эксплуатации тепловых установок и лабораторных стендов. В настоящее время широкое распространение получают современные цифровые приборы, которые позволяют осуществлять более точные измерения. В данной статье приведена значимость измерений, приведена классификация основных теплотехнических измерительных приборов по параметрам измерения, дана их характеристика, раскрыты основные принципы работы.

Ключевые слова – измерения, приборы, термометр, ротаметр, газоанализатор, уравнимер, напоромер, тягомер

I. ВВЕДЕНИЕ

Процесс установления значения физической величины с помощью опытов посредством специальных технических средств называется измерением

Теплотехнические измерения позволяют установить многие физические величины, которые дают информацию о выработке и потреблении тепловой энергии. К ним относятся: температура, тепловая энергия, давление, расход, количество, уровень, состав газа, концентрация.

Применение различных современных приборов теплотехнического контроля, позволяет повысить надежность и экономическую эксплуатацию многих ТЭС и малых котельных.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Теплотехнические измерения служат для определения многих физических величин, связанных с процессами выработки и потребления тепловой энергии. Поэтому выбор измерительных приборов является важным фактором при эксплуатации тепловых установок и лабораторных стендов. Необходимо провести обзор существующих современных измерительных приборов, которые позволят достичь повышения надежности и качества полученных данных.

III. ТЕОРИЯ

Рассмотрим современные измерительные приборы, которые нашли широкое применение в области теплоэнергетики, и которые могли бы использоваться в лабораторных условиях, при создании экспериментального стенда. За счет этого можно достичь повышения надежности и качества экспериментальных данных полученных в ходе работы лабораторного стенда.

Существуют следующая классификация измерительных приборов, предназначенная для измерения теплотехнических параметров:

– температуры: термометры, пирометры;



– давления: манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры и барометры;

– расхода и количества: ротаметры, счетчики;

– состав дымовых газов: газоанализаторы;

– уровня жидкости и сыпучих тел – уровнемеры, указатели уровня;

Для измерения температуры твердых, жидких и газообразных сред существует множество измерительных приборов. В практике наибольшее распространение получили термометры, благодаря своей простоте и точности измерений.

Термометр – устройство, предназначенное для измерения температуры путем преобразования ее в показания или в сигнал, который в свою очередь является известной функцией температуры. Чувствительным элементом термометра называется его часть, которая преобразует тепловую энергию в другой вид энергии для получения информации о температуре.

В настоящее время широкое применение получают электронные термометры, которые позволяют снимать точнейшие показания, и являются более наглядными по сравнению со ртутными. Например, электронные термометры ЛТ-300 могут заменить большинство ртутных лабораторных термометров типов ТЛ, ТН, ТИН и ASTM для диапазона температур от -50 до $+300$ °С.



Рис. 1. Электронный термометр ЛТ-300

Также большим спросом пользуются современные биметаллические термометры: ТБ, ТБЛ, ТБН.

Наиболее распространенными представителями расходомеров постоянного перепада являются ротаметры. Ротаметры используются в промышленных и лабораторных условиях для измерения небольших объемных расходов жидкостей или газов в вертикальных трубопроводах. Они состоят из конической трубки, расходящейся вверх. Внутри нее есть поплавков, который играет роль своеобразного индикатора. Поток жидкости или газа проходит через трубку снизу вверх и поднимает поплавок.

Современные ротаметры могут быть представлены в различном техническом исполнении: пластиковые (модели KSK-R), стеклянные (модели RAGL), металлические (ЭМИС-МЕТА), электронные (модели KFF/KFG). В зависимости от назначений и требуемых условий, подбирается наиболее эффективные ротаметры, которые будут давать точные показания.



Рис. 2. Техническое исполнение ротаметров

Газоанализатор – измерительный прибор для определения качественного и количественного состава смесей газов. Различают газоанализаторы ручного действия и автоматические. Среди первых наиболее распространены такие абсорбционные газоанализаторы, в которых компоненты газовой смеси последовательно поглощаются различными реагентами. Автоматические газоанализаторы непрерывно измеряют какую-либо физическую или физико-химическую характеристику газовой смеси или её отдельных компонентов.

В настоящее время повсеместно используются цифровые газоанализаторы, а именно электрохимические и оптические. Такие приборы способны обеспечить контроль концентрации газов в режиме реального времени, которые обладают высокой точностью и наглядностью измерений. К ним относятся: ПКУ-4МК-С(-К)-4Р-2А, ФСТ-03М(В), СИГМА-03, КОЛИОН-1В-01С и т.д.



Рис. 3. Газоанализатор ПКУ-4МК-С(-К)-4Р-2А

При экспериментальных исследованиях в стендовых и промышленных условиях приходится измерять как давление в потоке, так и давление потока на ограждающие стенки. В обоих случаях устройство состоит из приемной части (датчика) и регистрирующей части (вторичного прибора). Для измерения давления в потоке в качестве приемной части применяют различные пневматические трубки. В качестве вторичных приборов для измерения давлений применяются – напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры.

Широкое применение получают многопредельные измерители давления/разрежения (АДН/АДР). Их работа основана на современной элементной базе с использованием технологии лазерной калибровки и микропроцессорной обработки результатов измерений. В данных изделиях совмещены функции первичного датчика и вторичного прибора.



Рис. 4. Тягонапоромеры модели АДН/АДР

Для контроля уровня содержимого в открытых и закрытых сосудах, резервуарах, хранилищах и других ёмкостях используются уравнимеры. Под содержимым подразумевают самые различные виды жидкости, к тому же, входят и сыпучие, газообразующие и многие другие материалы. В настоящее время широкое применение получили магнитострикционные (ПМП-201, NMT Kobold) и ультразвуковые уравнимеры (NUS-R-4, Prosonic S FMU90). Данные виды уравнимеров позволяет производить наиболее точные измерения уровня содержимого в резервуарах.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор измерительных приборов является важным фактором при эксплуатации тепловых установок и лабораторных стендов. Надёжность и экономичная эксплуатация современных тепловых установок, малых котельных и экспериментальных стендов, немыслима без применения значительного количества разнообразного по устройству, назначению, и принципу действия приборов теплотехнического контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Иванова Г. М., Кузнецов Н. Д., Чистяков В. С. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.
- [2] Эстеркин Р. И., Иссерлин А. С., Певзнер М. И. Теплотехнические измерения при сжигании газового и жидкого топлива: Справ. руководство. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1981. – 424 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

С. С. Плотников, магистр, e-mail: semyon_plotnikov@mail.ru
А. Г. Михайлов, к. т. н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: semyon_plotnikov@mail.ru
Д. В. Сковрцов, магистр, e-mail: semyon_plotnikov@mail.ru



УДК 62-662.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРИКЕТОВ ИЗ ЛУЗГИ ПОДСОЛНУХА

А. К. Кинжибекова, А. Ж. Алеева

*Павлодарского Государственного Университета им. С. Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан*

Аннотация – Необходимость утилизации органической массы (отходы сельскохозяйственной продукции) и использование ее для получения тепловой энергии требует применения методов брикетирования. Целью работы является исследование теплотехнических характеристик брикетов из лузги подсолнуха. Задачи исследования: 1. Получение брикетов из лузги подсолнуха с нагревом органической массы; 2. Экспериментальное определение теплофизических характеристик, а именно: плотности, зольности, влажности, выхода летучих и длительности горения. Методы исследования: экспериментальное исследование. Объектом исследования служили брикеты из лузги подсолнуха, изготовленные горячим брикетированием. Определены теплофизические характеристики брикетов из лузги подсолнуха: средняя плотность брикетов – $1038,05 \text{ кг/м}^3$, средняя влажность $W_{cp} = 3,86 \%$, имеют низкую зольность $A_{cp} = 3,86 \%$ и выход летучих составляет $15,84 \%$.

Ключевые слова – Лузга из подсолнуха, брикетирование, утилизация, топливные брикеты.

I. ВВЕДЕНИЕ

Ограниченность углеродного сырья и его невозобновляемые запасы ведут к необходимости вовлечения в переработку новых технологий для создания брикетированных топлив, получаемых из отходов производства и потребления. В связи с этим использование отходов сельскохозяйственной продукции при производстве брикетов получает все большее распространение. Опилки, солома, лузга из подсолнуха, гречиха и прочие отходы сельского хозяйства являются отличным сырьем для изготовления данного вида топлива.

Потребление топливных брикетов во всем мире растет очень быстрыми темпами (около 30 – 50 % в год) это связано с долгосрочной тенденцией роста цен на углеводородное топливо, истощением его мировых запасов. В 2005 году потребление брикетов в Европе составило 2,5 млн. тонн, в 2007 году – 5 млн. тонн, к 2010 году прогнозируется рост потребления до 12 млн. тонн. Европейский рынок топливных брикетов ежегодно растет более чем на 20 %, а в отдельных странах на 35 % [1].

Топливные брикеты из лузги подсолнуха имеют ряд преимуществ: имеют высокую энергетическую ценность, которая генерирует большое количество тепла в течение длительного времени, невысокая себестоимость готовой продукции, упаковывают в удобную упаковку во время транспортировки, а также их удобно хранить, малая зольность [2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной статье в качестве исходного материала для брикетирования выбраны сельскохозяйственные отходы в виде лузги подсолнуха. Ставится задача исследовать теплофизические свойства брикетов с предварительным нагревом органической массы при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$, а именно: 1) определение плотности; 2) определение



влажности; 3) определение зольности; 4) определение выхода летучих; 5) определение длительности горения [3].

III. ТЕОРИЯ

В технологии производства топливных брикетов лежит процесс прессования лузги подсолнуха на гидравлическом прессе под высоким давлением и температуре.

Технологический процесс изготовления топливных брикетов состоит из следующих стадий:

- измельчение лузги подсолнуха до размера не более трёх миллиметров;
- нагрев сырья в муфельной печи до 150 °С, выдержка в печи не менее 5 минут;
- загрузка в пресс и прессование топливных брикетов из органических отходов при давлении не менее 25 МПа;
- сушка полученных топливных брикетов из органических отходов в помещении до воздушно-сухого состояния.

Для определения средней плотности, брикеты взвешиваются на весах с погрешностью взвешивания не более 5 г по ГОСТ 29329-92, измеряется диаметр и высота штангенциркулем ШП-1 по ГОСТ 166-73 и линейкой длиной 1 м по ГОСТ 427-75. Определяем объем (V) каждого брикета по следующей формуле:

$$V = \pi r^2 h.$$

Определяем среднюю плотность ($\rho_{\text{ср}}$) каждого брикета по следующей формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V}.$$

Определение влажности проводится с помощью сушильного шкафа с электрическим обогревом и терморегулятором, с отверстиями для естественной вентиляции, с устойчивой температурой нагрева 103 ± 2 °С, термопара хром-никель типа ТХА по ГОСТ 6616-94 с вторичным измерительным прибором ТРМ-1А по ТУ 4211-002-46526536-00, тигли фарфоровые низкой формы по ГОСТ 9147-80, № 5 или № 6, лабораторные весы и эксикатор по ГОСТ 6371-73 с гранулированным хлористым кальцием по ГОСТ 450-77.

Измельченный брикет массой 6 г помещается в тигель, затем перемещается в сушильный шкаф нагретый до 103 ± 2 °С и выдерживается в течении 4-х часов. Тигель вынимается и охлаждается в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивается [4].

Содержание влаги определяется по формуле:

$$W_{\text{ОТН}} = \frac{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{после сушки}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\%.$$

Средняя влажность брикета определяется по результатам трех опытов.

Для определения зольности используются печь муфельная с электрическим обогревом и терморегулятором, термопара хром-никель типа ТХА по ГОСТ 6616-94 с вторичным измерительным прибором ТРМ-1А по ТУ 4211-002-46526536-00, тигли фарфоровые низкой формы по ГОСТ 9147-80, весы лабораторные, эксикатор по ГОСТ 6371-73 с гранулированным хлористым кальцием по ГОСТ 450-77 и щипцы.



Измельченный брикет массой 6 – 8 г помещают предварительно взвешенный тигель и перемещают в муфельный шкаф, нагретый до 800 ± 25 °С. Образовавшийся зольный остаток вынимают, охлаждают 5 минут на воздухе, затем в эксикаторе в течение 30 минут и взвешивают [5]. Зольность брикета высчитывается по формуле:

$$A_{\text{отн}} = \frac{m_{\text{тигель+зола}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100.$$

Средняя зольность брикета определяется по результатам трех опытов.

Для определения выхода летучих веществ используются муфельная печь с терморегулятором, термopара, тигель с крышкой, эксикатор по ГОСТ 6371-73 с гранулированным хлористым кальцием по ГОСТ 450-77, весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,1 мг и секундомер.

Для определения выхода летучих веществ тигель с измельченной пробой помещают в муфельную печь предварительно нагретую до 900 °С и выдерживают в течение 7 минут. После тигель вынимают, охлаждают на воздухе 5 минут и перемещают в эксикатор на 30 минут. После охлаждения до комнатной температуры тигель с нелетучим остатком взвешивают на лабораторных весах [6].

Выход летучих веществ вычисляют по формуле:

$$V_a = \frac{m_{\text{тигель+остаток}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\% - W_{\text{отн}}$$

Для проведения опыта на длительность горения брикет помещается в муфельную печь, предварительно разогретую до 900 °С. Секундомером засекается время начала и время конца горения брикетов, пока в золе не останется тлеющие элементы.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В данной статье были получены брикеты из лузги подсолнуха без дополнительного связующего вещества. Для улучшения выхода лигнина и увеличения прочности брикета процесс брикетирования вели при температуре не менее 150 °С (Рис.1).



Рис.1. Брикет из лузги подсолнуха при $\rho=250$ кг·с/см²

Для определения плотности были исследованы десять брикетов разной массы. По результатам экспериментов средняя плотность топливных брикетов из лузги составила величину 1038,05 кг/м³ при давлении 25 МПа.

Средняя влажность измельченных брикетов оказалась равна $W_{\text{ср}} = 3,86$ %. Средняя зольность брикетов из лузги подсолнуха составила $A_{\text{ср}} = 2,05$ % (Рис.2).



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



Рис. 2. Образовавшаяся зола после сжигания брикета из лузги подсолнуха

Выход летучих веществ топливных брикетов из лузги подсолнуха – 15,84 % (Рис.3).



Рис.3. Остаток после выхода летучих брикета из лузги подсолнуха

По результатам исследования средняя длительность горения брикета массой 10 г оказалась равной 31 минуте (Рис.4).



Рис. 4. Процесс горения топливных брикетов из лузги подсолнуха

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Плотность у полученных брикетов оказалась выше в 2 раза, чем у древесины, что безусловно положительно скажется на качестве и длительность горения. Влажность брикета равная 3,86 % удовлетворяет требованиям по влажности, которое не должно превышать 8 %. Средняя зольность брикетов из лузги подсолнуха составляет 2,05 %. Это является основным экологическим преимуществом.

Выход летучих является одной из важнейших характеристик твердого топлива: от него зависят условия воспламенения и характер горения топлива. Выход летучих веществ у брикетов из лузги подсолнуха равен 15,84 %. При массе 6 – 10 г средняя длительность горения брикетов равна 31 минутам. При горении топливные брикеты не искрятся и не выделяют угарный газ.



VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Брикетирование с нагревом лузги увеличивает прочность брикетов.
2. Брикеты из лузги подсолнуха отличаются высокой плотностью, что способствует длительному горению топливных брикетов.
3. Благодаря низкой влажности, брикеты из лузги подсолнуха имеют высокую теплоту сгорания.
4. Брикеты из лузги подсолнуха имеют низкую зольность, что повышает теплоту сгорания и является основным экологическим преимуществом.
5. Выход летучих брикетов говорит о хорошей реакционной способности.
6. Брикеты способны давать устойчивое пламя от закладки до полного сгорания в течение 2,5 – 3 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Альтернативное топливо. переработка отходов сельского хозяйства:[Электронный ресурс].2005. URL: <http://www.ipa-don.ru/offers/projects/altt> (дата обращения:19.04.2017)
- [2] Справочник. Наилучшие доступные технологии и решения для производства топливных гранул и брикетов из древесной биомассы и отходов деревообработки . Федеральное агентство лесного хозяйства. М., 2013. – 36 с.
- [3] Методы испытаний брикетов:[Электронный ресурс]. URL: <http://bricet.com.ua/733nm/>.(дата обращения: 19.04.2017)
- [4] ГОСТ Р 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги высушиванием. М.: 2010. – 8 с.
- [5] ГОСТ 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение зольности. М.: 2010. – 8 с.
- [6] ГОСТ Р 55660-2013.Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ. М.:2014. – 14 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- А. К. Кинжибекова, к.т.е., и.о. доцента кафедры «Теплоэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова, г.Павлодар, Казахстан, e-mail: akmaral70@mail.ru.
- А. Ж.Алеева, магистрант кафедры «Теплоэнергетика» государственного университета им. С. Торайгырова, г.Павлодар, Казахстан, e-mail: aleeva_aigul_94@mail.ru .



УДК 621.311.24

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ

Е. А. Шибанов, Д. В. Рысев

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Ветровые станции используются продолжительное время и широко описаны в научной и технической литературе. В данной статье рассмотрена система управления ветроэнергетической установкой, при дополнении её компенсатором малого ветра и датчиком скорости ветра, призванными повысить рентабельность ветрогенератора за счет увеличения КПД и продолжительности работы установки. Предлагается дальнейшее развитие данного направления интеграцией ветрогенераторов с солнечными батареями. Также описана конструкция датчика скорости ветра, предлагаемого для использования в установке.

Ключевые слова – Ветроэнергетика, ветрогенератор, система управления.

I. ВВЕДЕНИЕ

Потенциал применения энергии ветра высок, как показывает статистика многих стран, в которых доля вырабатываемой ветрогенераторами электроэнергии велика. Применение ветроэнергетических установок (ВЭУ) не загрязняет атмосферу вредными выбросами, что достаточно важно в современных условиях. Однако в нашей стране ветроэнергетика развита слабо (1 % от всей электроэнергии против 25 % в Германии). Рентабельность использования ВЭУ ставится под сомнение во многих научных статьях, но и положительные результаты можно получить, используя различные дополнительные устройства. Одним из таких устройств является компенсатор малого ветра.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Требуется усовершенствовать ВЭУ внесением дополнительных приводов и следящих систем. Необходимым звеном является компенсатор малого ветра, повышающий время работы установки. Для системы управления также изменяется тип датчика скорости ветра.

III. ТЕОРИЯ

Развитие ветроэнергетики идет по двум направлениям:

1. Частные маломощные (до 1 кВт) ветрогенераторы для потребителей одного или нескольких зданий.

2. Генерирование электроэнергии в сеть.

Второе направление подразумевает или одноагрегатную ВЭУ большой мощности, или создание так называемых «ветровых ферм». Это многомодульные ветроэлектрические станции, состоящие из 1 – 2 десятков идентичных ветрогенераторов относительно небольшой мощности [1].

При всем многообразии источников возобновляемой энергии необходим контроль в ходе их эксплуатации. Чтобы максимально эффективно использовать энергию ветра с помощью ВЭУ, её работу необходимо регулировать непосредственно в процессе эксплуатации. Правильно подобранная и настроенная система автоматического



управления (САУ) может во много раз улучшить не только количество и качество вырабатываемой электроэнергии, но и продлить срок службы ветрогенератора. Существует множество разных следящих систем в зависимости от мощности и типа ветроустановки. Такая система может быть весьма сложной или чрезвычайно простой, автоматизированной или нет. Структура системы определяется, в частности, способом, законом и программой регулирования [2, 3].

В данной статье представлена САУ, которая охватывает наибольшее количество аспектов работы. На Рис. 1 представлена структурная схема системы управления ВЭУ, в которой CPU – контроллер ВЭУ, он обрабатывает сигналы, поступающие с датчиков, моделирует сигнал для управления блоком электротормоза, управляет зарядом/разрядом аккумулятора, подает питание на компенсатор малого ветра. Показания выводятся на монитор, где оператор может просмотреть данные со всех датчиков. Дополнительным преимуществом является то, что вся информация о работе системы записывается на встроенную память. При проведении ТО оператор может снять показания и проследить весь процесс работы в течение заданного времени. Также отслеживанию подлежит значение скорости вращения рабочего колеса, выходное напряжение, выходной ток, сопротивление ТЭНов, время (для обработки данных). Точное определение всех необходимых для тонкой настройки ВЭУ величин позволит получить больший КПД.

Значительную роль играют сторонние силы, содействующие, или наоборот, препятствующие выработке энергии. Главные возмущающие воздействия для ВЭУ – это температура воздуха и скорость ветра. Для отслеживания этих параметров требуется датчик температуры – термомпара, и датчик давления воздуха – анемометр. Однако, анемометры, используемые в настоящее время, устарели. Предлагается закрепить на корпусе гондолы трубку с одним запаянным отверстием. Внутри находится датчик давления, выходной сигнал которого пропорционален скорости ветра. Так как он закреплен на гондоле, которая всегда направлена навстречу ветру, ветер, задувая в трубку, воздействует на датчик давления. Такая конструкция дешевле, компактнее и долговечнее чем чашечные анемометры.

Помимо датчика давления ветра, нововведением является компенсатор малого ветра, с помощью которого ветрогенератор сможет заряжать АКБ и при малом ветре. При достаточной скорости ветра, которую определяет анемометр (примерно 2 – 3 метра в секунду), контроллер подает сигнал на компенсатор, состоящий из двигателя постоянного тока, вала передачи и толкателя. При подаче напряжения, якорь двигателя начинает вращаться. В это же время срабатывает электрический толкатель, и вал двигателя подается на встречу к зубчатому колесу, жестко сидящему на валу ветрогенератора. Крутящий момент передается на главный вал и вращает лопасти в течение небольшого промежутка времени, затем напряжение снимается с компенсатора и электрический толкатель возвращается в исходное положение. Этого «толчка» хватает, чтобы ветер подхватил вращение, и лопасти начали вращаться без помощи двигателя.

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При использовании системы управления, настроенной с учетом измененного датчика скорости ветра и компенсатора малого ветра имеется возможность получить более высокий КПД установки, а также увеличить время работы ветрогенератора.

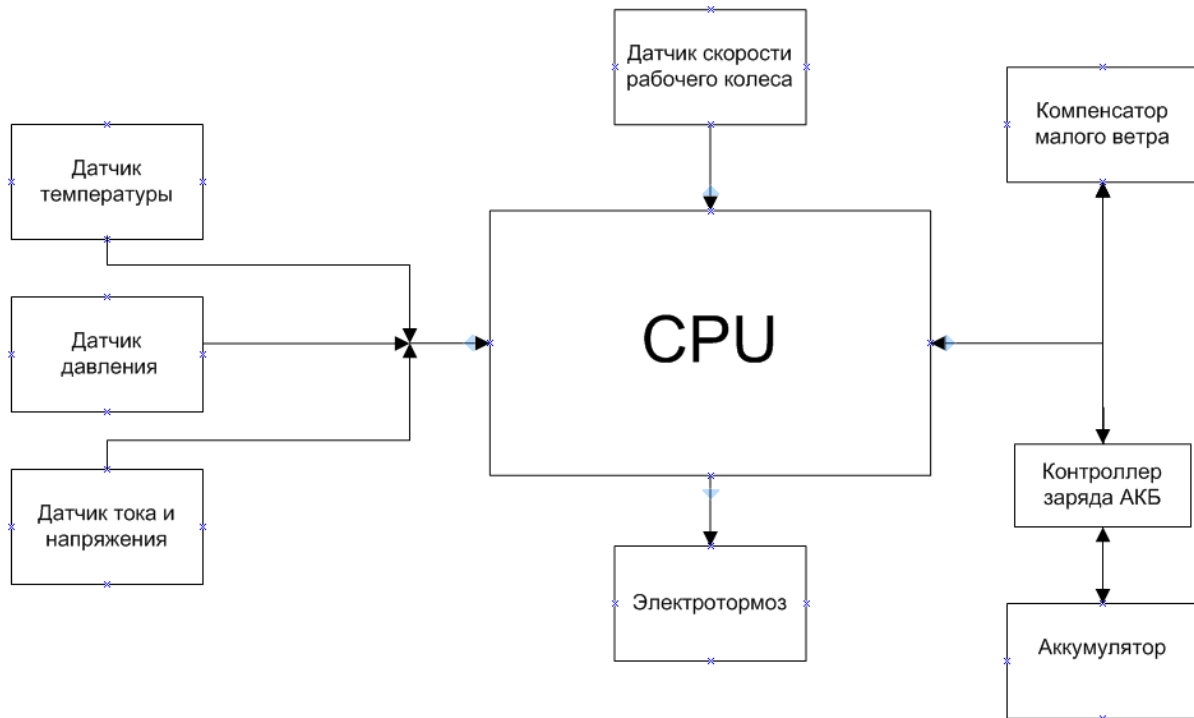


Рис. 1. Структурная схема системы управления ВЭУ

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Такая система может использоваться и в гибридных установках в совокупности с солнечными батареями. Гибридная система будет выгодна и в Омской области, где ветрогенераторная установка является нерентабельной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Герасимов А., Толмачев В., Уткин К. Ветроэнергетические установки для автономного электроснабжения // Новости Электротехники, 2006. № 2 (38). С. 50 – 53
- [2] Бельский А.А. Электротехнический комплекс с гибридной ветроэлектрической установкой гарантированного электроснабжения: автореф дис. 05.09.03. канд. техн. наук. СПб., 2013. 22 с.
- [3] Коноплев Е. В. Применение ветроэнергетической установки в системе автономного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей малой мощности: автореф. дис. 05.20.02. канд. техн. наук. Ставрополь, 2007. 24 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. А. Шибанов, магистр, e-mail: ewgens95@mail.ru

Д. В. Рысев, к. т. н., доцент кафедры «Электрическая техника», e-mail: Rysev_dmitry@list.ru



УДК 621.311

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСКРЕТНОГО И ПАКЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЧАСТОТНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ СИГНАЛОВ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселев

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье рассматриваются различные способы обработки сигналов тока в нестационарных режимах работы системы электроснабжения при наличии нелинейной нагрузки. Кроме этого, предлагается алгоритм, позволяющий определить наличие высших гармоник и вычислить действующие значения токов любой из гармоник сигнала тока. Был произведен эксперимент, подтверждающий преимущество вейвлет-преобразования при обработке сигналов по сравнению с преобразованием Фурье. Также, произведено математическое моделирование исследуемого сигнала с помощью вейвлет-преобразования, результатом которого стали две модели: обработка сигнала с помощью дискретного и пакетного вейвлет-преобразования. Пакетное вейвлет-преобразование показало свое преимущество перед дискретным.

Ключевые слова – нелинейная нагрузка, преобразование Фурье, дискретное вейвлет-преобразование, пакетное вейвлет-преобразование, нестационарный режим.

I. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время на производстве и в быту значительно увеличилась доля электроприемников, сильно искажающих синусоидальную кривую напряжения питающей электросети. Такие электроприемники носят название нелинейной нагрузки, которая генерирует токи высших гармоник в сеть питания.

Высшие гармоники кратны основной частоте сети (50 Гц). Они негативно влияют на чувствительное оборудование, создают дополнительные потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения (СЭС), вызывают дополнительный нагрев электрических машин, снижают срок службы изоляции, а также понижают и КПД электрооборудования вследствие протекания дополнительных токов высших гармоник [1 – 3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью настоящей работы является разложение сигнала на гармонические составляющие с помощью пакетного вейвлет-преобразования, определение действующего значения каждой гармоники и действующего значения суммарного тока в нестационарном режиме работы системы электроснабжения (СЭС), а также показать преимущество пакетного вейвлет-преобразования перед дискретным.

III. ТЕОРИЯ

Пусть I_{50} – действующее значение переменного тока на основной частоте сети, протекающего по элементам СЭС при отсутствии нелинейной нагрузки. Т.е. при отсутствии высших гармоник в сети (Рис. 1) мы можем записать:

$$I_{\Sigma} = I_{50}. \quad (1)$$

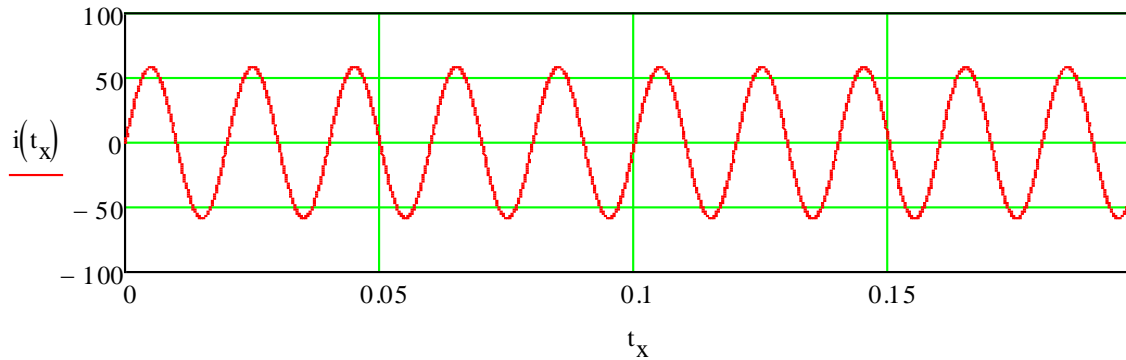


Рис. 1. Зависимость $i(t)$ при отсутствии ВГ

При включении нелинейной нагрузки (генератора токов ВГ) действующее значение тока в сети будет иным. Из курса теоретических основ электротехники известно, что действующее значение несинусоидального тока в сети при наличии ВГ согласно принципу наложения равно квадратному корню из суммы квадратов действующих значений токов отдельных гармоник.

$$I_{\Sigma} = \sqrt{I_{50}^2 + I_3^2 + I_5^2 \dots + I_n^2}, \quad (2)$$

где I_{Σ} – действующее значение несинусоидального тока; I_{50} – действующее значение тока на основной частоте (при 50 Гц); I_3, I_5 – действующие значения тока на высших гармониках; n – номер гармоники.

Сопоставляя между собой выражения (1) и (2), можно сделать вывод, что действующее значение результирующего тока в сети, содержащей нелинейную нагрузку, превышает действующее значение чисто синусоидального тока [4].

Пусть осциллограмма тока имеет вид, приведенный на рис. 2.

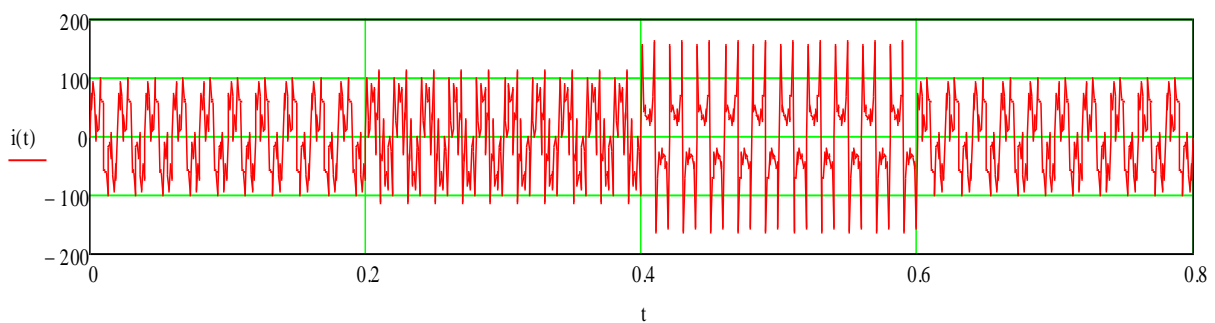


Рис. 2. Осциллограмма тока

Однако, по имеющейся осциллограмме мы не можем сразу сказать о гармоническом составе имеющегося сигнала. По этой причине нам необходимо произвести обработку полученного цифрового сигнала тока. Цифровые сигналы представляют собой числовую последовательность, т.е. дискретный ряд (Рис. 3).

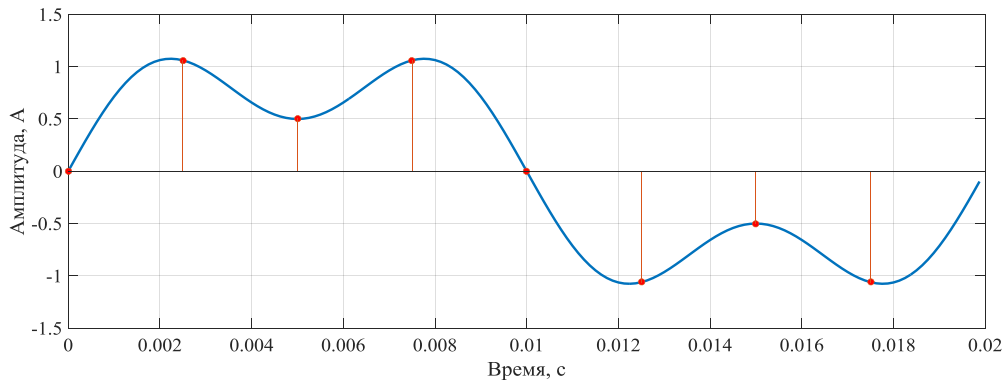


Рис. 3. Дискретное представление сигнала

Для работы с такими последовательностями чисел используется дискретное преобразование Фурье, которое преобразует сигнал из амплитудно-временной области в амплитудно-частотный спектр [5]. Спектр тока рассматриваемого нами исходного сигнала показан на рис. 4.

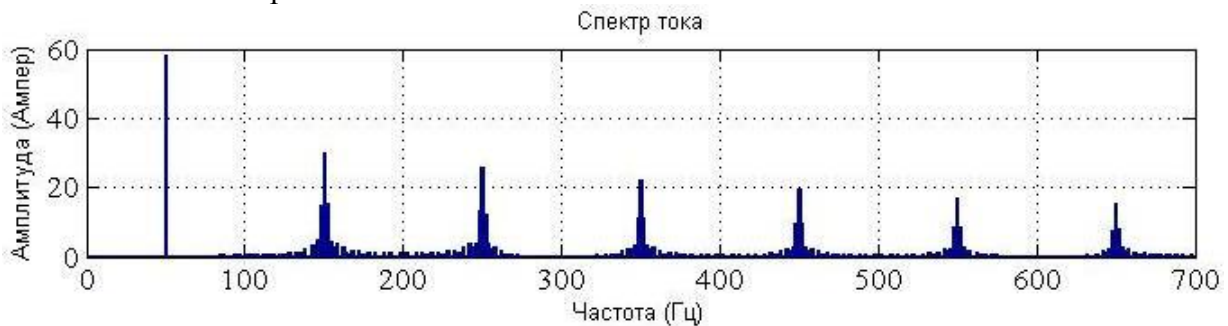


Рис. 4. Фурье спектр тока нестационарного режима работы

Из графика мы видим, что при нестационарных процессах преобразование Фурье ошибочно полагает, что вокруг основных частот гармоник появляются всевозможные ложные частоты, не имеющие никакого отношения к действительности (множество «штрихов» около основных вертикальных линий на графике). Здесь мы отчетливо видим проявление эффекта «растекания спектра».

Для преодоления такого эффекта можно воспользоваться оконным преобразованием Фурье (ОПФ) или вейвлет-преобразованием (ВП).

Вейвлет-преобразование исходного сигнала может быть представлено следующим образом

$$\Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \int_{-\infty}^{+\infty} i(t) \psi(2^j t - k) dt, \quad (3)$$

где j – параметр масштаба; k – параметр временного сдвига; $1/\sqrt{2^j}$ – параметр нормировки.

Существует два вида ВП: дискретное и непрерывное [6 – 11]. В данной работе будут использоваться дискретное ВП, а также его подвид – ВП.

Применение ВП является более перспективным, так как оно само подбирает ширину окна, которое «пробегает» и «просматривает» исследуемый нами сигнал, в то время, как при применении ОПФ нам пришлось бы принудительно задавать ширину окна (Рис. 5).

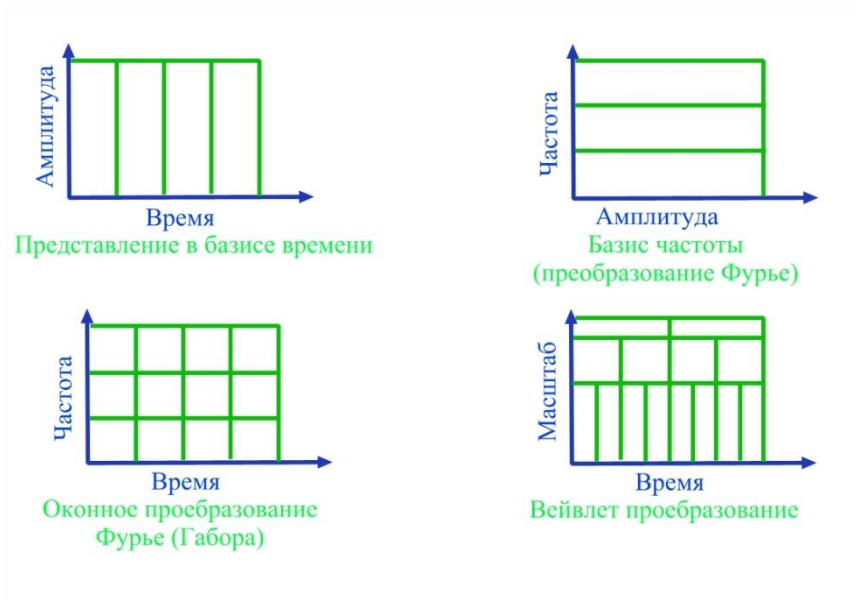


Рис. 5. Изменение ширины оконной функции

Применение пакетного ВП значительно облегчает гармонический анализ сигналов, так как в этом случае каждая из имеющихся в сигнале гармоник описывается своим вейвлет коэффициентом (по сравнению с дискретным).

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для иллюстрации предлагаемой методики рассмотрим следующий пример.

Рассмотрим СЭС (Рис. 6а), содержащую трансформатор, кабельную линию и два потребителя, причем каждый из этих потребителей является источником ВГ. Схема замещения такой СЭС показана на рис. 6б.

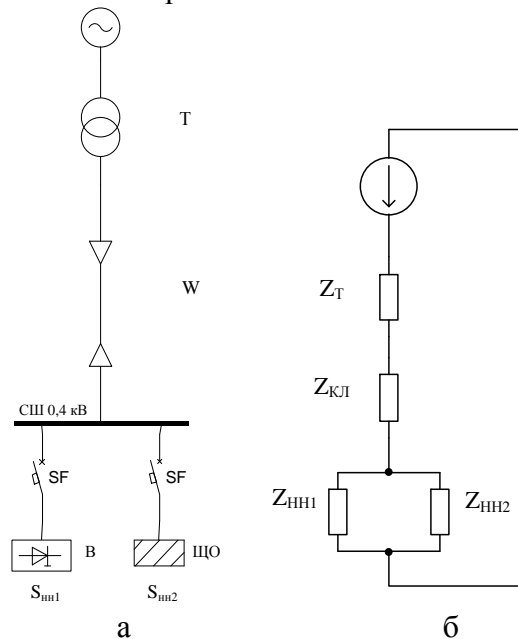


Рис. 6. СЭС (а) и её схема замещения (б)

Активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора равно:



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



$$R_m = \frac{P_{K3} \cdot U_{HH}^2}{S_{НОМ}^2} \cdot 10^3, \quad (4)$$

$$X_m = \frac{U_{K3} \cdot U_{HH}^2}{100 \cdot S_{НОМ}} \cdot 10^3, \quad (5)$$

где R_m , X_m – активное и индуктивное сопротивления трансформатора; P_{K3} , U_{K3} – потери и напряжение короткого замыкания; U_{HH} – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения; $S_{НОМ}$ – номинальная мощность

Активное и индуктивное сопротивления кабельной линии:

$$R_K = R_0 \cdot l, \quad (6)$$

$$X_K = X_0 \cdot l, \quad (7)$$

где R_0 , X_0 – погонные параметры кабельной линии (сопротивления кабеля длиной 1 километр); l – длина линии (в км).

Из курса ТОЭ нам известно, что полное сопротивление складывается из активной и реактивной составляющих, т.е.

$$Z = R + jX. \quad (8)$$

Активная составляющая (R) не зависит от номера гармоники, т.е. на высших гармониках мы можем принять её неизменной. Реактивная составляющая (X) связана с номером гармоники следующим образом:

$$X_n = n \cdot X, \quad (9)$$

где X – реактивное (в нашем случае – индуктивное) сопротивление на основной гармонике сети (при частоте 50 Гц).

Пусть осциллограмма потребляемого тока рассматриваемой схемы имеет вид, приведенный на рис. 2.

Рассматривая приведенную осциллограмму потребляемого тока, мы можем судить только о том, что режим работы рассматриваемой нами СЭС имеет случайный характер, т.е. мы имеем дело с изменяющимся режимом работы электроприемников во времени (нестационарный процесс). Также мы можем график рис. 2 разделить на 4 интервала (по оси времени), в пределах которых мы имеем установившиеся режимы работы СЭС. Т.е. вместо одного графика, изображенного на рис. 2 мы получаем 4 отдельных для различных временных интервалов, которые показаны на рис. 7 – 10 соответственно.

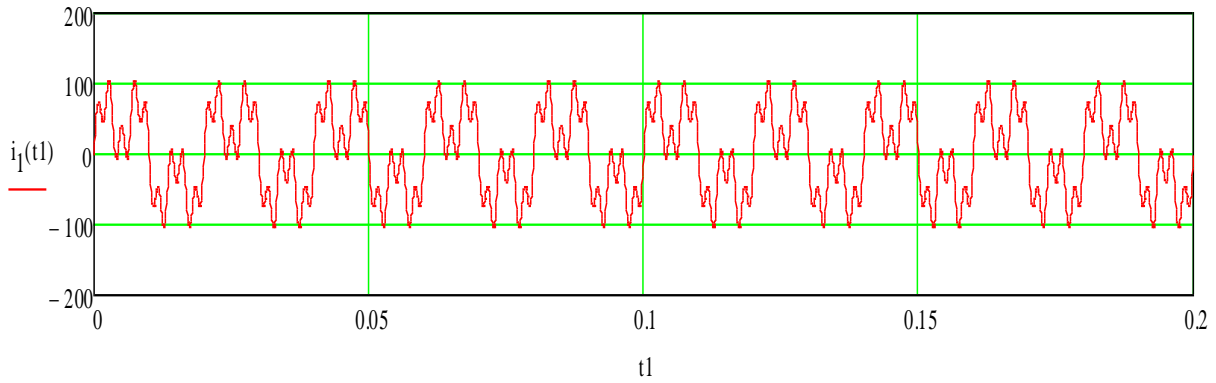


Рис. 7. Осциллограмма тока сети на интервале 0...0,2 с

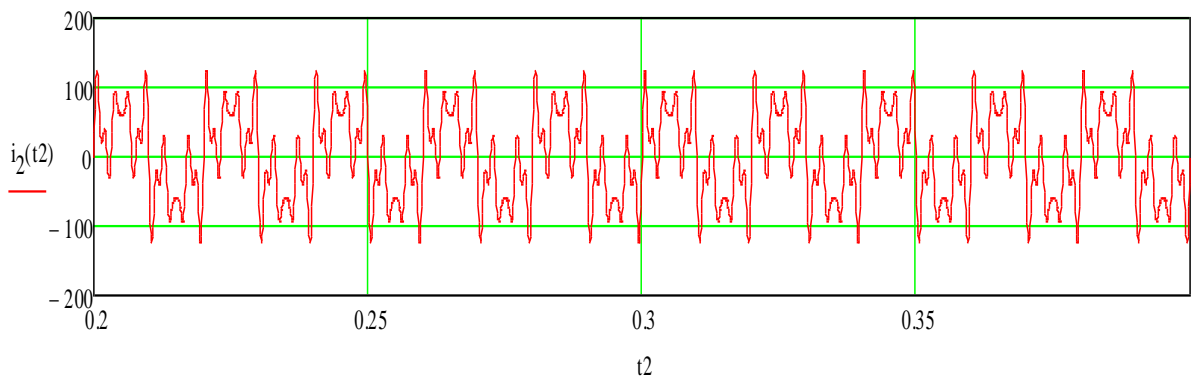


Рис. 8. Осциллограмма тока сети на интервале 0.2...0,4 с

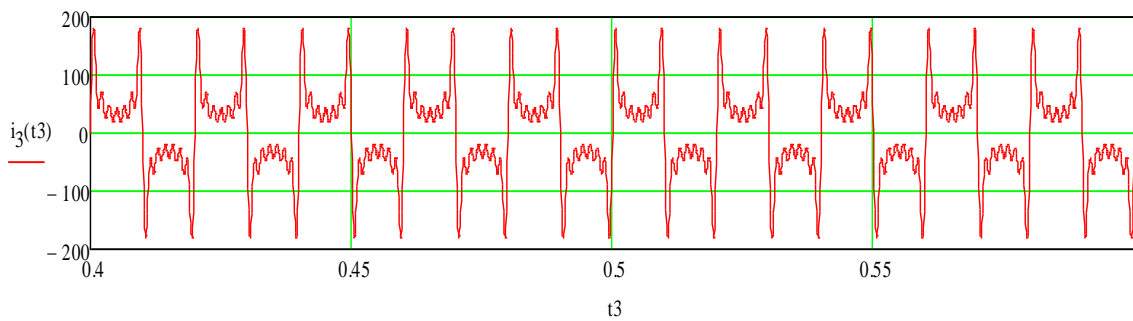


Рис. 9. Осциллограмма тока сети на интервале 0.4...0,6 с

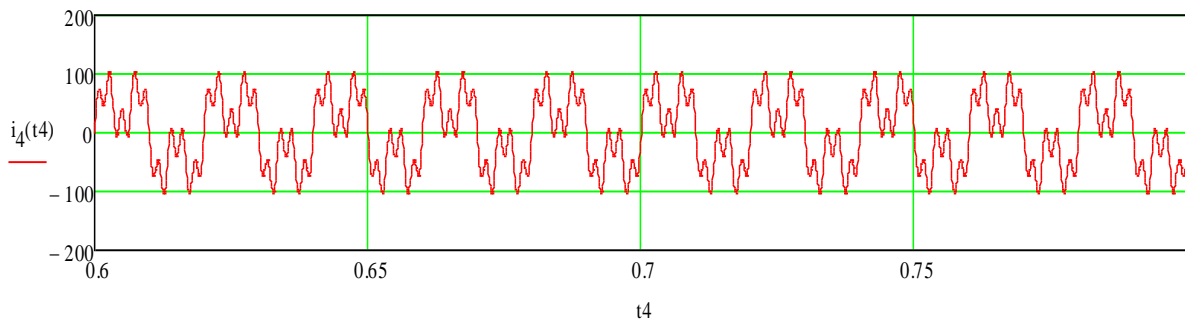


Рис. 10. Осциллограмма тока сети на интервале 0.6...0,8 с

Таким образом, мы имеем 4 установившихся режима работы системы и 3 момента внезапного перехода от одного установившегося состояния системы к другому (первый такой скачок возник в момент времени 0,2 с, второй – в 0,4 с, третий – в 0,6 с).

Разложим наш сигнал на гармонические составляющие, используя дискретное и пакетное ВП (разложение было выполнено в программном комплексе «MATLAB»). Блок-схемы предлагаемых алгоритмов показаны на рис. 11, 12. Разложение исходного сигнала (рис. 2) выполнялось до 3 уровня с использованием вейвлета Добеши 24 порядка (рис. 13). Мы видим, что в случае применения дискретного ВП частотные коридоры получаются значительно шире, чем при применении пакетного ВП. Иными словами, аппроксимирующим коэффициентом третьего уровня разложения мы описываем основную частоту (50 Гц), детализирующим третьего уровня – третью гармонику сигнала, детализирующим второго уровня – пятую, а детализирующим первого уровня – все остальные гармоники. Таким образом, в случае дискретного ВП мы не можем описать каждую гармонику сигнала в отдельности. Однако, применяя пакетное ВП, частотные коридоры значительно сужаются, и мы уже можем отдельным коэффициентом описывать каждую гармонику сигнала отдельно от других. Применяя пакетное ВП, мы получаем действующие значения токов гармоник, которые приведены в таблице I, и спектры вейвлет-коэффициентов, каждый из которых отвечает за свой частотный диапазон (Рис. 13). Таким образом, мы показали ощутимое преимущество пакетного ВП в сравнении с дискретным.

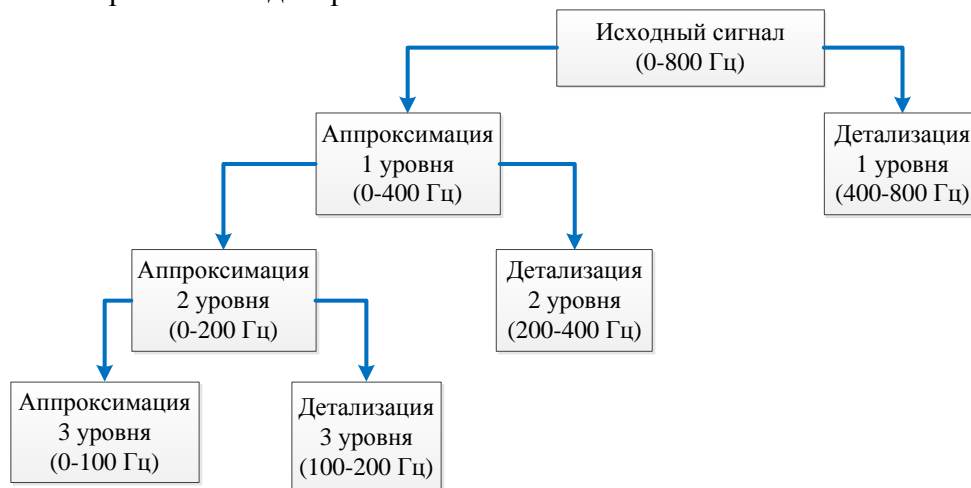


Рис. 11. Блок-схема дискретного вейвлет-разложения сигнала

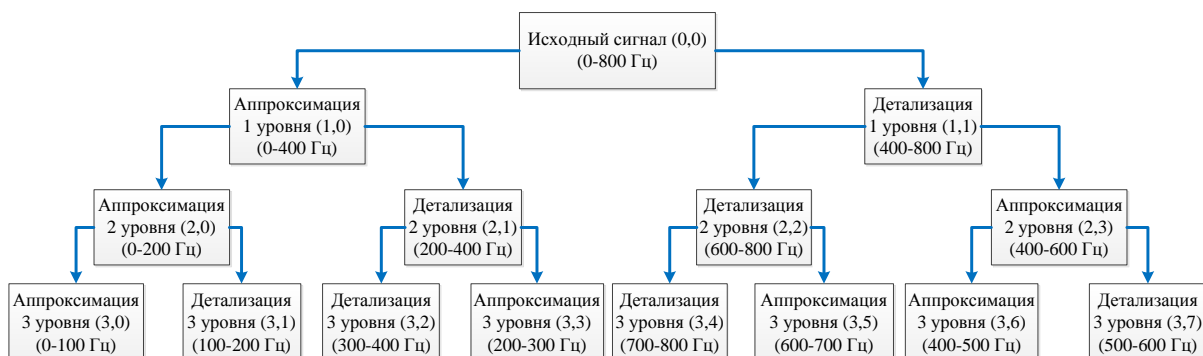


Рис. 12. Блок-схема пакетного вейвлет-разложения сигнала



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



ТАБЛИЦА I
ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ ТОКОВ ГАРМОНИК, ВЫЧИСЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТНОГО
ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Номер гармоники, n	Обозначение	Действующее значение тока гармоники, А
<i>Основная - 1</i>	I_{50}	41.188
3	I_3	35.675
5	I_5	30.132
7	I_7	26.191
9	I_9	22.903
11	I_{11}	20.154
13	I_{13}	17.869
<i>Суммарный ток</i>	I_{Σ}	76.244

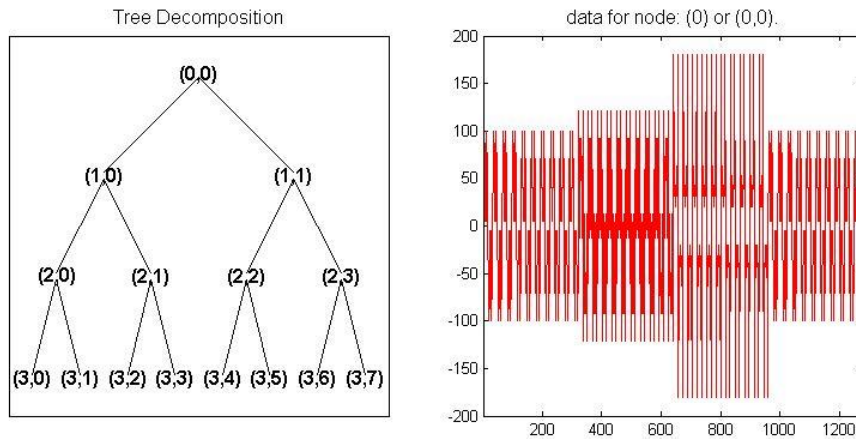
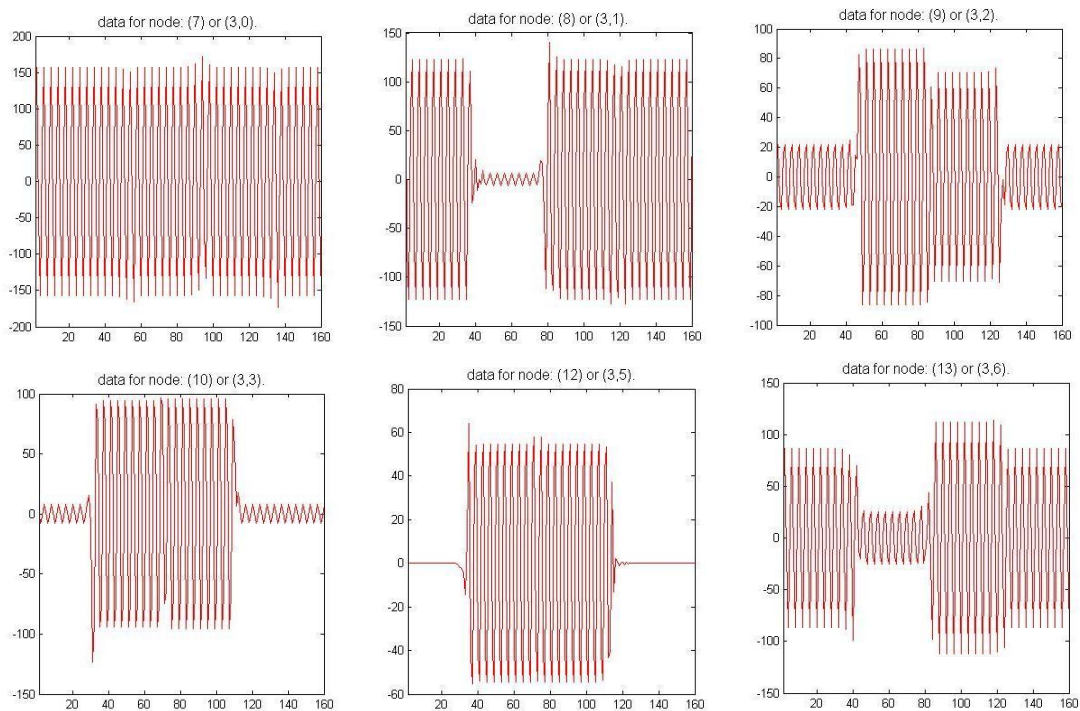


Рис. 13. Разложение сигнала пакетным ВП



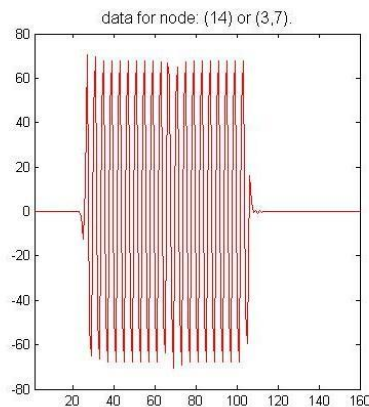


Рис. 14. Матрица вейвлет-коэффициентов сигнала тока

На рис.15 приведена энергия вейвлет-коэффициентов, описывающих каждую из гармоник сигнала в отдельности. Из приведенного расчета следует, что на основную частоту сигнала приходится около 43,3 % энергии, а остальная часть приходится на ВГ и рассеивается в окружающую среду в виде тепла. Напоследок, следует сказать, что если энергия, описываемая каким-либо вейвлет-коэффициентом не превышает заранее заданного порогового значения (этот порог определяется возможной погрешностью вычислений), тогда этот вейвлет-коэффициент может быть отброшен при решении задачи восстановления исходного сигнала по имеющимся вейвлет-коэффициентам (на рис. 13, 15 мы видим, что энергия вейвлет-коэффициента (3,4) незначительна, поэтому мы имеем право не учитывать наличие этого диапазона частот при реконструкции сигнала).



Рис. 15. Расчет энергии сигнала тока

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве заключения можно привести следующие выводы.

1. В работе было произведено сравнение дискретного и пакетного ВП, выявлено явное преимущество пакетного ВП.
1. Произведена декомпозиция сигнала с применением дискретного и пакетного ВП. Выбор пакетного ВП не случаен: если бы мы использовали чисто дискретное ВП, то мы бы не смогли описать каждую из гармоник сигнала своим вейвлет-коэффициентом из-за очень широких частотных коридоров.
2. Выполнен расчет действующих значений токов гармоник.
3. Разработана математическая модель, которая позволяет разложить любой сигнал на гармонические составляющие.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
- [2] Смирнов, С. С., Высшие гармоники в системах высокого напряжения. – Новосибирск: Наука, 2010. – 327 с.
- [3] Горюнов В. Н., Осипов Д. С., Люতারевич А. Г. Определение управляющего воздействия активного фильтра гармоник // Электро, электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2009. № 6. С. 20 – 24.
- [4] Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – М.: Гардарики, 2002. – 638 с.
- [5] Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
- [6] Осипов Д. С., Коваленко Д. В., Киселёв Б. Ю. Расчет потерь энергии в кабельной линии электропередачи при наличии нелинейной нагрузки методом пакетного вейвлет-преобразования // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии, 2016. № 4 (148). С. 84 – 89.
- [7] Смоленцев, Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
- [8] Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования. – Новосибирск: НГТУ, 2003. – 104 с.
- [9] Osipov D. S. Algorithms of packet wavelet transform for power determination under nonsinusoidal modes // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). – 2016. – P. 1 – 5. DOI:10.1109/Dynamics.2016.7819059
- [10] Osipov D.S. Applications of wavelet transform for analysis of electrical transients in power systems: the review // Przegląd Elektrotechniczny. – 2016. Vol. 92, № 4. – P. 162 – 165. DOI: 10.15199/48.2016.04.35.
- [11] Osipov D. S. Wavelet Transform - A New Tool for Analysis of Harmonics in Power Systems // MATEC Web of Conferences. – 2016. – P. 1–5. DOI: 10.1051/mateconf/20167010009.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. С. Осипов, к. т. н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: Dmitrii_Kovalenko92@mail.ru

Д. В. Коваленко, аспирант, e-mail: Dmitrii_Kovalenko92@mail.ru

Б. Ю. Киселев, магистр, e-mail: Dmitrii_Kovalenko92@mail.ru



УДК 62-533.6

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько¹, А. Е. Карманов², А. Т. Кажыбаева¹

¹Павлодарский государственный университет им.С.Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи, г. Алмата, Казахстан

Аннотация – В статье приводится описание существующих методик по оценке технического риска для высокотемпературных агрегатов; приведены их основные недостатки. На основе разработанного способа контроля теплового состояния обмуровок разработана методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса. Разработанная методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса позволяет вести непрерывный мониторинг, как теплового состояния обмуровки (футеровки), так и её остаточного ресурса.

Ключевые слова – надёжность, технический риск, обмуровка, остаточный ресурс.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросам оценки технического риска при работе высокотемпературных агрегатов уделяется значительное внимание. Анализ и расчёт технических рисков является обязательной составляющей при составлении декларации промышленной безопасности, разработке специальных технических условий, а также при обосновании опасности опасного производственного объекта. На предприятиях вводятся: анализ рисков на рабочих местах; оценка рисков в системе менеджмента охраны труда и др.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, вопросам анализа рисков в последнее время уделяется большое внимание и выбор соответствующей методики и проведения корректного анализа (расчёта) технического риска – важная, и как мы дальше покажем, непростая задача.

III. ТЕОРИЯ

В настоящее время применяются следующие методы оценки риска. Качественный метод основан на оценке, которую выполняет группа специалистов. Методов качественного анализа достаточно много: чек-лист; что будет, если; HAZOP и т.д. Если провести анализ всех методик качественного анализа, то можно резюмировать – группа специалистов, ознакомившись с техническими условиями эксплуатации (или предполагаемой эксплуатации – для проектируемых объектов) должна дать оценку вероятности риска возникновения аварий, определить мероприятия по их недопущению, а также приоритет предлагаемых мероприятий. Для градации риска обычно используют от трёх до пяти оценок; при использовании трёхоценочной шкалы – риск неприемлемый, серьезный или незначительный. В качестве критерия данного метода можно выделить несколько важных моментов. Во-первых, субъективность в принятии решений. При подобных анализах рисков в качестве специалистов для работы в группе часто привлекают специалистов того же предприятия, которые



полностью знакомы с производством. Но при этом эти люди зависимы от руководства предприятия и высказывают своё мнение с учётом сокращения финансирования на техническое перевооружение, планов ремонтов и др. Это является недопустимым при оценке рисков, так как подобные «субъективные» результаты не отражают производственные реалии.

Полуколичественный метод предполагает определение отдельных числовых значений вероятности последствий аварии. Одним из наиболее часто используемых способов определения величины рисков высокотемпературных установок является матричный способ. При его использовании риск может определяться как произведением вероятности события и размера ущерба. Вероятность события, как правило, принимается на основании статистических данных этого же предприятия. Недостатками методики является – отсутствие учёта износа оборудования, специфики его работы, а также возможности применение некорректных цифр для вновь установленного нестандартного оборудования, вследствие отсутствия статистики.

Количественный метод расчёта рисков предполагает проведение расчётов для различных сценариев возникновения аварии и сравнение полученных цифровых данных с допустимыми. Количественные методы анализа рисков также имеют значительную долю субъективизма их исполнителей. В литературе приводится множество примеров по расчётам рисков одной аварии с различными результатами. При этом результаты могут отличаться на 3 – 4 порядка. Приведём пример – ошибка оператора (работника). В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 эту величину можно принять равной $1,52 \cdot 10^{-3}$. При этом, если углубиться в данный вопрос, то можно найти целую градацию на ошибки оператора, зависящие от: возраста, выполняемой работы, величины стресса и др. Литература [1] предполагает что данную величину, в зависимости от упомянутых факторов можно взять в пределах от $1 \cdot 10^{-4}$ до 1. А это лишь является малой составной частью значительного расчёта риска, в котором подобных значений может быть несколько десятков.

Расчёт рисков тесно связан с понятием работоспособности оборудования. При определении работоспособности оборудования для прогноза уровня безопасности часто используется метод имитационного моделирования. Такие работы включают, например, прогнозирование остаточной долговечности деталей судовых энергетических установок по критерию износа [2]. Использование имитационного моделирования позволяет перейти от детерминированного прогноза остаточного ресурса к вероятностной его оценке, что является исходной информацией для принятия мотивированных решений для повышения надёжности и безопасности судовых дизелей за счет обоснованного назначения сроков и режимов эксплуатации.

Таким образом, при применении этой методики устраняется недостаток, присущий количественным методам оценки – использование в расчётах рисков не цифр из справочников (статистики), а значений остаточной долговечности деталей, рассчитанных по критериям износа, усталостной прочности и др.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий [3]:

- известны параметры технического состояния, определяющие техническое состояние элементов несущих и ограждающих конструкций;
- известны критерии предельного состояния элементов конструкций;

– имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений параметров технического состояния.

В рассматриваемом нами случае – разрушении обмуровки (футеровки) высокотемпературного агрегата выполняются все три условия. В качестве параметра технического состояния, определяющего разрушение обмуровки, выделим скорость изменения температуры (температурные напряжения). Другие важные факторы, влияющие на разрушение: качество применяемых материалов; конструктивные характеристики; влияние агрессивных сред и др. Влияние вышеперечисленных факторов значительно ниже температурных перепадов и их можно снизить посредством контроля (качество выполнения работ) или считать постоянными (влияние агрессивных сред).

При эксплуатации обмуровок (футеровок) высокотемпературных установок (металлургических печей, кошей, обмуровок котлов) фактически действующие нагрузки и напряжения отличаются от расчетных. Для оценки величины остаточного ресурса воспользуемся методом оценки остаточного ресурса приборными методами, который предполагает применение встроенных приборов, предназначенных для оценки остаточного ресурса. То есть, приборы производят замеры температур, на основании которых производятся расчёты фактически возникающих температурных напряжений.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, на основании статистических данных производится построение зависимости остаточного ресурса обмуровки (футеровки) от величины температурных напряжений и их количества, превышающего допустимые.

Далее, по разработанной методике, производят расчёт возникающих температурных напряжений в процессе работы высокотемпературного агрегата [4].

В процессе кладки футеровки тепловых агрегатов в футеровку устанавливаются датчики температуры на заданные расстояния от её внутренней поверхности. С момента начала разогрева теплового агрегата (τ_0) ведут отсчёт времени разогрева. Для расчётов определяют шаг по координате Δy , то есть расстояние между двумя ближайшими точками футеровки теплового агрегата, в которых будут определять температуры.

Для чего геометрически делят футеровку стены по толщине на такое количество равных участков, чтобы точки замера температур датчиками 3 и 4 попадали на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате (рис. 1).

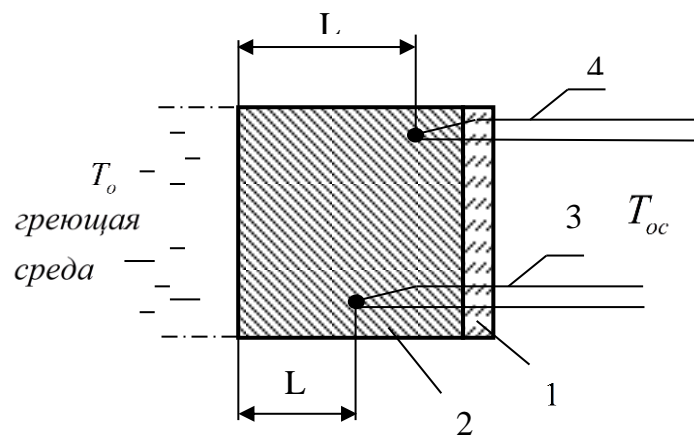


Рис. 1. Схема замера температур в обмуровке (футеровке)

Затем определяют шаг по времени $\Delta \tau$, то есть промежуток времени, через который будут определять температуры по сечению футеровки в выбранных точках.



Для определения температурных полей футеровки промышленного агрегата в момент времени τ_1 в процессе нестационарной теплопроводности снимают показания температуры датчиками температуры 3 и 4 (T_3 и T_4 соответственно).

Для дальнейших расчётов принимают, что температура по сечению футеровки перед процессом нагрева одинакова во всех точках и равна температуре окружающей среды.

Далее задаются первоначально температурой греющей среды T_0 . Первоначальное значение этой температуры принимают минимальным из возможных (при данных условиях нагрева). Затем производят расчёт значений температур по сечению футеровки теплового агрегата для момента времени τ_1 по любой разностной схеме.

Если в рассматриваемый момент времени рассчитываемая температура в точке на расстоянии L_1 от внутренней поверхности футеровки окажется равной T_3 и температура в точке на расстоянии L_2 от внутренней поверхности футеровки окажется равной T_4 то расчёт прекращают. При этом полученное распределение температур по сечению футеровки будет искомым.

Если же это условие не будет выполнено, задаются другой температурой T_0 и вновь повторяют расчёт.

На основании полученных данных (распределении температур) производится расчёт температурных напряжений. Затем используя зависимость остаточного ресурса обмуровки (футеровки) от величины температурных напряжений и их количества в режиме реального времени производится определение остаточного ресурса обмуровки.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса позволяет вести непрерывный мониторинг как теплового состояния обмуровки (футеровки) так и её остаточного ресурса. При этом определяющий фактор разрушения – температурные напряжения, превышающие предел прочности материала рассчитываются по разработанной схеме на основе численных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Безопасность жизнедеятельности. / Под ред. С. В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
- [2] Медведев В. В. Применение методологии формализованной оценки безопасности при проектировании судовой энергетической установки и ее элементов. – СПб.: Реноме, 2008. – 436 с.
- [3] РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации» Изд-во НИИХИММАШ. М.: 1992. – 50 с.
- [4] Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата: пат. 26932 Республика Казахстан: МКИ G 01 K 13/00/ А. С. Никифоров, Е. В. Приходько, А. К. Кинжибекова, Е. О. Кучер, Г. Н. Никонов; опубл. 15.05.2013, Бюл. № 5 . – 3 с.: ил.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. С. Никифоров, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теплоэнергетика», e-mail aleke4599@mail.ru
Е. В. Приходько, к.т.н., доцент, профессор, e-mail john1380@mail.ru
А. Е. Карманов, магистр, докторант, e-mail aman270685@mail.ru
А. Т. Кажобаева, магистрант, e-mail dilya_880420@mail.ru



УДК621.31

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОММУТАЦИИ ВАКУУМНЫМ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕМ ИНДУКТИВНОЙ НАГРУЗКИ

В. Г. Сальников¹, Д. М. Иванов²

¹*Сибирский государственный университет водного транспорта,
г. Новосибирск, Россия*

²*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация – Представлены результаты экспериментальных исследований переходных процессов в электрической сети 10 кВ при коммутациях вакуумными выключателями индуктивной нагрузки. Установлено: вероятность того, что кратность максимального импульсного напряжения в сети 10 кВ, может достигать 0,318. Параметры кабельной линии на 9...11 % снижают кратность коммутационных импульсных напряжений на изоляции трансформатора.

Ключевые слова – коммутационные перенапряжения, вакуумный выключатель, кратность максимального импульсного напряжения.

1. ВВЕДЕНИЕ

Коммутационные импульсные напряжения (коммутационные перенапряжения) за счет высокой кратности и кумулятивного эффекта представляют реальную опасность для изоляции. Ретроспективный анализ повреждения изоляции в сетях 6...10 кВ предприятий, технологические режимы которых (металлургические, химические и др.) связаны с числом переключений на фидерах до 100 раз в сутки, показал за 6 лет наблюдений высокую аварийность. Число однофазных замыканий на землю увеличилось в среднем в 3,8 раза. Не исключено, что негативный эффект от применения вакуумных выключателей (ВВ) в сетях других отраслей начнет проявляться несколько позже в силу меньшей интенсивности коммутаций и более медленной деградации изоляции [1].

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для устранения неопределенностей при оценке эффективности применения ВВ для коммутации индуктивной нагрузки были сформулированы следующие вопросы. Чему равна вероятность появления значительных коммутационных импульсных напряжений, превышающих допустимое значение, на присоединении 10 кВ с индуктивной нагрузкой? Насколько эффективно снижают коммутационные импульсные напряжения параметры силового кабеля 10 кВ (длина, ёмкости фаз на землю и между собой, индуктивность) и индуктивной нагрузки?

3. ТЕОРИЯ

Вакуумные выключатели обладают наибольшим коммутационным ресурсом, но имеют наиболее «жесткую» среду гашения дуги (против масляной и элегазовой дугогасящих сред). Степень жесткости оценивается скоростью перехода тока выключателя через нулевое значение, при котором еще возможно гашение дуги высокочастотного тока. Для ВВ $di/dt = (250...350) \text{ A / мкс}$ [2].

Коммутационные импульсные напряжения, возникающие при коммутации присоединений вакуумными выключателями, за счет высокой кратности

и кумулятивного эффекта представляют значительную опасность для витковой изоляции двигателей и для изоляции оборудования присоединений КРУ 6...10 кВ [3].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Экспериментальные исследования коммутационных импульсных напряжений проводились на подстанции 10 кВ компрессорной станции «Багандинская» ООО «Газпромтрансгаз Сургут». На рисунке 1 приведена схема подключения измерительного оборудования для осциллографирования коммутационных импульсных напряжений при коммутации вакуумным выключателем присоединения трансформатора типа ТМ 1000 10/0,4 кВ, работающего в режиме холостого хода. Коммутация этого трансформатора мощностью 1000 кВА осуществлялась вакуумным выключателем типа ВВТЭ-М-10-20 (10 кВ, 630 А). Подключение осциллографов к ДН-10 кВ осуществлялось кабелями марки КР-50 длиной до 15 м.

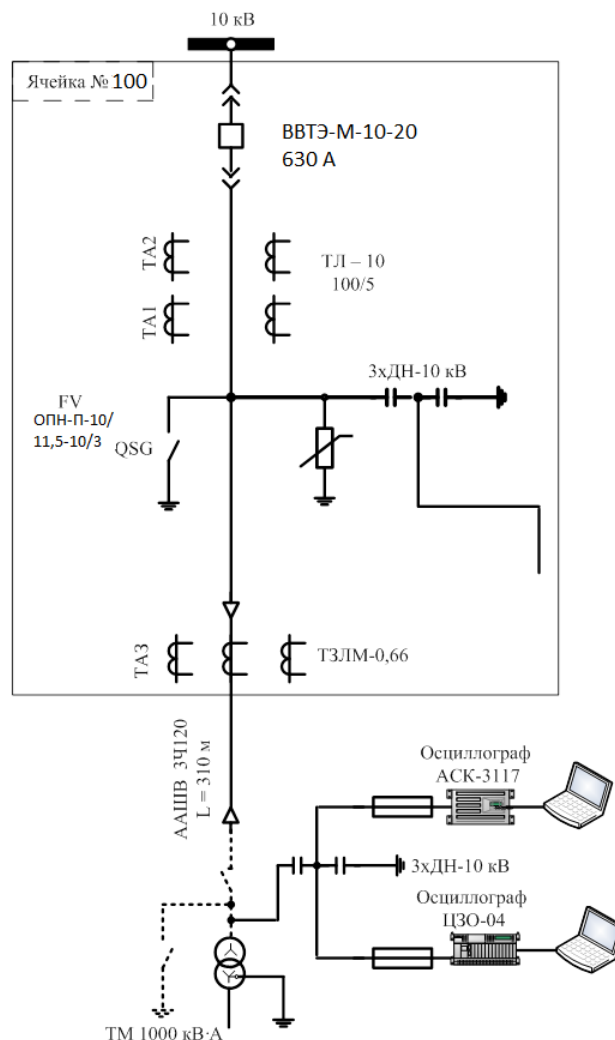


Рис. 1 Схема подключения измерительного оборудования для осциллографирования коммутационных импульсных напряжений при коммутациях вакуумным выключателем индуктивной нагрузки

Количество (число) испытаний n определено с помощью коэффициента вариации γ , показывающего в каком диапазоне меняются коммутационные импульсные напряжения:

$$n = 3,84 \frac{\gamma^2}{\Delta^2}, \quad (1)$$

где Δ – предел отклонения исследуемой величины, о.е.

При $\gamma = 5 \div 8$ и $\Delta = 0,8$, установленных на основании ретроспективного анализа коммутационных процессов, получено $n = 14$. Для иллюстрации на рис. 2 приведена осциллограмма фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции.

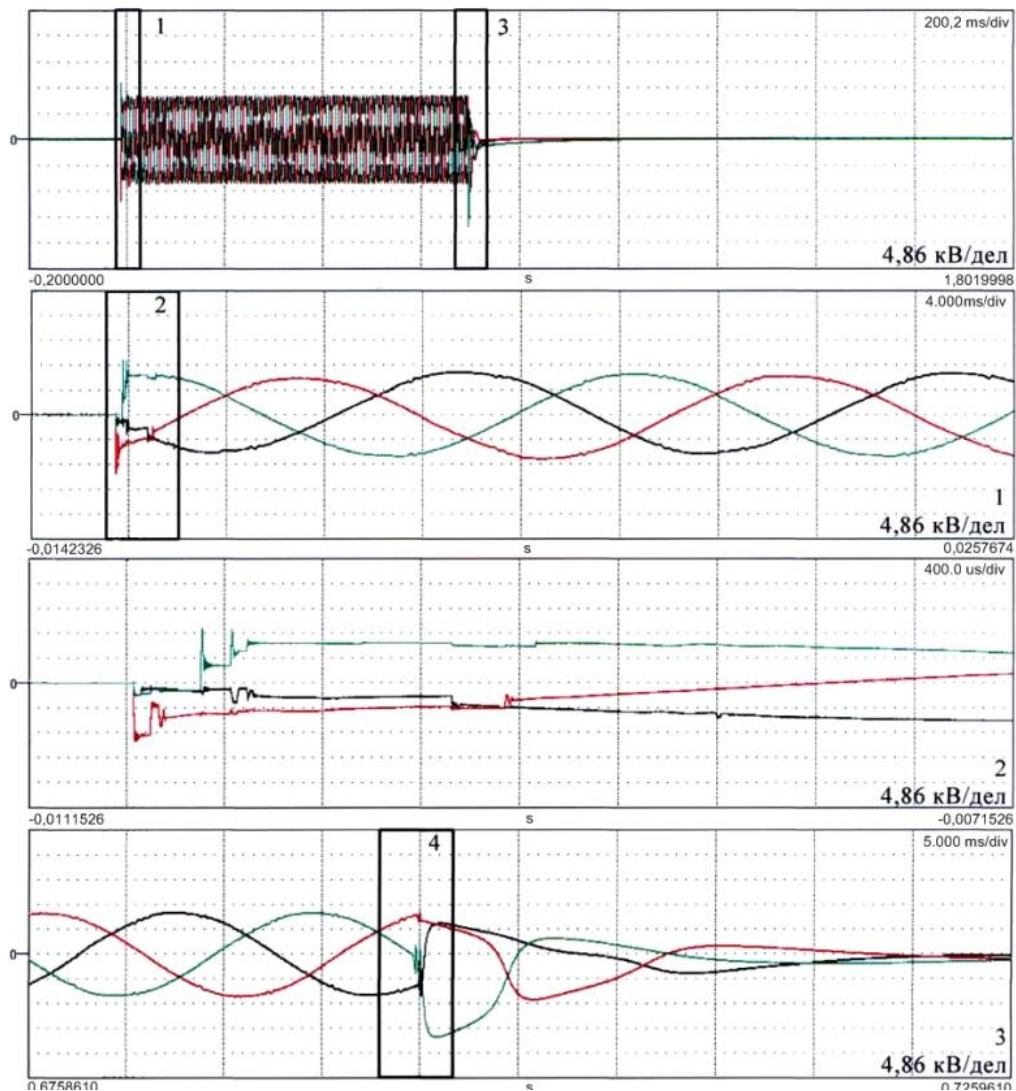


Рис. 2. Осциллограммы фазных напряжений на шинах 10 кВ подстанции при коммутации вакуумным выключателем индуктивной нагрузки

Расчетные значения математических ожиданий $M[K_i]$ и средних квадратических отклонений $\sigma[K_i]$ кратностей коммутационных импульсных напряжений (перенапряжений), полученные в зависимости от вида коммутации и места регистрации, представлены в таблице 1.



ТАБЛИЦА I
РЕЗУЛЬТАТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОСЦИЛЛОГРАММ

Параметры	Место регистрации			
	Шины 10 кВ подстанции в сторону кабельной линии		Шины 10 кВ трансформатора (после кабельной линии)	
	Включение ВВ	Отключение ВВ	Включение ВВ	Отключение ВВ
i	1	2	3	4
$M[K_i]$	1,51	1,38	1,46	1,2
$\sigma[K_i]$	0,34	0,35	0,26	0,31

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Объективность достоверности полученных результатов исследовалась с помощью вероятной ошибки Φ_i , которая в интервале $\pm \Phi_i$ характеризует отклонение равное половине всей совокупности. При нормальном законе распределения ошибки измерений как случайной величины теории вероятностей и математической статистики показатель точности измерений определялся по формуле:

$$\eta_i = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma[K_i]} \quad (2)$$

При этом вероятность того, что случайная ошибка измерений в пределах $\pm \eta_i \sigma[K_i]$, составляет $P_{\eta_i} = 0,682$. Следовательно, вероятность того, что кратность максимального импульсного напряжения ($K_{max} = 2,68$), зафиксированного в процессе измерений, может достигать 0,318.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, данное исследование показало, что: параметры кабельной линии на 9...11 % снижают кратность коммутационных импульсных напряжений на изоляции трансформатора (индуктивной нагрузки); вероятность превышения допустимых для сети 10 кВ коммутационных напряжений 43 кВ значительная и составляет 0,318.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Данилов Г. А., Денчик Ю. М., Иванов М. Н., Ситников Г. В. Повышение качества функционирования линий электропередачи/ Под ред. В. П.Горелова и В. Г.Сальникова – Новосибир.: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. – 557 с.
- [2] Сарин Л. И., Денчик Ю. М., Мочалин К. С. Исследование влияния параметров кабельной линии присоединения 10 кВ с вакуумным выключателем на коммутационные импульсные напряжения/ Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока, 2012. № 1. С. 344 – 347.
- [3] Иванова Е. В., Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах/ Под ред. В. П.Горелова, Н. Н.Лизалека - Новосибир.: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. – 432 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. Г. Сальников, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроэнергетических систем и электротехники» Сибирского государственного университета водного транспорта, e-mail: dimo4ka1996@mail.ru
Д. М. Иванов, бакалавр, Новосибирский государственный технический университет,



УДК 662.995

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИОННЫЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

К. А. Ветлугин, Е. А. Никитина, И. Л. Захаров

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Целью данной работы является исследование возможности применения ультразвукового кавитационного теплогенератора в качестве устройства для уменьшения вязкости нефти, транспортируемых по трубопроводной транспортной системе России. Тема актуальна для нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, расположенных в северных регионах России. В данной работе поставлена задача исследовать возможность снижения вязкости нефти при транспортировке с помощью ультразвукового кавитационного теплогенератора. В качестве метода исследования был выбран метод сравнения существующих аналогичных устройств используемых с той же целью с предлагаемым устройством. В результате проведенного сравнения было выявлено, что ультразвуковой кавитационный теплогенератор ничем не уступает уже имеющимся аналогичным устройствам и превосходит их по ряду параметров. Преимуществами ультразвукового кавитационного теплогенератора является его сравнительно малые габариты, масса, экологическая чистота и простота в изготовлении.

Ключевые слова – ультразвуковой теплогенератор, кавитация, вязкость.

I. ВВЕДЕНИЕ

Транспортировка нефти и водонефтяной смеси на объектах добычи, транспортировки и переработки нефти занимает большой объем в энергозатратах предприятий нефтяной отрасли. При понижении температуры вязкость перекачиваемой среды значительно увеличивается, что в свою очередь приводит к значительным энергозатратам [1]. Самыми распространенными способами обработки сырья для достижения меньшей вязкости, а следственно более высоких скоростей транспортировки продукции являются: термический нагрев, добавление присадок и разбавителей, применение электромагнитного излучения. Из всего перечня термический нагрев наиболее предпочтительный метод и наиболее эффективный. Нагрев осуществляется подогревателями нефти, такими как печи трубчатого блочного типа (ПТБ-10) и подогреватели путевые автоматизированные (ПП-0,63 А/АЖ) [2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В северных регионах России нефтеперерабатывающие и нефтедобывающие предприятия сталкиваются с проблемой транспортировки нефти по трубопроводам. Проблема тут заключается в том, что при низкой температуре, что достаточно характерно для данных регионов, нефть становится более вязкой и данный факт сильно затрудняет транспортировку. Задача заключается в рассмотрении, а в дальнейшем и разработке устройства, позволяющего избежать эти затруднения, а именно ультразвукового кавитационного теплогенератора. Ультразвуковой кавитационный теплогенератор относится альтернативным источникам энергии и обладает рядом существенных преимуществ по сравнению не только со стандартными устройствами, применяемыми в данной отрасли, но и с другими типами кавитационных теплогенераторов.

III. ЭКСПЕРИМЕНТ

По мнению зарубежных ученых из ASME (Американское общество инженеров-механиков) метод гидродинамической кавитации является наиболее

перспективным. Данный метод характеризуется эффективностью и экономичностью с целью уменьшения вязкости нефти[2]. Но и у данного типа устройств есть существенные недостатки. Дело в том, что устройства гидродинамической кавитации (гидроударные теплогенераторы, вихревые теплогенераторы) имеют в своем составе активные механические элементы. Активные механические элементы со временем ломаются. Ломаются насосы, работающие с частотой 3000 об/мин и эти поломки выводят из строя весь теплогенератор. На починку поломки уходит значительное время и ресурсы, что серьезно тормозит процесс транспортировки нефти. Кроме того в состав гидродинамических теплогенераторов входят вихревые кавитационные трубы (кавитаторы), которые со временем разрушаются, из-за образующихся в них кавитационных пузырей. Схлопывание кавитационных пузырей приводит к тому, что энергия окружающей жидкости сосредотачивается в очень небольших объемах. Тем самым, образуются места повышенной температуры и возникают ударные волны, которые являются источниками шума и приводят к эрозии металла. Современная отрасль науки, занимающаяся исследованием теплового эффекта кавитации тратит значительные ресурсы на разработки более эффективных и прочных вихревых кавитационных труб. Поэтому современная промышленность выпускает кавитаторы самых различных форм и конструкций. Разумеется, что данный факт является минусом для гидродинамических теплогенераторов. Зато в ультразвуковых теплогенераторах (рис.1) отсутствует кавитатор и это также является их положительным отличием от гидродинамических установок.

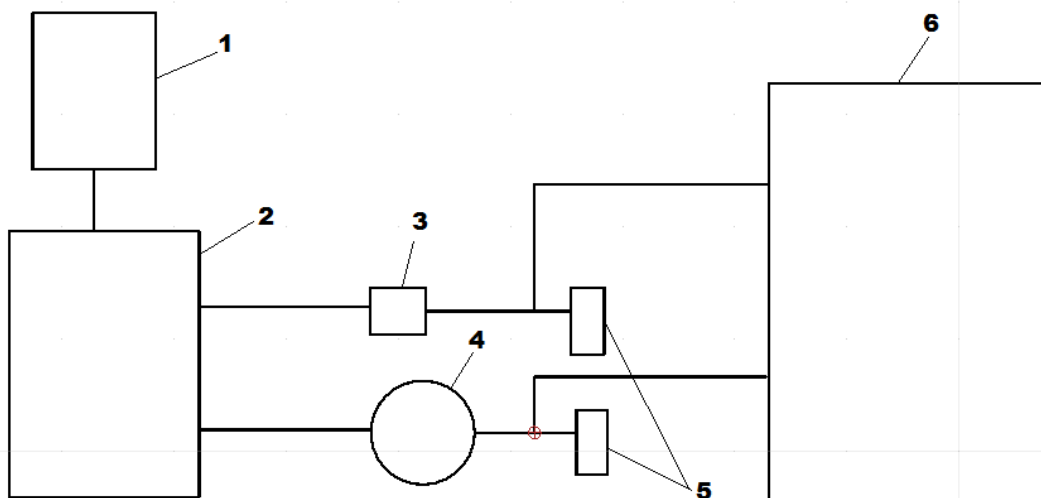


Рис. 1. Структурная схема ультразвукового кавитационного теплогенератора:

1 – ультразвуковой генератор, 2 – резервуар с рабочим телом (вода, нефть, дизельное топливо и т.д.), 3 – насос, 4 – расходомер воды, 5 – температурные датчики, 6 – бак, имитирующий потребителя в экспериментальной установке.

IV. ВЫВОД

Ультразвуковой кавитационный теплогенератор обладает значительными преимуществами перед существующими системами. И могут успешно использоваться в качестве устройств для уменьшения вязкости нефти, что значительно упрощает процесс ее транспортировки.

Преимущества ультразвукового теплогенератора по сравнению с гидродинамическими:

- отсутствие активных механических частей, подверженных повреждениям;



– отсутствие вихревых кавитационных труб, подверженных эрозиям;
Ультразвуковой кавитационный теплогенератор обладает также рядом преимуществ по сравнению с установками, используемыми для повышения температуры вязкой нефти и уменьшения ее вязкости:

- экологическая чистота;
- малые габариты;
- прост в установке и эксплуатации;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Коврижкин М. Г., Арсланов Р. В., Романов Ю. Н. Система автоматизации путевых подогревателей нефти на основе кавитационного вихревого генератора // Автомат. темеханиз. и связь в нефт. пром., 2011. № 4. С.54 – 57.
- [2] Якименко К. Ю., Венгеров А. А., Бранд А. Э. Применение технологии гидродинамической кавитационной обработки высоковязких нефтей с целью повышения эффективности транспортировки // Фундаментальные исследования, 2016. № 5 – 3. С.531 – 536.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

К. А. Ветлугин, магистр, e-mail: darkes123@mail.ru

Е. А. Никитина, бакалавр, e-mail: katerinanikitinaal@gmail.com.

И. Л. Захаров, к.т.н., доцент, доцент каф. «ТиОЭ», e-mail: zaharov-56@inbox.ru.



УДК 621.311.24

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ВЕТРОУСТАНОВОК

О. А. Валентей, Е. Ю. Артамонова, А. О. Шепелев

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье приведен обзор основных типов ветроэнергетических установок, их подразделение по конфигурации ротора, по мощностям, по принципам реализации, условия, определяющие эффективность ветроэнергетики. Кратко описаны их принципы действия, а также достоинства и недостатки. Приведены отечественные производители ветрогенераторов. В работе рассмотрены современное состояние и проблемы ветроэнергетики в России, перспективы развития данной отрасли энергетики, а также влияние альтернативных источников энергии на экологию окружающей среды.

Ключевые слова – ветрогенератор, ветроустановка, ротор Савониуса, ротор Дарье

I. ВВЕДЕНИЕ

Последнее время увеличивается необходимость производить все больше и больше электроэнергии. Забота об экологии способствует тому, чтобы люди изобретали и внедряли альтернативные способы получения энергии. Самой доступной и действенной считается энергия ветра. Ветер относится к возобновляемым источникам энергии, так как он образуется в результате активности солнца. Конечно, возникают некоторые ограничения на внедрение ветрогенераторов. Издержки на производство 1 кВт электроэнергии от энергии ветра и солнца приблизительно одинаковы. Но на севере, в особенности в прибрежных регионах, внедрение ветроустановок особенно актуально [1]. Экономически выгоднее использование ветроустановок, когда они объединены в группы.

II. ТЕОРИЯ

Ветроэнергетические установки (далее ВЭУ), имеют следующую классификацию: 1) по мощности – сверхкрупные, большие, средние, небольшие; 2) по числу лопастей – одно-, двух-, трех- и многолопастные; 3) по отношению воздушного потока к рабочему колесу – параллельно или перпендикулярно вектору скорости, с горизонтальной осью вращения. Срок службы ветроустановок обычно длится около 15 – 20 лет, а их цена варьируется от 1000 до 1500 долларов США за единицу проектной мощности [2].

Далее опишем подробнее типы современных ВЭУ, их конструктив и принцип работы. Принцип работы ветроустановок заключается в трансформации энергии механической, получаемой в результате движения под ветровым напором колеса с лопастями, в энергию электрическую при применении электрического генератора. Распространенными на текущий момент являются ВЭУ следующих типов: крыльчатые (ось вращения горизонтальная) и карусельные (ось вращения вертикальная), остальные варианты конструкций ВЭУ используются не так часто. Самый популярный тип – ветроустановки, у которых осью вращения горизонтальная. Такие ВЭУ похожи на мельницы. Коэффициент использования у крыльчатых гораздо больше, чем у остальных ВЭУ, благодаря этому они занимают около 90 % рынка. К их недостаткам можно отнести высокий уровень шума и зависимость их эффективности от



направленности ветра. Наибольшая эффективность ВЭУ такой конструкции достигается, когда поток ветра действует перпендикулярно плоскости вращения лопастей, именно для этого конструкция выполняется у небольших ветрогенераторов с хвостовым оперением, которое направляет систему по ветру, у более мощных – используется электронная система [2]. ВЭУ с вертикальной осью – это различные роторные, карусельные и ортогональные установки.

Ветроустановки роторного типа называются в честь изобретателей. Один из самых известных – ротор Савониуса. Его основные отличия от других типов: простота конструкции и высокий КПД. Состоит он из двух полуцилиндров с малым (10 – 15 % от диаметра лопасти) перекрытием. Обдув ротора Савониуса потоком ветра формирует сопротивления на вогнутой и выпуклой частях агрегата. Поэтому и появляется крутящий момент. Коэффициент использования ветра достигает 0,15 (данный коэффициент не может быть более 19,5 %) [3]. К плюсам такого типа ветроустановок можно отнести большой момент вращения, маленькую степень шума, небольшую площадь установки; Отсутствие необходимости отслеживать направление ветра. К недочетам относится невысокая частота вращения (менее 400 об/мин), что подразумевает внедрение многополюсных установок, которые используются значительно реже, или же внедрение различных мультиплексоров. Ротор Савониуса нередко сочетают с ротором Дарье, с целью достижения больших пусковых моментов ротора Дарье [4, 5].

Ротор Дарье – это симметричное устройство, которое состоит из двух и более аэродинамических крыльев, прикреплённых на радиальных балках. Крылья работают по принципу лопастного ветрогенератора. Коэффициент использования ветра может достигать 0,35. Плюсы: ротор Дарье может работать независимо от направленности потока; обладает большим коэффициентом быстроходности при невысоких скоростях потока; по сравнению с пропеллерными, такие роторы менее шумные. Минусы: процесс самозапуска достаточно трудоемкий; большое давление на стойку, а отсюда и невысокая механическая прочность, в результате возникает необходимость производить более прочную и дорогостоящую мачту; помимо этого возникают трудности в производстве – профиль крыльев обязательно приходится изготавливать с высокой точностью [6].

Вертикально-осевой ротор. Отличие такой установки – это вертикально расположенные лопасти, имеющие профиль авиационного крыла. Вертикальный вал находится параллельно крылу. Визуально он похож на ротор Дарье, но по сравнению с ним проще в изготовлении. Мгновенно набирает скорость, необходимую для работы, звуковых волн издаёт значительно меньше. Конструкция выделяется надёжностью при работе [7].

Геликоидный ротор. Лопасти изготовлены так же как и у вертикально-осевого ротора, в форме геликоидной кривой, что придаёт конструкции более равномерное вращение и понижает нагрузку на опору. Изгиб лопастей по диагонали способствует уменьшению времени для набора скорости. Эффективность применения потока ветра близка к устройствам с горизонтальной осью. Тем не менее это вызывает высокий уровень шума во время работы и производит звуковые волны. Ротор геликоидного типа дорог в изготовлении из-за непростой конфигурации профиля лопастей [7].

Многолопастной ротор. По сути это вертикально-осевой ротор, дополненный наружным кольцом с неподвижными лопастями. Такая конструкция необходима для увеличения полезной площади захвата воздушного потока, его ускорению и сжатию, что приводит к увеличению эффективности такого ветрогенератора [7].

Скорость ветра – это самая важная составляющая в проектировании и правильном выборе ВЭУ. Чтобы определить стоит ли устанавливать ВЭУ, какую мощность возможно будет сгенерировать, стоит опираться на показатели средней скорости ветра в регионе. От 4 м/с использование ВЭУ можно считать целесообразным, а при 9 – 12 м/с достигается максимальный КПД. Наглядно зависимости мощности от скорости ветра, площади лопастей и диаметра ротора можно отследить на рис. 1 и рис. 2.

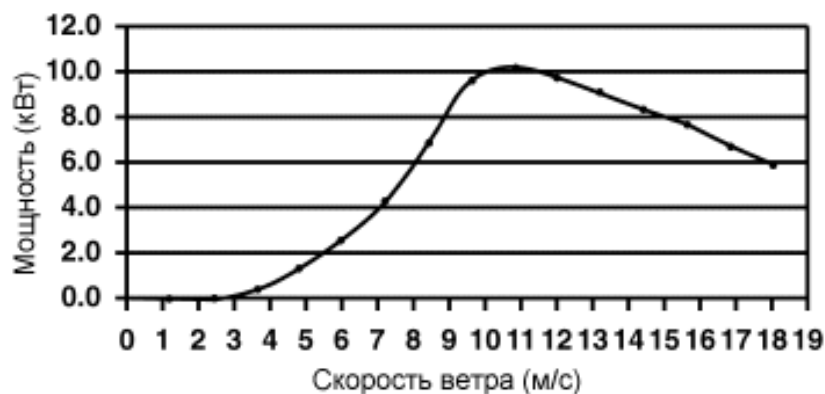


Рис. 1. Зависимость мощности ВЭУ от ветрового потока



Рис. 2. Зависимость мощности ВЭУ от диаметра ротора

Далее рассмотрим принципы реализации ВЭУ. ВЭУ по назначению подразделяются на: 1) ветро-механические (используются для обеспечения привода устройств); 2) ветро-тепловые (производят тепло); 3) ветро-электрические (производят электроэнергию). Помимо этого ВЭУ применяются для приводов генераторов, компрессоров, насосов, дробилок, а также для запасания трансформированной энергии в ресиверах и т. п.

К тому что ВЭУ не наносят ущерба экологии, стоит добавить еще и то, что они быстро устанавливаются там, где нет возможности построить станции, генерирующие электроэнергию. Но все же работа ветроустановок имеет некие неприятные дополнения. Основное – это шум. На уровне оси ветроколеса в близи от ВЭУ мощностью 850 кВт уровень шума достигает 104 дБ. Уровень шума можно снизить до 42 – 45 дБ отдалив ВЭУ на расстояние 300 м. В Европе на таком расстоянии от жилых



домов ВЭУ уже давно устанавливаются, в России же до сих пор размещают от построек на расстояние 700 – 1000 м. Помимо этого вокруг ВЭУ появляется инфразвук частотой 6 – 7 Гц, который вызывает дребезжание мелких предметов в ближайших домах. Также ВЭУ могут ухудшить прием сигнала телепередач. В Европе неприятные явления, связанные с работой ВЭУ, благополучно устранены еще в середине 1990-х годов. Выпуск специализированных лопастей для ветрогенераторов освоили концерн НАСА и один из знаменитых производителей самолетов – компания "Боинг". У конструкторов получилось понизить степень шума и вибраций подбором скорости вращения ветроколес и модернизацией профилей лопастей. Был разработан метод борьбы с еще одним недочетом ВЭУ: чтоб птицы не могли попасть под крутящиеся лопасти, ветроколеса стали снабжать кожухом с сеткой. Состояние ВЭУ и режимы их работы контролирует специализированный компьютер, в который по модемным каналам транслируется вся необходимая для нормальной работы информация. Инвестирование в производство крупных ветропарков в Европе сейчас около тысячи долларов на один киловатт мощности. При массовом строительстве ВЭУ можно предположить, что в будущем стоимость киловатт-часа значительно снизится и будет сопоставима со стоимостью энергии, вырабатываемой тепловыми и гидроэлектростанциями. В доказательство этого можно привести аргумент: конструктив ВЭУ непрерывно модернизируются.

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ветроэнергетика сейчас активно развивается. Ветроустановки во время работы не расходуют ископаемое топливо. Тем самым можно значительно экономить такие виды топлива как нефть и уголь. Запасы ветряной энергии во много раз выше запасов энергии, получаемой путем сжигания топлива. Более того, получая электроэнергию на ВЭУ не наносится вреда окружающей среде (не образуется вредных выбросов). К сожалению, несмотря на все эти положительные аспекты, в России до сих пор не развита альтернативная электроэнергетика. Основной фактор, тормозящий развитие этой отрасли, – отсутствие финансирования. Но выход у нас простой: следовать примеру ведущих мировых лидеров в ветроэнергетической ветви и стремиться к лучшему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ветряная электростанция – еще один источник дешевой энергии. [Электронный ресурс] дата обновления: 20.07.2012. URL: <http://realproducts.ru.html> (дата обращения: 23. 02. 2017).
- [2] Пантелеев, В. П Ветроэнергетические установки // «Тренинг Центра развития ВИЭ и энергоэффективности» – Бишкек. 2013. – 44 с.
- [3] Колосов, П. Б. Ветрогирлянды / П. Б. Колосов // Сайт «Малая энергетика» – М. 2006.
- [4] Альтернативные источники энергии. [Электронный ресурс] URL: <http://www.alternatesource.ru.html> (дата обращения 21. 02. 2017).
- [5] Ветроустановки. [Электронный ресурс] URL: <http://www.wetroenergetika.ru.html> (дата обращения 24. 02. 2017).
- [6] Электронный ресурс] URL: <http://machinepedia.org.html> (дата обращения 15.05.2014).
- [7] Экоблог. Все об альтернативных источниках энергии [Электронный ресурс] URL: <http://www.ekopower.ru.html> (дата обращения 24.02.2017)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

О. А. Валентей, магистр, e-mail ksana.alex92@mail.ru.
Е. Ю. Артамонова, аспирант, e-mail elena.arta2013@yandex.ru
А. О. Шепелев, магистр, e-mail alexshepelev93@gmail.com



УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СТАТИЗМА РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ НА СТАТИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

О. В. Газизова А. Н. Аламанова, А. В. Малафеев

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Аннотация – расширение промышленных объектов распределенной генерации в наши дни приводит к существенному усложнению как установившихся, так и переходных режимов систем электроснабжения. Разработан программный комплекс "КАТРАН" для анализа устойчивости промышленных генераторов. С его помощью исследовано влияние коэффициентов статизма регуляторов возбуждения на статическую устойчивость синхронных генераторов. Даны рекомендации по обеспечению устойчивости промышленных электростанций.

Ключевые слова – Промышленная электростанция, статическая устойчивость, регулятор возбуждения, установившийся режим.

1. ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствование технологического процесса современных промышленных предприятий требует повышения надежности электроснабжения ответственных потребителей электроэнергии. Это приводит к расширению промышленными предприятиями собственной энергетической базы и необходимости обеспечения устойчивости синхронных генераторов. Вопросам анализа статической и динамической устойчивости промышленных генераторов с учетом отделения от энергосистемы посвящены работы [1, 2, 3, 4]. Вопросы влияния работы релейной защиты и автоматики на динамическую устойчивость генераторов приведены в [2, 5]. Анализу результирующей устойчивости посвящена работа [6]. При развитой системе собственной генерации, имеющей в своем составе объекты малой энергетики [7, 8] не исключен выход на раздельную работу [1, 2]. Расчет устойчивости режимов промышленных электростанций требует анализа влияния нагрузки [9, 10, 11] и передающих линий на параметры режима, изложенного в трудах [13, 14, 15]. Таким образом, исследование устойчивости требует учета большого ряда факторов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из основных факторов, определяющих статическую устойчивость генераторов является правильной и надежное действие автоматических регуляторов возбуждения. При расчете установившихся режимов, вы которых определяется запас статической устойчивости, действие регуляторов возбуждения характеризуется коэффициентами статизма, составляющими как правило 4 – 5 %. Задачей данной работы является исследование влияния коэффициентов статизма регуляторов возбуждения на статическую устойчивость генераторов для разработки мероприятий по повышению устойчивости промышленных электростанций, в том числе и при автономных режимах.

III. ТЕОРИЯ

При определении статической устойчивости генераторов используется метод последовательного утяжеления в сочетании с методом последовательного эквивалентирования для расчета установившихся режимов. При параллельной работе с энергосистемой увеличивался угол ротора δ относительно начального значения и для новых значений δ рассчитывались установившиеся режимы, из которых определялись электромагнитные мощности генераторов.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Практический анализ статической устойчивости синхронных генераторов производился в программном комплексе «КАТРАН» [16] для электростанции (рис. 1) Магнитогорского энергетического узла при параллельной работе с энергосистемой для различных коэффициентов статизма регуляторов возбуждения.

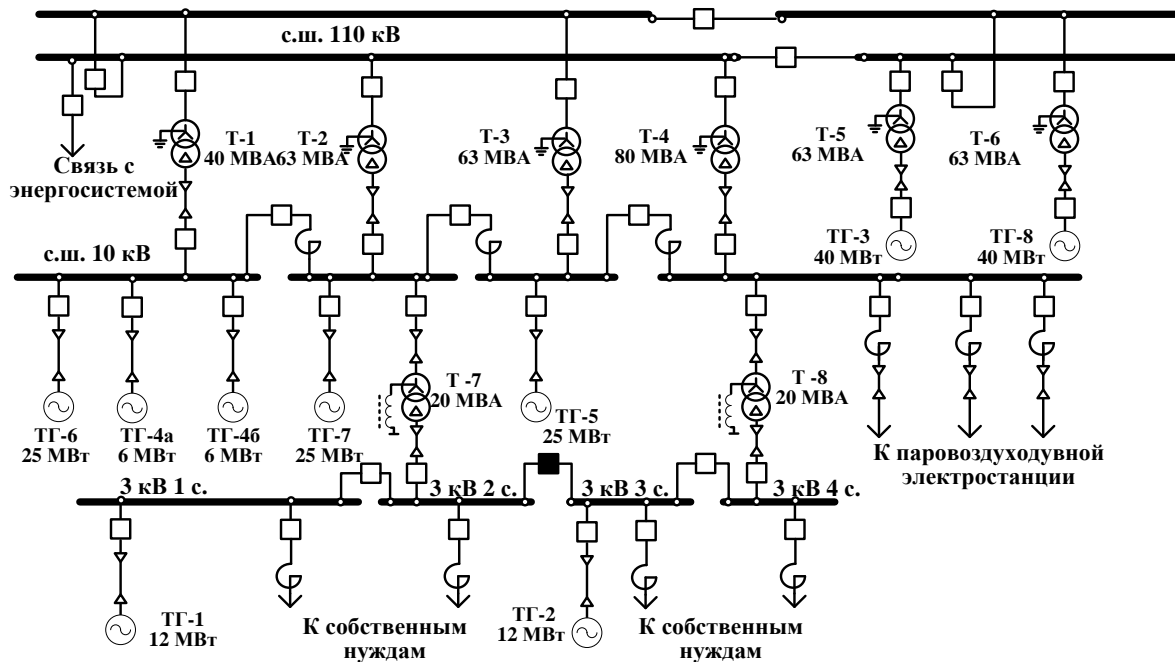


Рис. 1. Принципиальная схема электрических соединений электростанции

При проведении расчетов изменялся коэффициент статизма от 0 до 0,05 (таблица 1). Можно сделать вывод, что при параллельной работе генераторов с энергосистемой при увеличении коэффициента статизма регуляторов возбуждения уменьшаются предельные мощности $P_{пред}$ и коэффициент запаса статической устойчивости $k_{запаса}$.

ТАБЛИЦА I
АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА СТАТИЗМА

Генератор	P_T , МВт	Для АРВ с $k_{стат} = 0$, о.е.		Для АРВ с $k_{стат} = 0,02$, о.е.		Для АРВ с $k_{стат} = 0,05$, о.е.	
		$P_{пред}$, МВт	$k_{запаса}$, %	$P_{пред}$, МВт	$k_{запаса}$, %	$P_{пред}$, МВт	$k_{запаса}$, %
ТГ-1	10,41	22,315	114,36	20,255	94,57	18,686	79,50
ТГ-2	10,35	24,501	136,72	22,063	114,48	20,254	95,69
ТГ-3	34,70	62,074	78,89	60,571	74,56	58,945	69,87
ТГ-4а,4б	5,22	12,711	143,51	11,349	117,41	10,371	98,68
ТГ-5	21,76	55,697	155,96	52,761	142,47	47,504	118,31
ТГ-6	21,72	41,203	89,70	39,273	80,81	37,436	72,36
ТГ-7	21,72	52,367	141,10	48,158	121,72	44,083	102,96
ТГ-8	34,81	75,896	118,03	70,449	102,38	64,619	108,84

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, повышение коэффициента статизма регуляторов возбуждения приводит к снижению запаса статической устойчивости. Максимальный $k_{запаса}$ у ТГ №5 составляет 155,96, при $k_{стат} = 0$. При $k_{стат} = 0,05$ он уменьшается на 31 %. Это связано с тем, что при большой нагрузке генератора по активной мощности для поддержания напряжения на заданном уровне при меньшем коэффициенте статизме требуется больший ток возбуждения и большая реактивная мощность.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, повышение коэффициента статизма регуляторов возбуждения синхронных генераторов оказывает влияние на их запас по статической устойчивости при параллельной работе с энергосистемой. Это следует учитывать при разработке мероприятий по повышению устойчивости синхронных машин, особенно имеющих большую электрическую удаленность от электроэнергетической системы и работающих при большой нагрузке по активной мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2008. № 17 (117). С. 72 – 74.
- [2] Газизова О. В., Малафеев А. В., Тарасов В. М., Извольский М. А. Исследование эффективности работы делительной автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия черной металлургии. // Промышленная энергетика, 2012. № 10. С. 12 – 17.
- [3] Буланова О. В., Игуменцев В. А., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н. Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе отдельно с энергосистемой // Электротехнические системы и комплексы, 2005. № 10. С. 129 – 134
- [4] Буланова О. В. Расчет показателей статической устойчивости систем электроснабжения крупных промышленных предприятий, имеющих в своем составе собственные электростанции / Буланова О.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова., 2006. № 2. С. 37 – 40.
- [5] Игуменцев В. А., Заславец Б. И., Николаев Н. А., Малафеев А. В., Буланова О. В., Кондрашова Ю. Н., Панова Е. А. Оценка эффективности релейной защиты в сетях 110 – 220 кВ сложных систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями. –



- Магнитогорск, Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2011. – 141 с.
- [6] Kondrashova Y. N., Gazizova O. V., Malapheev A. V. Increasing the efficiency of power resource management as a solution of issues of the power supply system stability. *Procedia Engineering* 2015 – Т.128 – С. 759 – 763.
- [7] Удалов С. Н., Ачитаев А. А., Юманов М. С. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на базе электромагнитной трансмиссии в составе автономной системы электроснабжения – *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*, 2015. № 5. С. 32 – 35.
- [8] Буланова О. В., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н., Тарасов В. М. Анализ переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики // *Промышленная энергетика*, 2010. № 4. С. 22 – 28.
- [9] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Способ представления асинхронных двигателей при расчете переходных режимов короткого замыкания с целью анализа влияния тока подпитки на динамическую устойчивость при больших возмущениях // *Вести высших учебных заведений Черноземья*, 2008. № 3. С. 43 – 45.
- [10] Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости системы электроснабжения на примере ОАО «ММК» при трехфазных коротких замыканиях с учетом динамических характеристик нагрузки. // в сборнике: *Энергетика и энергоэффективные технологии сборник докладов II Международной научно-практической заочной конференции*, 2007. С. 44 – 50.
- [11] Малафеев А. В., Карандаева О. И., Ротанова Ю. Н., Буланова О. В. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» // *Электротехнические системы и комплексы*, 2009. № 17. С. 96 – 104.
- [12] Кондрашова Ю. Н., Николаев А. А., Николаев А. А., Гладышева М. М. Разработка методики прогнозирования отказов сложных электротехнических систем на примере электрических сетей. // *Технические науки - от теории к практике*, 2014. № 33. С. 101 – 108.
- [13] Kornilov G. P., Panova E. A., Varganova A. V. The Algorithm of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models - *Procedia Engineering*. 2015. Т. 129. С. 951 – 955.
- [14] Кондрашова Ю. Н., Газизова О. В., Гладышева М. М., Галлиулин И. М. Исследование влияния ввода в работу перспективной воздушной линии на режимы промышленного энергетического узла. // *Международный научно-исследовательский журнал*, 2014. № 4 – 2 (23). С. 35 – 37.
- [15] Газизова О. В., Абдулхаликова А. А. Исследование пропускной способности питающих линий электропередачи крупного промышленного энергетического узла // *Электротехнические системы и комплексы*, 2014. № 2 (23). С. 48 – 52.
- [16] Игуменцев В. А. Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н., Панова Е. А., Николаев В. В., Зиновьев В. В. Расчет и оптимизация установившихся и переходных эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий при параллельной и раздельной работе с энергосистемой с учетом действия релейной защиты. // *Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем*, 2011. № 1. С. 226.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

О. В. Газизова, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения пром. предприятий, e-mail: logan_b_7@mail.ru.

А. Н. Аламанова, магистрант кафедры электроснабжения пром. предприятий.

А. В. Малафеев, канд. техн. наук, доцент, доц. каф. электроснабжения пром. предприятий, e-mail: malapheev_av@mail.ru.



УДК 658.264

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ С ГТУ ПУТЁМ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ОТВОДА ТЕПЛОТЫ

И. С. Коломьцев, В. А. Михайлов

*Филиал «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,
Россия*

Аннотация – Одной из важнейших задач современной энергетики, на протяжении всего периода её существования, является повышение эффективности выработки электроэнергии и отпуска тепловой энергии потребителям. Для организации рационального энергоснабжения страны наибольшее значение имеет теплофикация, которая является наиболее совершенным технологическим способом производства электрической и тепловой энергии и приоритетным путём снижения расхода топлива на выработку указанных видов энергии. В работе рассматривается эффективность использования топлива в зависимости от оптимальной работы элементов тепловой схемы. Проведён анализ эффективности методов уменьшения количества теплоты, передаваемой теплоносителю, в случае если тепловая мощность ГВТО избыточна. В ходе сравнения методов оказалось, что снижение отпуска теплоты путем разгрузки ГТУ приводит к большим потерям эксергии в самом ГТУ, поэтому эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ при регулировании отпуска теплоты разгрузкой ГТУ ниже, чем при применении байпасирования газов.

Ключевые слова – Топливо, эксергия, эффективность.

I. ВВЕДЕНИЕ

Основная часть тепловой энергии производится в котельных, которые не только не производят электроэнергию, но и являются ее крупнейшими потребителями в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Ежегодно в котельных сжигается более 200 млн. т.у.т.(тонн условного топлива), большая часть этого топлива – газ. Большинство этих котельных обладают низкими технико-экономическими показателями, их оборудование физически и морально устарело и требует реконструкции.

Однако если в крупных городах степень теплофикации велика, то в остальных регионах, наоборот, расположены, в основном, конденсационные мощности. Теплоснабжение городов и поселков ведется от котельных и автономных источников. Такая ситуация развития энергетики обусловлена тем, что потребители тепловой энергии рассеяны на большой территории. Необходимость в строительстве ТЭЦ с мощными теплофикационными энергоблоками невозможно в связи с отсутствием крупных потребителей тепловой энергии.

Рассматривая дальнейшее развитие производства тепловой и электрической энергии, следует отметить, что в настоящее время большая часть оборудования ТЭЦ имеют износ более половины, а мощность полностью выработавшего свой ресурс оборудования составит 17 млн. кВт. По прогнозам, такое оборудование будет требовать либо серьезного технического перевооружения, либо полного демонтажа и замены современными энергоустановками. [1]

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Исследование показателей эффективности использования топлива в зависимости от оптимальной работы элементов тепловой схемы.



2. Проведение анализа эффективности схемных решений ГТУ ТЭЦ.
3. Сравнение методов отвода теплоты и выбор более оптимального.

III. ТЕОРИЯ

Важнейшей научной задачей является повышение эффективности использования топлива в ГТУ ТЭЦ. Для ТЭЦ приоритетной является тепловая нагрузка, так как обычно ТЭЦ – единственным источником теплоты.

Выбор оптимальных решений при проектировании ГТУ ТЭЦ требует выполнения анализа состава её тепловой схемы, характеристик основного оборудования и, прежде всего, газотурбинных установок, а также определение показателей эффективности использования топлива, с учётом различных режимов работы в течении года.

Для ГТУ ТЭЦ сложнее выполнить график сезонной нагрузки. Поэтому следует рассмотреть варианты повышения эффективности использования топлива на отопительных ГТУ ТЭЦ. Реализация тепловой схемы в этом случае осуществляется с использованием газоводяных теплообменников (ГВТО). [2]

Для обеспечения регулирования отпуска теплоты на ГТУ ТЭЦ приходится решать следующую задачу: уменьшение количества теплоты, передаваемой теплоносителю, в случае если тепловая мощность ГВТО избыточна.

В случае, когда потенциал газов на выходе ГТУ превышает количество теплоты, необходимое для отпуска потребителю, возникает необходимость в отводе определенной части теплоты этих газов.

Среди различных схемных решений, позволяющих решить данную проблему, наиболее рекомендуемым является байпасирование ГВТО по газовой стороне.

Эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ при режиме байпасирования газов вычисляется по следующей формуле:

$$\eta_{\text{ex}}^{\text{ТЭЦ}} = \eta_{\text{ex}}^{\text{ГТУ}} \cdot \eta_{\text{эм}}^{\text{ГТ}} \cdot (1 - \gamma_{\text{yx}}^{\text{ГТУ}}) + \eta_{\text{ex}}^{\text{ГВТО}} \cdot (\gamma_{\text{yx}}^{\text{ГТУ}} - \gamma_{\text{ку}}^{\text{yx}} - \gamma_{\text{ку}}^{\text{байп}}),$$

где $\gamma_{\text{ку}}^{\text{байп}}$ – доля эксергии топлива ГТУ, которая направляется в байпасный газоход.

В случае, когда требуется незначительное снижение отпуска теплоты ТЭЦ, а также для увеличения надежности гидравлического режима работы ГВТО и снижения низкотемпературной коррозии (для поддержания температуры воды на входе в ГВТО на уровне 60 – 70 °С), возможно применение схемы с подмешиванием обратной сетевой воды к прямой сетевой воде и с использованием контура рециркуляции. Упрощенная технологическая схема водяного контура приведена на рис. 1.

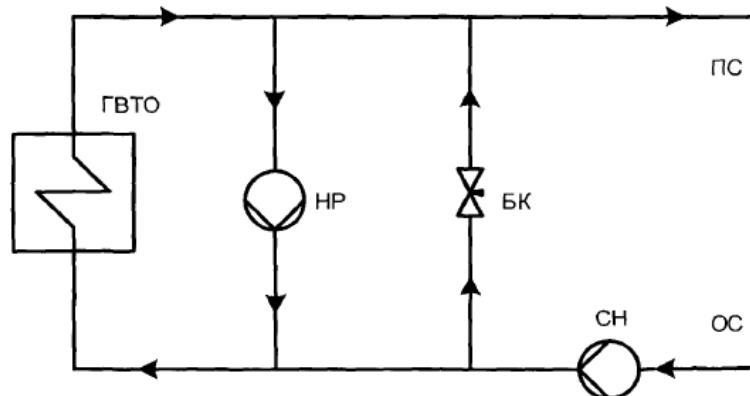


Рис.1. Схема байпасирования и рециркуляции ГВТО по сетевой воде.



ГВТО – газовойдяной теплообменник; НР – насос рециркуляции; БК – байпасный клапан; СН – сетевой насос; ПС – прямая сетевая вода; ОС – обратная сетевая вода.

Линия байпасирования (БК) необходима для подмешивания обратной сетевой воды с целью снижения температуры воды после ГВТО до требуемой сетевым температурным графиком.

Этот метод регулирования позволяет за счет небольших капитальных вложений получить надежную схему регулирования отпуска теплоты потребителю. На сегодняшний день наряду с байпасированием газов данный метод является одним из наиболее применяемых в действующих установках.

Эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ, в которой применяется этот метод регулирования можно вычислить по следующей формуле:

$$\eta_{\text{ex}}^{\text{ТЭЦ}} = \eta_{\text{ex}}^{\text{ГТУ}} \cdot \eta_{\text{эм}}^{\text{ГТ}} \cdot (1 - \gamma_{\text{yx}}^{\text{ГТУ}}) + \eta_{\text{ex}}^{\text{ГВТО}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{рец}} \cdot (\gamma_{\text{yx}}^{\text{ГТУ}} - \gamma_{\text{ky}}^{\text{yx}}),$$

где $\eta_{\text{ex}}^{\text{рец}}$ – эксергетический КПД, учитывающий потери при смешении воды на выходе ГВТО с обратной сетевой, потери при подмешивании обратной сетевой воды к воде на выходе из ГВТО и затраты электроэнергии в насосе рециркуляции.

Наиболее простой схемой снижения теплового потенциала газов утилизируемого в ГВТО является уменьшение мощности ГТУ. Основным недостатком данной схемы является снижение КПД собственно ГТУ, что серьезно влияет на показатели эффективности ГТУ ТЭЦ.

Существует два метода изменения мощности ГТУ: снижение температуры продуктов сгорания на входе в газовую турбину и уменьшение расхода воздуха через компрессор при помощи входного направляющего аппарата (ВНА). Обычно эти два метода применяются последовательно: сперва уменьшается расход воздуха до минимального, затем снижается температура газов на входе в турбину.

Данный метод регулирования невозможно применить в случае заданной величины отпуска электроэнергии и, соответственно, невозможности снижения электрической нагрузки.

Анализируя возможности применения данного метода следует отметить, что данный метод возможно применять лишь совместно с байпасированием газов, либо с подмешиванием обратной сетевой воды. Однако при незначительном снижении тепловой нагрузки можно использовать схему со снижением нагрузки ГТУ с использованием ВНА компрессора ГТУ.

Снижение отпуска теплоты путем разгрузки ГТУ приводит к большим потерям эксергии во входном направляющем аппарате при дросселировании потока воздуха, в компрессоре и турбине при неоптимальных течениях в решетках уменьшенных расходов воздуха и продуктов сгорания, а также в камере сгорания при снижении температуры входа в турбину и, следовательно, резком увеличении потерь эксергии при теплообмене в процессе горения. В итоге, эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ при регулировании отпуска теплоты разгрузкой ГТУ ниже, чем при применении байпасирования газов. [3]

IV. ВЫВОД И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен анализ следующих методов снижения тепловой нагрузки ГТУ ТЭЦ:

1. снижение нагрузки ГТУ;
2. байпасирование газовойдяного теплообменника по газовой стороне;
3. байпасирование газовойдяного теплообменника по сетевой воде.



Показано, что эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ больше при применении методов байпасирования, чем при снижении нагрузки ГТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Попырин Л. С, Щеглов А. Г. Эффективные типы парогазовых и газотурбинных установок для ТЭС // Электрические станции, 1997. №7. С. 8 – 17
- [2] Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 240 с.
- [3] Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

И.С.Коломыцев, бакалавр, e-mail: igor.kolomitseff@yandex.ru
В.А.Михайлов, к.т.н., доцент, e-mail: igor.kolomitseff@yandex.ru



УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЧЕТА ХАРАКТЕРНЫХ ГРУПП ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ БОЛЬШИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ИСТОЧНИКОВ СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Ю. Н. Кондрашова, О. В. Газизова, А. Ю. Турищев, А. В. Нуждин

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Аннотация – в настоящее время рост и характер присоединяемой нагрузки предполагает осуществлять прогнозирование переходных процессов, аварийных и послеаварийных режимов с целью повышения и сохранения устойчивости при больших возмущениях источников собственной генерации. Предложен способ представления и получения зависимостей изменения нагрузки характерных групп электроприемников и получены коэффициенты, отражающие её состав и характер. С помощью программного комплекса выполнена оценка устойчивости при больших возмущениях источников собственной генерации с учетом зависимостей изменения нагрузки характерных групп и при их отсутствии. Даны рекомендации по повышению устойчивости системы электроснабжения промышленного предприятия.

Ключевые слова – характерные группы электроприемников, цеховая низковольтная нагрузка, устойчивость при больших возмущениях, переходные процессы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Аварии, связанные с нарушением устойчивости в системах электроснабжения крупных предприятий, содержащих источники собственной генерации, являются наиболее тяжёлыми, влекущими за собой расстройство сложного технологического процесса, недоотпуск и массовый брак продукции, значительные материальные ущербы и повышение потерь, снижение надежности электрооборудования [1, 2, 3, 4] и последующее развитие аварийных ситуаций. На устойчивость при больших возмущениях электростанций непосредственное влияние оказывает состав нагрузки, в котором выделяются следующие группы: высоковольтная синхронная и асинхронная нагрузка, тиристорный электропривод и обобщенная низковольтная нагрузка.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Аналитический обзор методов расчета переходных процессов [2, 3, 4] и устойчивости [5, 6], а также способов представления электрических нагрузок при анализе устойчивости при больших возмущениях показал, что необходимо разработать способ представления электрической нагрузки в зависимости от ее характера и состава для оценки влияния на устойчивость при больших возмущениях источников собственной генерации.

III. ТЕОРИЯ

В результате проведенного расчета и анализа с помощью программы расчета установившихся [7] и переходных режимов [8], разработанной при непосредственном участии авторов [9], были получены зависимости изменения нагрузки для характерных электроприемников и обобщенные нагрузки при больших возмущениях. Для определения учета влияния нагрузки на режимы предлагается выделить характерные группы электроприемников: тиристорный электропривод, высоковольтная синхронная



и асинхронная нагрузка, обобщенная нагрузка низковольтных электроприемников.

Зависимости активной и реактивной мощности от напряжения были получены при значительных его изменениях по алгоритмам [10, 11], что необходимо для расчета режимов коротких замыканий. Полученные для различного состава и характера нагрузки [12, 13, 14, 15, 16] приведены для оценки устойчивости при больших возмущениях с использованием метода последовательного утяжеления в сочетании с методом последовательного эквивалентирования.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Зависимости изменения нагрузки для характерных групп электроприемников были получены по видам производства, на примере, ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Полученные зависимости с разным процентным соотношением электроприемников приведены в табл. 1. в виде коэффициентов квадратичных уравнений, полученных с помощью математического пакета статистической обработки.

ТАБЛИЦА I
КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАВИСИМОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ НАГРУЗКИ ДЛЯ ОСНОВНЫХ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЦЕХОВ ОАО «ММК»

Виды производства		Коэффициенты характерных электроприемников					
		K _{PU}			K _{QU}		
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₀	b ₁	b ₂
1.	Освещение	0	0	1	1	0	0
2.	Собственные нужды электростанции	-0,019	0,834	0,21	-0,031	-8,7	9,74
3.	Доменное производство	-0,028	1,02	0	0,058	-56,5	57,25
4.	Коксохимическое производство	-0,063	1,08	0	-0,034	0,86	0,23
5.	Метизное производство	-0,036	0,77	0,33	-0,037	0,91	0,12
6.	Нагрузка южной части города	0	0,6	0,37	0,05	-3,38	4,16
7.	Цех изложниц	-0,036	0,77	0,328	-0,052	1,07	0
8.	Горно-обогатительное производство	-0,02	1,04	0	0,66	-32,1	32,5

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При исследовании влияния изменения зависимостей нагрузки для характерных групп электроприемников на устойчивость при больших возмущениях источников собственной генерации, без учета и с учетом из приведенных зависимостей видно, что максимальные значения углов роторов наиболее удаленных от места короткого замыкания генераторов (турбогенератор №1 паросилового цеха и турбогенератор № 2 паровоздуходувная электростанция – 2), полученные с учетом характеристик комплексной нагрузки, больше и по начальным значениям, амплитуде на 10 % (для турбогенератор № 2 паровоздуходувная электростанция – 2 на втором цикле качаний их амплитуда составила 6 °); по конечным размахам раскачивания углов на 9% (59°) по сравнению со значениями углов, полученными без их учета (54°). Это объясняется тем, что при неучете нагрузки в режиме короткого замыкания эквивалентная проводимость сети относительно земли обусловлена сопротивлением только в точке короткого



замыкания, тогда как при представлении нагрузок зависимостями изменения нагрузки для характерных групп электроприемников эквивалентная проводимость возрастает. Рост проводимости влечет за собой изменение электромагнитной мощности на валу генераторов, что приводит к увеличению максимальных значений углов роторов и, как следствие, к началу колебательного процесса.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для расчета переходных режимов коротких замыканий разработана методика получения зависимостей изменения нагрузки отдельных электроприемников, на основании которой создана методика получения обобщенных, необходимых при отсутствии подробной информации о составе нагрузки. Таким образом, неучет зависимостей изменения нагрузки в ходе расчета переходного режима ведет к искажению реальной картины переходного процесса, что может привести к погрешности при оценке устойчивости при больших возмущениях для всей системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Kornilov G. P., Panova E. A., Varganova A. V. The Algorithm of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models. – *Procedia Engineering*. 2015. Т. 129. С. 951 – 955.
- [2] Удалов С. Н., Ачитаев А. А., Юманов М. С. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на базе электромагнитной трансмиссии в составе автономной системы электроснабжения. – *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*, 2015. № 5. С. 32 – 35.
- [3] Kondrashova Y. N., Gazizova O. V., Malapheev A. V. Increasing the efficiency of power resource management as a solution of issues of the power supply system stability. *Procedia Engineering* 2015 – Т.128 – С. 759 – 763.
- [4] Буланова О. В., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н., Тарасов В. М. Анализ переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики // *Промышленная энергетика*, 2010. № 4. С. 22 – 28.
- [5] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника*, 2008. № 17 (117). С. 72 – 74.
- [6] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Способ представления асинхронных двигателей при расчете переходных режимов короткого замыкания с целью анализа влияния тока подпитки на динамическую устойчивость при больших возмущениях // *Вести высших учебных заведений Черноземья*, 2008. № 3. С. 43–45.
- [7] Буланова О. В., Игуменцев В. А., Малафеев А. В., Ротанова Ю.Н. Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе отдельно с энергосистемой // *Электротехнические системы и комплексы*, 2005. № 10. С. 129 – 134
- [8] Кондрашова Ю. Н., Газизова О. В., Гладышева М. М., Галлиулин И. М. Исследование влияния ввода в работу перспективной воздушной линии на режимы промышленного энергетического узла. // *Международный научно-исследовательский журнал*, 2014. № 4 – 2 (23). С. 35 – 37.
- [9] Игуменцев В. А. Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н., Панова Е. А., Николаев В. В., Зиновьев В. В. Расчет и оптимизация установившихся и переходных эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий при параллельной и раздельной работе с энергосистемой с учетом действия релейной защиты. // *Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем*. 2011. № 1. С. 226.
- [10] Газизова О. В., Малафеев А. В., Тарасов В. М., Извольский М. А. Исследование эффективности работы делительной автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия черной металлургии. // *Промышленная энергетика*, 2012. № 10. С. 12 – 17.
- [11] Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости системы электроснабжения на примере ОАО «ММК» при трехфазных коротких замыканиях с учетом динамических



- характеристик нагрузки. // в сборнике: Энергетика и энергоэффективные технологии сборник докладов II Междунар. научн.-практич. заочной конференции, 2007. С. 44 – 50.
- [12] Малафеев А. В., Карандаева О. И., Ротанова Ю. Н., Буланова О. В. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» // Электротехнические системы и комплексы, 2009. № 17. С. 96 – 104.
- [13] Игуменцев В. А., Заславец Б. И., Николаев Н. А., Малафеев А. В., Буланова О. В., Кондрашова Ю. Н., Панова Е. А. Оценка эффективности релейной защиты в сетях 110 – 220 кВ сложных систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями. – Магнитогорск, Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2011. – 141 с.
- [14] Кондрашова Ю. Н., Николаев А. А., Николаев А. А., Гладышева М. М. Разработка методики прогнозирования отказов сложных электротехнических систем на примере электрических сетей // Технические науки - от теории к практике, 2014. № 33. С. 101 – 108.
- [15] Буланова О. В. Расчет показателей статической устойчивости систем электроснабжения крупных промышленных предприятий, имеющих в своем составе собственные электростанции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2006. № 2. С. 37 – 40.
- [16] Газизова О. В., Абдулхаликова А. А. Исследование пропускной способности питающих линий электропередачи крупного промышленного энергетического узла // Электротехнические системы и комплексы, 2014. № 2 (23). С. 48 – 52.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ю. Н. Кондрашова, к. т. н., доцент, доцент каф. «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: gotjuil720@mail.ru.

О. В. Газизова, к. т. н., доцент, доцент каф. «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: logan_b_7@mail.ru.

А. Ю. Турищев, бакалавр, e-mail: logan_b_7@mail.ru.

А. В. Нуждин, магистр, e-mail: logan_b_7@mail.ru.



УДК 621.315.21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ
ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕЕ. А. Крыгин¹, О. А. Валентей²¹ООО НПО «ЭнергоСтройПроект», г. Омск, Россия² Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Тенденция развития электросетевого хозяйства РФ в связи с постоянным ростом числа потребителей электроэнергии способствует внедрению современных технологий, уже используемых в сетевых комплексах других более развитых стран. А именно, возникает необходимость применять и использовать технологии "умных" электрических сетей, благодаря которым становится возможным повысить пропускную способность и стабильность энергоснабжения, повысить качество, уменьшить потери и издержки на технический и коммерческий учет у потребителя. Научная новизна состоит в улучшении и модернизации уже разработанной установки для определения диэлектрического состояния изоляции линии электропередач и в нахождении нового либо в улучшении уже используемого способа определения диэлектрического состояния изоляции линии электропередач.

Ключевые слова – Изоляция, измерение, рабочий режим, под напряжением.

I. ВВЕДЕНИЕ

Бесперебойная работа электроустановок возможна только с качественной изоляцией. Во время эксплуатации электроустановки из-за повышенной влажности, перегревания, перегрузок и скачков напряжения происходит ухудшение и снижение диэлектрической характеристики изолирующего материала, т.е. уменьшения его диэлектрических параметров. В изолирующих материалах появляются различные дефекты, наличие которых в будущем неизменно приведут к пробое изоляции и аварийной ситуации.

Ресурс электрооборудования напрямую зависит от качества изоляции и её диэлектрических характеристик, которые в своё время имеют прямую зависимость от времени службы изоляции. Не однократные исследования доказали, что в большинстве аварий, причиной повреждения электроустановки стало ухудшение качества изолирующего материала до критического уровня, что и стало причиной отказ электроустановки.

Чтобы заблаговременно находить место где диэлектрическая способность изоляции близка к критическому уровню и предотвращать внезапные аварийные ситуации, диэлектрическую способность изоляции электроустановок необходимо регулярно проверять в процессе эксплуатации электроустановок. Эти проверки позволяют обеспечить требуемый уровень надежности электроустановки в процессе всего срока эксплуатации. Регулярные проверки для прогнозирования степени старения изоляции электроустановки требуются и для проведения запланированного ремонта или плановой замены этого электрооборудования. Такие действия крайне важны для использования энергетических установок на современном уровне.



Рис. 1. Пробой изоляции высоковольтного кабеля

Регулярность, нормы и правила испытаний диэлектрических параметров изоляции электроустановок нормируются действующими стандартами, нормами технической эксплуатации и ведомственными инструкциями для каждого типа электрооборудования. Эта система контроля и обслуживания позволяет выполнять плановые ремонтные работы либо запланированную замену электрооборудования по заранее определённому установленному периоду эксплуатации [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На данный момент времени изобретено и запатентовано большое количество устройств, и различных способов контроля за состоянием качества диэлектрической проводимости изоляции электроустановок. Одна из важных проблем которую надо решить, это учет при разработках новых средств контроля параметра, как ток абсорбции. Этот ток сильно проявляет себя при испытании электроэнергетических установок большой мощности. Переходный процесс уменьшения абсорбционного тока происходит дольше, чем хотелось бы. При использовании методики применения такого напряжения к изоляции мощных генераторов необходимое время для испытания может достигать одного час и более, для получения результатов измерения с высокой точностью, необходимо потратить больше времени на измерения сопротивления изоляции электроустановки [2].

Разработаны способы и установки контроля за диэлектрическим состоянием изоляции электрооборудования, использующие ток абсорбции и имеющие возможность получить данные о состоянии изоляции испытуемых электроустановок, не дожидаясь до конца проведенных измерений этих токов. В связи с этим, задача разработки быстрого метода измерения эквивалентного сопротивления изоляции и устройств, позволяющих это реализовать, так же и с учетом влияния токов абсорбции, является важной и актуальной.

Постоянный контроль за качеством изоляции, в отличие от периодического, позволяет следить за сопротивлением изоляции в течении всего срока эксплуатации электроустановок и электроэнергетических объектов и при снижении до критического уровня принять соответствующие меры [3].

Один из распространенных защитных алгоритмов управления электроэнергетическими объектами, является отключением участков электрической сети, показатель сопротивление изоляции которых опустился до критического уровня [4].



Методы измерения состояния изоляции электроустановки и электрических сетей подразделяются на два вида:

- без рабочего напряжения;
- под рабочим напряжением.

Первый вид методов измерения сопротивления изоляции сети и электроустановки, несмотря на их простоту и относительную безопасность производства измерения, имеет существенный недостаток, который заключается в том, что условия при которых происходит измерение величины сопротивления изоляции электрической сети и электроустановки не соответствуют реальным рабочим условиям эксплуатации.

Второй вид методов позволяет гораздо точнее произвести измерение и определить параметры изоляции электрической сети и электроустановки без отключения напряжения.

Эта группа включает:

1. Метод прямого замыкания на землю.
2. Метод измерения диэлектрического состояния изоляции за счет искусственного смещения нулевой точки:
 - a. при использовании дополнительной проводимости между фазой сети или нейтралью и землей;
 - b. применением испытательного постоянного тока на сеть через искусственно созданную точку.

В статье рассматривается классификация способов определения диэлектрического параметра сопротивления изоляции трехфазных электрических сетей. На основе приведенной классификации способов, определения параметров состояния сопротивления изоляции напряжением до и свыше 1000 В разработаны методы определения параметров изоляции без использования напряжения нулевой последовательности. Существующие в настоящее время способы определения состояния параметров сопротивления изоляции обладают следующими существенными недостатками [5]:

1. при проведении измерений сопротивления изоляции, необходимо привлечение персонала для подключения дополнительной емкостной или активной проводимости к испытываемой электрической сети;
2. сложность проведения измерений сопротивления изоляции;
3. расчет оперативным персоналом значений параметров изоляции, и как следствие, снижение уровня электробезопасности персонала, занимающегося определением параметров изоляции сети.

Включение измерительных приборов по всем способам можно разделить на два группы:

- 1 группа – измерительные приборы, включены между фазой и землей;
- 2 группа – измерительные приборы включены между нейтралью сети и землей.

В настоящее время разработано много методов определения параметров изоляции фаз электрической сети под рабочим напряжением до и выше 1000 В.

МСНО – новый индикатор для условий изоляции в линиях передачи

Известно, что во время эксплуатации, мониторинг ЛЭП осуществляется путем периодических проверок вдоль этой линии. Такой мониторинг позволяет корректировать технического обслуживание, выявлять неисправности в ходе проверки. Но в более эффективном обслуживании, следует использовать прогностические методы, которые характеризуются мониторингом в режиме реального времени. Такие прогностические методы используются для проверки рабочего состояния линии при



нормальном режиме работы для выявления неисправностей. В исследовании используется математическая модель, подходящая для применения к упреждающему обслуживанию сегментов линии передачи при низких затратах, без необходимости использования датчиков, распределенных вдоль линии, и представляется новый показатель условий эксплуатации линий электропередачи. Отслеживая ток утечки линий, эта модель позволяет оценить текущее состояние изоляции линии. После того, как становится известно состояние изоляции линии, можно сравнить данные с другими и спрогнозировать будущее состояние изоляции этой линии [6].

Модель использует новый показатель, называемый МСНО, который позволяет обнаруживать и диагностировать как нормальные, так и ненормальные условия эксплуатации ЛЭП.

III. ВЫВОД И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе вышеизложенного следует, что для повышения уровня электробезопасности персонала необходимо разработать способ автоматического определения параметров изоляции на основе микропроцессорных средств в электрической сети до и выше 1000 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Семенов Д. А. Устройство с микропроцессорным управлением для диагностики изоляции электрооборудования // Вестник НГИЭИ, 2012. С. 8.
- [2] Douar M., Mekhaldi A., Bouzidi M. Frequency analysis of the leakage current under non uniform polluted conditions on one insulator plane model // Annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena. 2010. P. 978.
- [3] Mamis M. State-space transient analysis of single-phase transmission lines with corona // International conference on power systems transients. New Orleans. 2013.
- [4] Zoran N., Zlatan M. Evaluation of Mosa condition using leakage current method // Int J Electr Power Energy Syst, No. 52, 2013. pp. 87 – 95.
- [5] Щуцкий В.И. Электробезопасность на открытых горных работах // Недра, 2013. С. 192.
- [6] Martin C., Paula R. N., Gomes C. R., Gomes H. S., Petrônio V. J. A new indicator for insulation conditions in transmission lines // International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2013. pp. 733 – 741.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. А. Крыгин, бакалавр, инженер ЭТЛ, e-mail: ess55@inbox.ru.
О. А. Валентей, магистр, e-mail: ess55@inbox.ru.



УДК 62.519

ФОРМИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЯ ТРЕНИРОВКИ ОПЕРАТИВНО-ДИСПЕТЧЕРСКОГО ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ В ПЛАНИРОВАНИИ КУРСОВ

Н. Н. Малышева, В. Р. Антропова

Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия

Аннотация – Одной из наиболее сложных и ответственных задач, требующей детального знания схемы электроснабжения электроустановки, является производство оперативных переключений. Переключения производятся для выполнения разного рода работ в электроустановке (монтажных, наладочных, ремонтных), для обеспечения надежного, экономичного и безопасного электроснабжения. Для выполнения этих задач требуется квалифицированный персонал. Наиболее успешная подготовка оперативного персонала может быть обеспечена за счет проведения тренировок на специализированных тренажерах, имитирующих рабочее место оператора, на которых доводятся до автоматизма приемы восприятия информации и безошибочной работы с органами управления энергоустановками. Моделирование и создание упражнений на основе подстанций г. Нижневартовска направлено на проверку способности персонала правильно воспринимать и анализировать информацию о технологическом нарушении, принимать оптимальное решение по его ликвидации; формирование четких навыков действий в любой обстановке; разработка организационных и технических мероприятий, направленных на повышение уровня профессиональной подготовки персонала. Актуальность данной работы заключается в создании и применении виртуальных тренажеров (комплекс тренировок) для реальных электроэнергетических объектов г. Нижневартовска и Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, которые могут стать базой для обучения студентов на реальных схемах и тренинга оперативно-диспетчерского персонала предприятий электроэнергетической отрасли по перспективным направлениям развития электроэнергетики.

Ключевые слова – оперативные переключения, электроэнергетический объект, противоаварийная тренировка.

I. ВВЕДЕНИЕ

Цель состоит в разработке комплекса тренировок (упражнений) по оперативным переключениям в виртуальном тренажере электроэнергетических объектов. Создание упражнений ведется в готовом программном обеспечении (тренажер) «Модус». Тренажер «Модус» позволяет проводить тренировки не только на абстрактных учебных макетах, но и на модели конкретного энергообъекта, на котором работает обучаемый. Для этого в поставку программного комплекса включены все средства для подготовки макета и набора заданий – это Графический редактор, Аниматор схем, Редактор Упражнений и средство для компоновки курса. Пользователи могут самостоятельно конструировать модели своих энергообъектов и создавать свои тренировки [4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При создании пакета тренировок основной объем работы заключается в создании адекватного макета энергообъекта в графическом редакторе и аниматоре схем. При подготовке макета должна быть создана модель электрической схемы первичных присоединений энергообъекта, панелей щита управления и панелей релейной защиты и автоматики [3, с.641]. Для создания полноценного комплекса тренировок



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



(упражнений) ведется работа в Редакторе Упражнений, где задаются типовые бланки переключений. И заключительным этапом разработки является – компоновка упражнений в единый набор для тренировки.

III. ТЕОРИЯ

Редактирование курса производится программой "**Планировщик курсов**" (*MakeList.exe*). Под курсом понимается набор задач для тренажера, который может быть представлен стажеру (тренируемому) для выполнения. Курс состоит из тем, подтем, набора задач, которые представлены файлами сценариев тренировок, схем электроснабжения подстанций [1, с.114]. Редактирование курса состоит в создании набора тем и набора задач для каждой темы (Рис. 1).

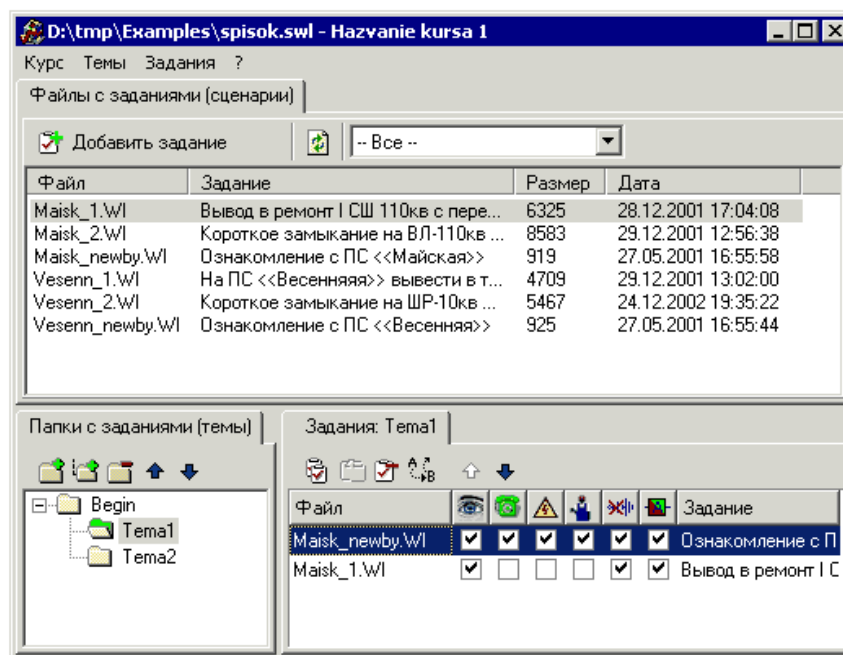


Рис. 1. Главное окно программы "Планировщик курсов"

Темы можно добавлять, удалять, переименовывать, менять их порядок, создавать вложенные подтемы. Уровень вложенности подтем неограничен. Для задачи, помещенной в список можно настроить, какие из типовых возможностей тренажера не будут учитываться при тренировке (Рис. 2).

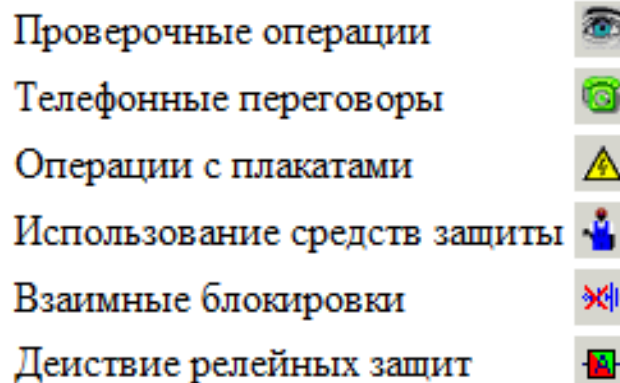


Рис. 2. Настройка возможных операций



Редактировать настройки задания можно на панели инструментов вкладки Задания. Для редактирования настроек задания предусмотрено диалоговое окно (Рис. 3). Если хотя бы один из перечисленных пунктов отключен, то на иконке, расположенной слева от задачи, отображается галочка. При выборе задачи в списке показаны какие из видов операций отключены. Функция "Опробовать в тренажере", доступная в главном меню позволяет опробовать на тренажере редактируемый курс. Основным назначением тренажера является обучение персонала порядку проведения коммутаций на любых энергетических объектах. Также тренажер можно использовать для самоподготовки, для собеседований при приеме на работу и аттестации персонала различного уровня [2].

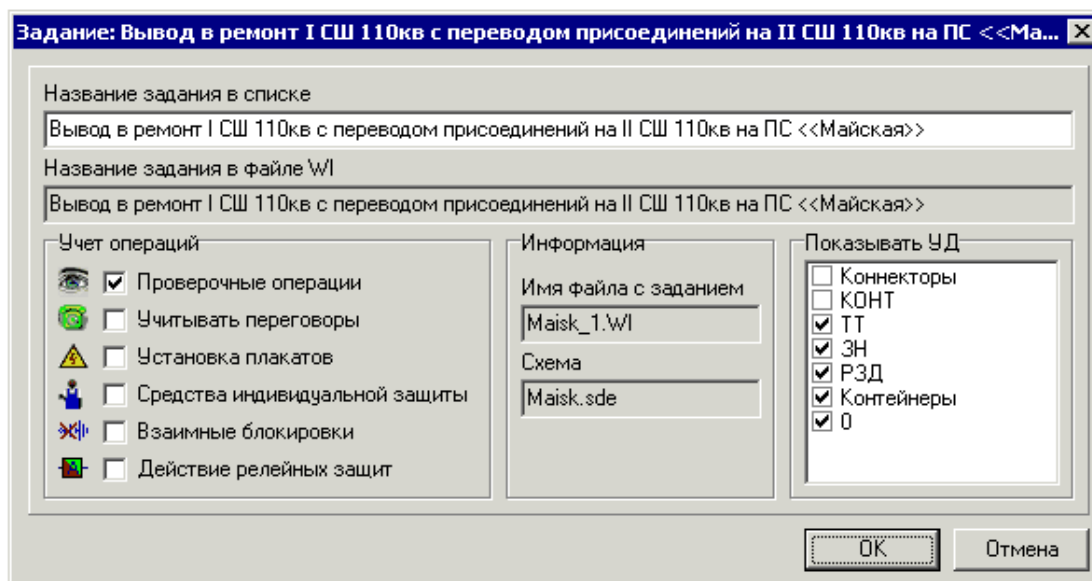


Рис. 3. Окно редактирования настроек задания

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результатом проделанной работы является готовый комплекс тренировок (упражнений) на основе реальной электрической подстанции 35/6 кВ г. Нижневартовска. Реализованы типовые бланки переключений подстанции и созданы упражнения: Отключение фидера 6 кВ; Вывод в ремонт КНС-11, ф.1; Вывод в ремонт Т-1; Восстановление нормальной схемы; Течь радиатора Т-1; Обрыв линии 35 кВ; Повреждение ШР-35 кВ.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Созданный комплекс упражнений внедрен в учебный процесс студентов очного и заочного отделения по направлению подготовки "Электроэнергетика и электротехника". Кроме того, разработана программа переподготовки и повышения квалификации персонала электроэнергетических объектов предприятий округа, руководителей и специалистов предприятий топливно-энергетического комплекса всех видов собственности (инженерно-технический персонал, оперативно-ремонтный, оперативно-диспетчерский персонал).

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработка и создание упражнений, на основе которых проводятся оперативные тренировки, необходимы для профессиональной подготовки персонала



предприятий электроэнергетической отрасли. Противоаварийные тренировки выполняются с целью приобретения практических навыков и способности персонала самостоятельно, быстро и технически грамотно действовать при возникновении технологических нарушений [5]. Тренировки реализуются с воспроизведением условных нарушений в работе энергоустановок, имитацией на рабочем месте оперативных действий по ликвидации аварий, выполнением операций по управлению оборудованием по бланкам переключений. Эффективность тренировки зависит от качества разработки программ, степени приближенности имитационной модели к реальной энергоустановке [6]. Для осуществления тренировки используются специализированные тренажеры. Кафедра энергетики ФГБОУ ВО «Нижегородский Государственный Университет» занимается разработкой упражнений на основе комплексного тренажера «Модус».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Антропова В. Р., Малышева Н. Н., Ткаченко И. А. Моделирование согласованного поведения элементов макета энергообъекта в аниматоре схем // Материалы V Международной научно-практической конференции, 2016. С. 111 – 115.
- [2] Антропова В. Р., Малышева Н. Н. Управление элементами энергообъекта в аниматоре схем // Материалы XVIII Всероссийской студенческой научно-практической конференции, 2016. С. 1178 – 1181.
- [3] Антропова В.Р., Малышева Н. Н.Элементы диспетчерского управления в программе «Модус» // Материалы XVII студенческой научно-практической конференции, 2015. С.639-642.
- [4] Комплексный тренажер по оперативным переключениям «Модус» (Электронный ресурс) URL: <http://swman.ru> (дата обращения 19.04.2017)
- [5] Методические рекомендации по подготовке и проведению противоаварийных тренировок персонала электроэнергетических организаций. Министерство промышленности и энергетики российской федерации. Противоаварийные тренировки персонала коммунальных энергетических организаций. М.: ЭНЕРГОСЕРВИС. 2005
- [6] Подготовка оперативно - диспетчерского персонала электроэнергетических систем и сетей (Электронный ресурс) URL: <http://twt.mpei.ac.ru/ochkov/dis/sim.html>. (дата обращения 19.04.2017)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Н. Н. Малышева, к. т.н., доцент кафедры энергетики, e-mail: malyshevann@list.ru
В. Р. Антропова, бакалавр, e-mail: vikyantropova@yandex.ru



УДК 631.316.722

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

А. А. Орлова, П. В. Беляев

Омский государственный технический университет

Аннотация – В статье рассматривается классификация солнечных панелей по типу используемого материала, анализируется эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую энергию на основе кремниевых и пленочных панелей. Проведен обзор производителей солнечных панелей в Российской Федерации, обсуждаются перспективы развития солнечной энергетики. Уделено внимание эксплуатации и обслуживанию солнечных панелей.

Ключевые слова – солнечная панель, инсоляция, производство, эксплуатация.

I. ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на существующее многообразие экспертных оценок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии считаем, что использование солнечных станций в Омском регионе наиболее оправдано и эффективно. Кроме того, использование природной энергии сейчас позволяет обеспечивать будущим поколениям экологически чистую среду обитания, т.е. это прогрессивное направление развития общества без потери интенсивности технологического прогресса.

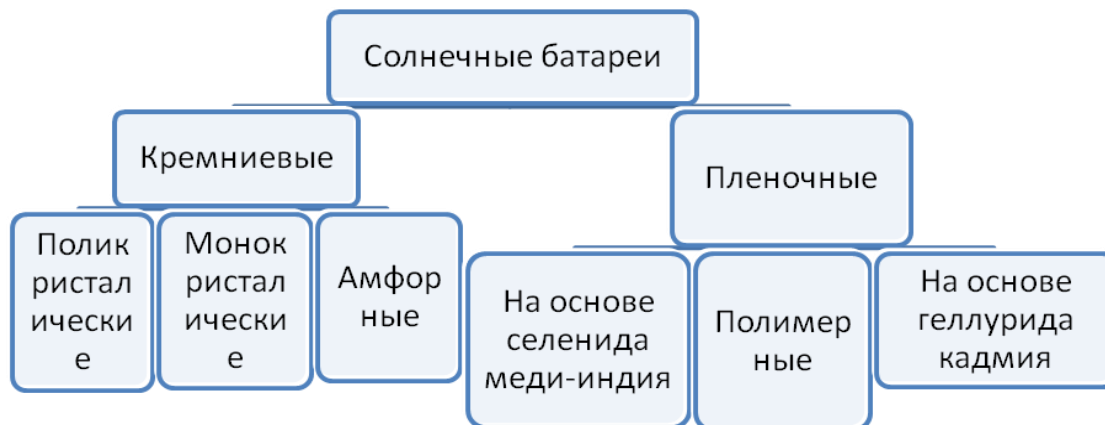


Рис. 1. Классификация солнечных панелей

Необходимо обратить внимание, что при внедрении новой техники и технологии, вопросы эксплуатации, обслуживания и ремонта являются весьма актуальными и требуют отдельного рассмотрения.

На сегодняшний день рынок солнечных панелей насыщен множеством образцов, отличающихся используемыми материалами, технологией изготовления, энергоэффективностью эксплуатации, странами и фирмами изготовителями и, очевидно, стоимостью.



II. ТЕОРИЯ

Солнечные панели подразделяют на два основных вида кремневые и пленочные, отличающихся способом производства и материалами, применяемыми в основе конструкции (Рис. 1).

Кремниевые панели производятся из моно, поликристаллов и аморфного кремния.

На территории Российской Федерации представлено значительное число различных моно и поликристаллических панелей отличающихся как модельным рядом, так и производителями. Основная часть этого рынка заполнена продукцией производства КНР. Китай является одним из лидеров в изготовлении и продаже систем генерации солнечной энергии и оборудования наряду с США и Европой. Помимо этого, на рынке присутствуют солнечные панели из Германии и Японии.

В Российской Федерации существуют свои крупные изготовители солнечных панелей.

Интегрированная группа компаний «Хевел», выпускает традиционные панели из моно и поликристаллического кремния, а также одни из перспективных, бюджетных на базе аморфного кремния с вкраплениями микрокристаллов изготовленных по микроморфной технологии.

Характерная особенность панелей с микроморфной структурой заключается в относительно эффективной работе при рассеянном свете. Таким образом, т.к. на большей территории Российской Федерации значительное число пасмурных дней в году, панели с микроморфной структурой, имеют значительный потенциал и конкурентно способны на рынке панелей с моно и поликристаллами [1].

ТАБЛИЦА I
ПРОИЗВОДИТЕЛИ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Производитель	Наименование	Технология производства	Пиковое напряжение, В	Пиковый ток, А	Пиковая мощность, Вт	Габариты, мм	Ориентировочная цена на российском рынке, руб.
«Телеком-СТВ», Зеленоград	TSM-100A	поликристалл	17	5,6	96	1050x665x43	8439
РЗМП, Рязань	RZMP-130-T	поликристалл	15,9	6,65	105	1490x670x36	14600
«Хевел», Новочебоксарск	HEVEL P7	микроморфная	56,6	2,21	125	1300x1100x24	10000
Green Energy Technology, Тайвань	GET-115AT2	аморфный кремний	93,9	1,22	115	1300x1100x20*	7000
Chinaland Solar Energy, Китай	CNH100-36M	монокристалл	19,3	5,18	100	1200x540x30	6350

Существенную роль в эффективности работы солнечных панелей играет величина инсоляции (табл. II).

Инсоляция (происходит от латинского «in solo» – выставлено на солнце) означает облучение пучком параллельных лучей, которые поступают с направления солнечного диска. Другими словами, это количество электромагнитной энергии (радиации),



падающей на поверхность земли. Уровень солнечной инсоляции выражается, как правило, в кВт·ч/ м²/сутки и является усредненным значением количества энергии солнца, которое попадает на метр квадратный поверхности земли в течение суток [2].

Особенность Омского региона является высокая степень солнечной инсоляции, что еще более повышает эффективность применения солнечных панелей с микроморфной структурой.

ТАБЛИЦА II
ГОДОВАЯ ИНСОЛЯЦИЯ ОДНОГО КВАДРАТНОГО МЕТРА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ
В РАЗНЫХ ГОРОДАХ РОССИИ В МЕГАВАТТАХ

Архангельск 0.85	Новосибирск 1.14	Петербург 0.93
Москва 1.01	Омск 1.16	Ростов-на-Дону 1.29
Екатеринбург 1.1	Астрахань 1.38	Махачкала 1.35

Необходимым параметром при выборе ориентации панелей является максимальный угол подъема солнца (табл III). Максимальный угол наблюдается в солнечный полдень и зависит от широты выбранного места и угла склонения в конкретной точке.

ТАБЛИЦА III
МАКСИМАЛЬНЫЙ УГОЛ ПОДЪЕМА СОЛНЦА ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ГОРОДОВ

П/п	Местоположение	Широта	Склонение солнца	Максимальная высота подъема солнца	Ориентация солнечных батарей	Угол наклона солнечных батарей относительно земли
1	Москва	55,8° с.ш.	14,01°	48,16°	На юг	30°
2	Санкт-Петербург	59,8° с.ш.	14,02°	44,14°	На юг	33°
3	Казань	55,78° с.ш.	14,01°	48,14°	На юг	32°
4	Омск	55,0° с.ш.	13,59°	48,59°	На юг	30°
5	Новосибирск	55,0° с.ш.	13,59°	48,59°	На юг	30°

Из таблицы видно, что угол подъема солнца обратно пропорционален углу наклона панелей. Для того чтобы получать максимум энергии, угол между панелью и поверхностью земли должен быть таким, чтобы панель была расположена перпендикулярно к солнечным лучам.

Одним из важнейших критериев грамотной эксплуатации и окупаемости солнечной электростанции считается наличие лица или службы, которая отвечает за эксплуатацию и сохранение работоспособного состояния системы [3].

Рассмотрим примерный план технического обслуживания системы солнечной электростанции:

Один раз в месяц:

1. Внешний осмотр креплений, ограждений и конструкций оборудования;
2. Контроль электрических силовых кабелей на отсутствие порезов, трещин, и признаков стирания изоляции, при необходимости производить подтяжку резьбовых соединений оборудования;
3. Очистка панелей солнечных батарей (Рис. 2);
4. Проверка состояния конструктивных узлов блока на предмет коррозии, прочности креплений панелей кожуха;



5. Проверка состояния конструктивных узлов блока на предмет коррозии, прочность креплений панелей кожуха, контроль и запись состояния автоматики и показаний КИПиА, уровня заряда АКБ.

Один раз в квартал:

6. Изменение положения панелей в зависимости от времени года;

7. Контроль уровня электролита при необходимости пополнение дистиллированной водой, корректировка с учетом заряда и температуры батареи.

Один раз в полгода:

8. Подтягивание резьбовых соединений проводов генератора, при необходимости замена предохранителей, наконечников, зачистка контактов.



Рис. 2. Очистка панелей солнечных батарей

III. ВЫВОД И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время развитие альтернативных источников энергии велики, в том числе и солнечные батареи. Не смотря на их столь многообразие, выбор марки и модели остается за потребителем. Эффективность подобранного оборудования будет зависеть от немало важных факторов. Самый важный – активность солнечной энергии и мощность батареи, регион, где будет установлена панель, и площадь обеспечения выработанной энергии. Учитывая все эти факторы, можно достичь наивысшего КПД и экономическую выгоду, за потребление электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Преимущества солнечных батарей на основе аморфного кремния в солнечной энергетике [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.suncharge.com/ru/advantages>. (Дата обращения: 01.04.2017)
- [2] Солнечная инсоляция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mos-invertor.ru/spr5>. (Дата обращения: 03.04.2017)
- [3] Правила эксплуатации солнечных батарей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solar-tlt.ru/stati/pravila-ekspluatatsii-solnechnih-batarey>. (Дата обращения 03.04.2017)
- [4] Солнечные панели российских производителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://neftregion.ru/chistaya-energiya/obzor-solnechnykh-batarei-na-otchestvennom-rynke>. (Дата обращения: 05.04.2017)
- [5] Беляев П. В., Подберезкин Д. А., Мищенко В. С., Эм Р. А. Применение солнечных и ветровых энергетических установок в городской среде. // Наука, техника и образование, 2016. № 11 (29). С. 42 – 45
- [6] Беляев П. В., Соболев А. В. Обзор гелиоэнергетики России // Динамика систем, механизмов и машин, 2014. № 1. С. 194 – 198.

СВЕДЕНИЕ ОБ АВТОРАХ

П. В. Беляев к. т. н., доцент кафедры «Электрическая техника» e-mail: polly110@yandex.ru
А. А. Орлова, бакалавр, e-mail: oreol9510@mail.ru



УДК 658.264

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГТУ ПУТЕМ ВАРИАЦИЙ СПОСОБОВ ПОДВОДА ТЕПЛОТЫ В СИСТЕМУ

А. А. Парамонова, В. А. Михайлов

*Филиал «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,
Россия*

Аннотация – Уже на протяжении многих лет в большинстве стран приоритетной задачей энергетики является повышение эффективности выработки электроэнергии и отпуска тепловой энергии потребителям. Наиболее эффективным способом является теплофикация – централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки тепловой и электрической энергий. В нашей стране комбинированная выработка тепловой и электрической энергий развивалась преимущественно на базе паротурбинных технологий. Из опыта зарубежных стран видно, что наиболее привлекательным проектом теплофикационных установок являются ГТУ и ПГУ ТЭЦ. В последние годы ГТУ стали широко применяться для теплоснабжения. В работе исследованы показатели эффективности использования топлива в зависимости от эффективности работы тепловой схемы, а также рассмотрены два из наиболее эффективных способов подвода теплоты – дожигание дополнительного количества топлива в среде уходящих газов и использования пиковых водогрейных котлов (ПВК).

Ключевые слова – подвод, теплота, эффективность, топливо.

1. ВВЕДЕНИЕ

Опыт зарубежных стран (США, Великобритания) показывает, что одним из наиболее привлекательных проектов теплофикационных установок являются ГТУ. В последние годы и в нашей стране создавалась основа для широкого применения ГТУ. Среди многочисленных вариантов комбинированного производства тепловой и электрической энергии на базе газотурбинных установок можно выделить следующие:

1. Замена устаревшего паротурбинного теплофикационного оборудования действующих ТЭЦ мощностью $50 \div 100$ МВт на газотурбинные агрегаты мощностью $60 \div 150$ МВт.

2. Строительство ГТУ небольшой мощности ($10 \div 25$ МВт) для автономного теплоснабжения небольших городов и районов крупных городов.

3. Установка газотурбинных установок на реконструируемых и расширяемых котельных для работы в автономном режиме или в качестве пикового источника теплоты.

4. Реконструкция районных котельных по газотурбинной технологии.

Как показывает опыт, одним из недостатков ГТУ ТЭЦ по сравнению с наиболее эффективными бинарными ПГУ является более низкие технико-экономические показатели [1]. Однако его можно компенсировать значительными преимуществами ГТУ ТЭЦ: меньшие капитальные затраты, по сравнению с ПГУ и паротурбинными ТЭЦ, компактность, меньший чем на ПТУ и ПГУ штатный коэффициент, более высокий уровень надежности и маневренности, возможна полностью автономная работа ГТУ ТЭЦ с дистанционным управлением нескольких ГТУ ТЭЦ с объединенного диспетчерского пульта. Строительство малых газотурбинных ТЭЦ путем надстройки



действующих и вновь строящихся районных котельных в несколько раз уменьшит размер капиталовложения в систему теплоснабжения.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. Исследование показателей эффективности использования топлива в зависимости от эффективности работы элементов тепловой схемы.
2. Проведение анализа эффективности способа подвода теплоты – дожигание дополнительного количества топлива в среде уходящих газов.
3. Проведение анализа эффективности способа использования пиковых водогрейных котлов (ПВК).
4. Сравнение этих двух способов и выявление более эффективного.

III. ТЕОРИЯ

Для выбора оптимальных решений при проектировании ГТУ ТЭЦ необходимым является выполнение анализа состава ее тепловой схемы, характеристик основного оборудования газотурбинных установок и определение показателей эффективности использования топлива, с учетом различных режимов работы в течении года.

Наибольшую трудность для ГТУ ТЭЦ составляет покрытие графика сезонной нагрузки. Далее рассмотрим варианты повышения эффективности использования топлива на отопительных ГТУ ТЭЦ. Реализация тепловой схемы в этом случае осуществляется с использованием газоводяных теплообменников (ГВТО) [1].

Для обеспечения регулирования отпуска теплоты на ГТУ ТЭЦ необходимо решить одну из двух задач:

1. Подвод количества теплоты, в случае если тепловая мощность ГВТО меньше, чем требуется согласно сетевому графику.
2. Уменьшение количества теплоты, передаваемой теплоносителю, в случае если тепловая мощность ГВТО избыточна.

При решении первой задачи возможны следующие варианты:

- Использование пиковых водогрейных котлов для подогрева сетевой воды
- Применение дожигания топлива в потоке уходящих газов перед ГВТО
- Впрыск воды в камеру сгорания турбины
- Использование увеличенной теплоты уходящих газов ГТУ при пиковой мощности

Проблемы подвода дополнительной теплоты можно избежать. Для этого необходимо выбрать такое газотурбинное оборудование для ГТУ ТЭЦ, чтобы теплоты уходящих газов ГТУ было достаточно для покрытия максимума тепловой нагрузки. Однако, эффективность данного решения не является очевидной [2]. Среди возможных тепловых схем для решения второй задачи можно выделить следующие технические решения:

- Поочередное включение нескольких энергоблоков ГТУ с газоводяными теплообменниками, которые входят в ГТУ ТЭЦ, и изменение мощности ГТУ в определенных пределах позволит покрыть большую часть тепловых нагрузок
- Использование байпасирования газов помимо ГВТО для снижения тепловой мощности ГВТО при постоянной мощности ГТУ
- Осуществление регулирования отпуска теплоты за счет схемы с использованием рециркуляции воды через ГВТО и подмешивании обратной сетевой воды к воде на выходе из ГВТО
- За счет снижения мощности ГТУ также возможно регулирование тепловой нагрузки

При проектировании ГТУ ТЭЦ можно использовать различную комбинацию вышеперечисленных технических решений. При реализации тепловой схемы ГТУ ТЭЦ большое внимание следует уделять нормативным требованиям.

На Рис. 1 представлен вариант универсальной тепловой схемы отопительной ГТУ ТЭЦ, включающий в себя вышеперечисленные технические решения.

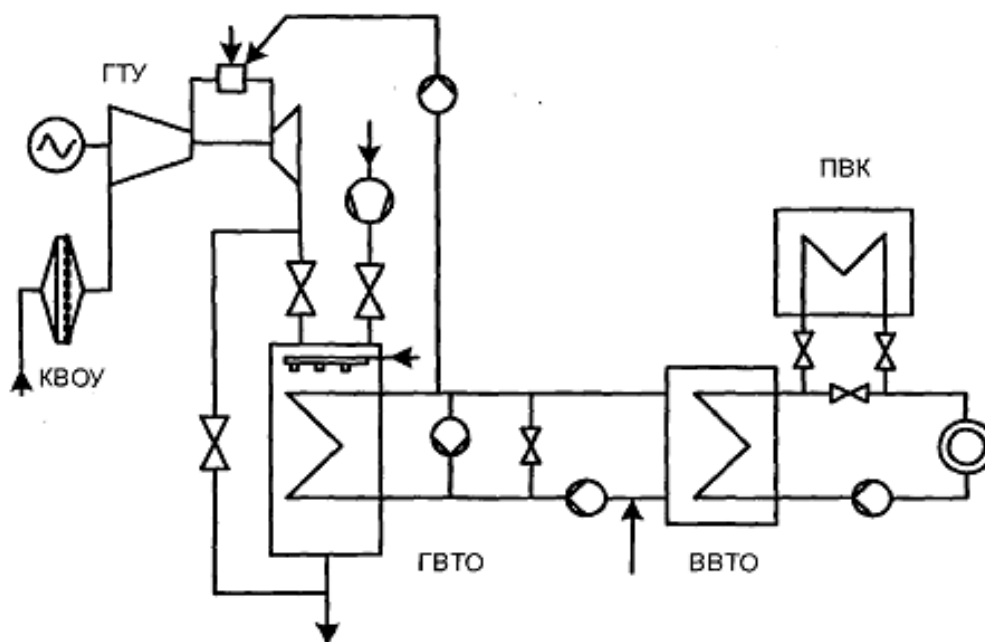


Рис. 1. Универсальная тепловая схема ГТУ ТЭЦ

Данная схема не может быть реализована в полном объеме из-за взаимоисключения некоторых решений.

В случае если для отпуска теплоты согласно сетевому графику потенциал газов на выходе ГТУ не хватает, необходимо обеспечить подвод количества теплоты. Из многочисленных вариантов подвода теплоты наиболее перспективным является дожигание дополнительного количества топлива в среде уходящих газов.

Эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ с системой дожигания топлива по формуле (1) равен:

$$\eta_{\text{ex}}^{\text{ГТУ}} = \frac{\eta_{\text{ex}}^{\text{ГТУ}} \cdot \eta_{\text{эм}}^{\text{ГТ}} \cdot (1 - \gamma_{\text{ух}}^{\text{ГТУ}}) + \eta_{\text{ex}}^{\text{ГВТО}} \cdot (\gamma_{\text{ух}}^{\text{ГТУ}} + \beta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{КД}} - \gamma_{\text{ку}}^{\text{ух}})}{1 + \beta_{\text{д}}} \quad (1)$$

Установка дожигającego устройства практически не влияет на изменение аэродинамического сопротивления ГВТО и, следовательно, на изменение параметров ГТУ [3].

Влияние степени дожигания топлива на эксергетические КПД камеры дожигания и ГВТО показано на примере нескольких пиковых режимов трех отопительных ГТУ ТЭЦ, работающих с разными ГТУ на Рис. 2.

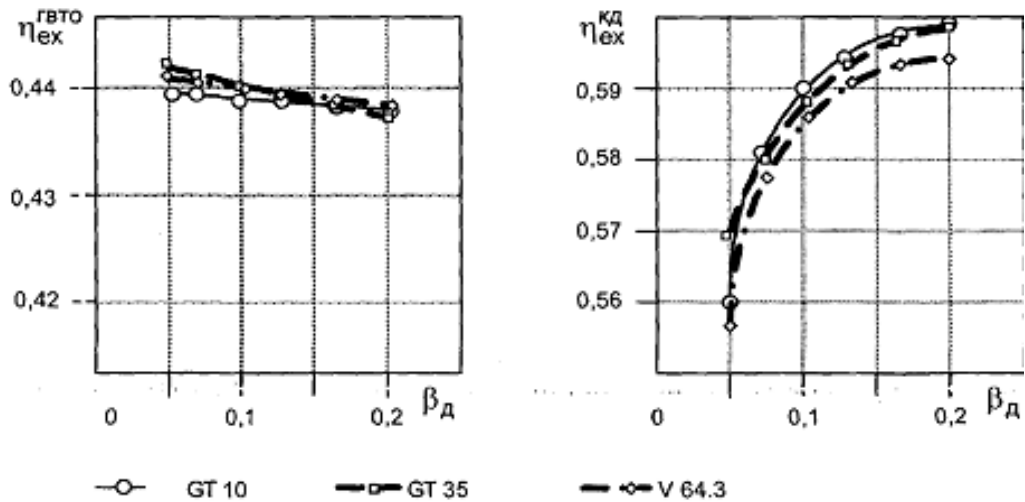


Рис. 2. Эффективность ГВТО и камеры дожига в зависимости от β_d

Как видно из Рис. 2 степень дожига топлива главным образом влияет на эксергетический КПД камеры дожига.

Вторым наиболее часто используемым способом подвода дополнительной теплоты является использование пиковых водогрейных котлов (ПВК). Эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ с ПВК рассчитывается по формуле (2):

$$\eta_{ex}^{ТЭЦ} = \frac{\eta_{ex}^{ГТУ} \cdot \eta_{ЭМ}^{ГТ} \cdot (1 - \gamma_{ГТ}^{УХ}) + \eta_{ex}^{ГВТО} \cdot (\gamma_{ГТ}^{УХ} - \gamma_{КУ}^{УХ}) + \beta_d \cdot \eta_{ex}^{ПВК}}{1 + \beta_d} \quad (2)$$

Рассмотрим график эксергетических КПД в зависимости от доли дожигаемого топлива, изображенный на Рис. 3. По нему можно провести сравнение эффективности использования топлива при подводе теплоты при помощи дожига топлива в потоке уходящих газов и использовании пиковых водогрейных котлов.

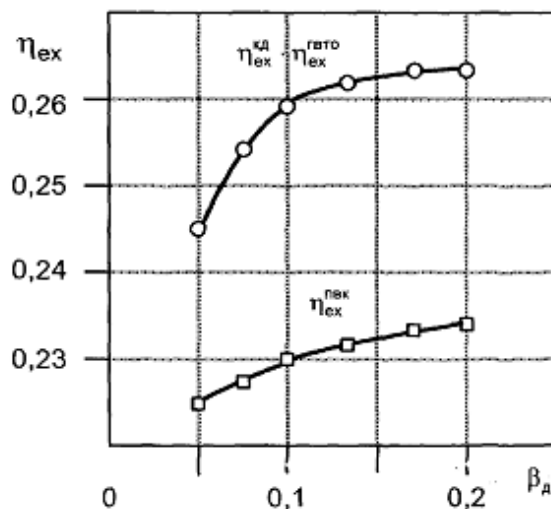


Рис. 3. Эксергетические КПД подвода дополнительной теплоты в ПВК и в ГВТО с дожигом топлива



Из рис. 3 видно, что дожигание топлива в среде уходящих газов ГТУ обладает большей эффективностью использования топлива, чем применение ПВК. Это обусловлено меньшими потерями эксергии при теплообмене в процессе горения топлива в среде уходящих газов ГТУ с температурой 530 – 550 °С. В ПВК топливо сгорает в воздухе с температурой около 50 °С.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Проведен анализ и сравнение двух методов подвода дополнительной теплоты к теплоносителю:

1. Дожигание топлива в среде уходящих газов ГТУ;
2. Применение пиковых водогрейных котлов.

По результатам сравнения сделан вывод, что наибольший эксергетический КПД ГТУ ТЭЦ достигается при применении дожигания топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бродянский В. М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
- [2] Соколов Е. Я., Бродянский В. М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
- [3] Попырин Л.С, Щеглов А.Г. Эффективные типы парогазовых и газотурбинных установок для ТЭС / Электрические станции, 1997. №7. С. 8 – 17

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

А. А. Парамонова, бакалавр, e-mail: paramonova.nastya@gmail.com
В. А. Михайлов, к.т.н., доцент, e-mail: paramonova.nastya@gmail.com



УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ВЫХОДЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С НАГРУЗКОЙ НА РАЗДЕЛЬНУЮ С ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ РАБОТУ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕСИНХРОНИЗАЦИЕЙ

Т. Р. Сагадатов, О. В. Газизова, Ю. Н. Кондрашова, А. В. Малафеев

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Аннотация – усложнение эксплуатационных режимов промышленных систем электроснабжения вследствие увеличения доли объектов распределенной генерации приводит к необходимости обеспечения устойчивости электродвигательной нагрузки. С помощью программного комплекса "КАТРАН" исследована результирующая устойчивость синхронных двигателей собственных нужд в режиме выхода электростанции на раздельную работу и последующей ресинхронизации.

Ключевые слова – Синхронный двигатель, устойчивость, ресинхронизация, переходный режим.

I. ВВЕДЕНИЕ

Усложнение эксплуатационных режимов промышленных систем электроснабжения вследствие увеличения доли объектов распределенной генерации приводит к необходимости обеспечения устойчивости электродвигательной нагрузки. Математическому моделированию двигательной нагрузки посвящены работы [1, 2, 3]. Исследования статической и динамической устойчивости промышленных систем электроснабжения приведены в работах [4, 5]. Влияние действия релейной защиты и автоматики на устойчивость отражено в трудах [6, 7]. Особый интерес представляет исследование устойчивости при раздельной работе с энергосистемой генераторов с различными видами первичных двигателей [7, 8, 9, 10]. Моделированию передающих линий посвящены статьи [11, 12, 13, 14]. Таким образом, при исследовании результирующей устойчивости электростанции [15], необходимо учитывать большой ряд факторов, в том числе устойчивость нагрузки.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из факторов, определяющих результирующую устойчивость электростанции при ресинхронизации с энергосистемой является устойчивость синхронной нагрузки, особенно в тех случаях, когда мощности двигателей соизмеримы с мощностями генераторов. Успешность ресинхронизации в этом случае определяется большим количеством факторов, в том числе моментом подключения к сети и загрузкой синхронных машин, участвующих в процессе, по активной и реактивной мощности.

Поэтому разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости актуальна.



III. ТЕОРИЯ

Анализ результирующей устойчивости промышленной системы электроснабжения проводился с помощью программы "КАТРАН" [16]. В ее основу положена методика, предполагающая расчет установившихся сверхпереходных режимов методом последовательного эквивалентирования, переходных электромеханических процессов методом численного интегрирования дифференциальных уравнений движения машин. Общие принципы анализа динамической устойчивости генераторов при выходе на раздельную работу изложены в [13]. При математическом моделировании синхронных двигателей также учитывались асинхронные мощности,

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Практический анализ результирующей устойчивости синхронных двигателей производился в программном комплексе «КАТРАН» [14] для промышленной электростанции при ее выходе на раздельную работу и последующей ресинхронизации.

Электростанция включает в себя одиннадцать генераторов установленной мощностью от 6 до 40 МВт. Выход на раздельную с энергосистемой работу происходит по шинам 110 кВ, причем наиболее электрически близкими к рассматриваемому двигателю оказываются два генератора мощностью 30 и 25 МВт. Один из генераторов подключен на шины 10 кВ, а другой – на шины 6 кВ через три трансформатора связи суммарной мощностью 30 МВт.

Изменение параметров синхронного двигателя было рассмотрено на примере синхронного двигателя собственных нужд мощностью 570 кВт. Питание данного двигателя осуществляется от шин напряжением 6 кВ, источником питания является генератор 30 МВт. Особенностью работы двигателя является тот факт, что параллельно подключена большая часть не только синхронной, но и асинхронной нагрузки. Этот момент должен быть особенно точно проанализирован, т.к. изменение параметров синхронного двигателя при переходных процессах приводит к изменениям параметров остальной нагрузки. На рисунке 1 приведены характеристика изменения взаимных углов роторов рассматриваемого синхронного двигателя и генераторов промышленной электростанции, при выходе электростанции на раздельную работу и последующей синхронизации в момент времени восстановления питания $t = 0,6$ сек.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Особенностью работы синхронного двигателя при выходе на раздельную работу электростанции, является тот факт, что при увеличении скорости и частоты генератора в узле, избыточном по активной и реактивной мощности, двигатель стремится ресинхронизироваться с отделившейся группой генераторов и угол ротора за относительно вектора напряжения точки связи с энергосистемой возрастает. После ресинхронизации электростанции угол ротора возвращается к исходному значению.

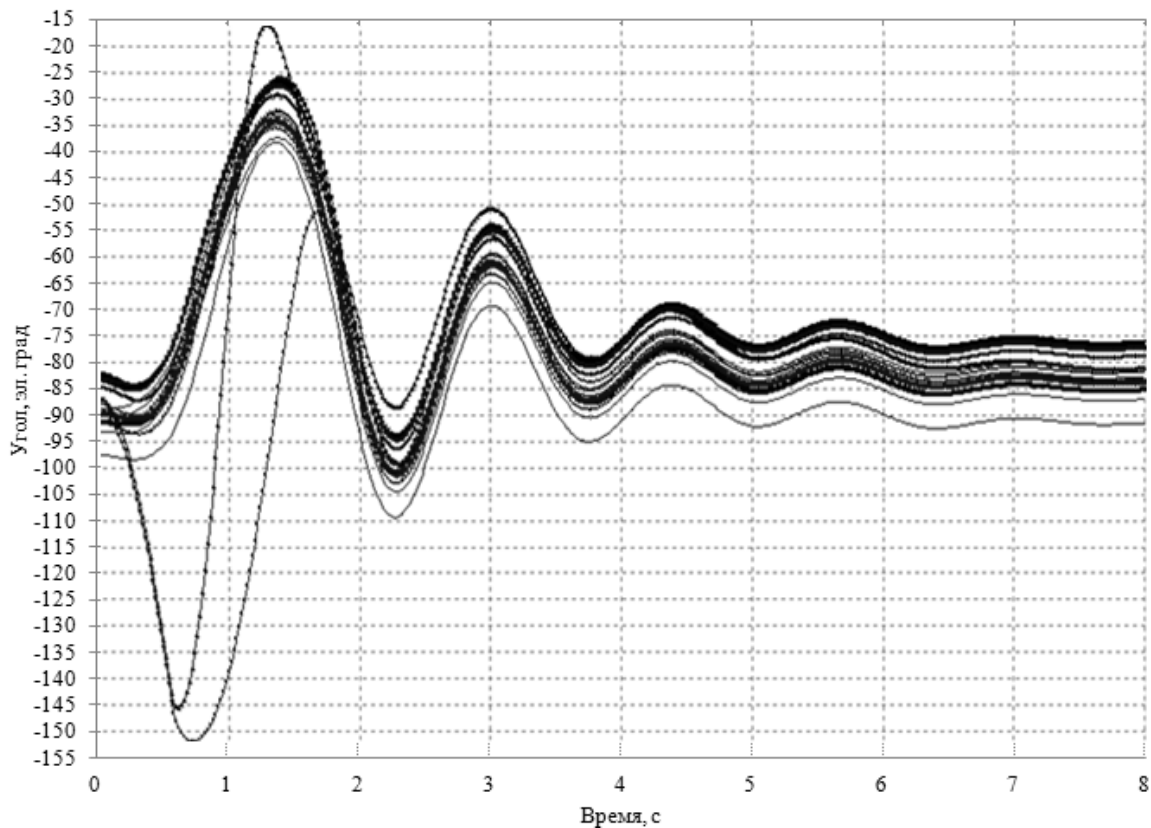


Рис. 1. Изменение взаимных углов генераторов узла относительно синхронного двигателя

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование режима ресинхронизации промышленной электростанции, избыточной по активной и реактивной мощности с энергосистемой, показало, что устойчивость синхронных двигателей собственных нужд зависит от устойчивости генераторов и в целом при правильном действии автоматических регуляторов генераторов сохраняется. При исследовании влияния исходной загрузки генераторов на устойчивость синхронных двигателей было установлено, что уменьшение выдаваемой генераторами активной мощности и увеличение генерируемой реактивной мощности приводит к улучшению устойчивости узла в целом. При возникающих длительных переходных процессах загрузка мощных двигателя также определяет их устойчивость.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Способ представления асинхронных двигателей при расчете переходных режимов короткого замыкания с целью анализа влияния тока подпитки на динамическую устойчивость при больших возмущениях // Вести высших учебных заведений Черноземья, 2008. № 3. С. 43–45.
- [2] Малафеев А. В., Карандаева О. И., Ротанова Ю. Н., Буланова О. В. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» // Электротехнические системы и комплексы, 2009. № 17. С. 96–104.
- [3] Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости системы электроснабжения на примере ОАО «ММК» при трехфазных коротких замыканиях с учетом динамических характеристик нагрузки. // в сборнике: Энергетика и энергоэффективные технологии сборник докладов II Международной научно-практической заочной конференции. Министерство образования, 2007. С. 44–50.
- [4] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // Вестник Южно-Уральского



- государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2008. № 17 (117). С. 72 – 74.
- [5] Буланова О.В. Расчет показателей статической устойчивости систем электроснабжения крупных промышленных предприятий, имеющих в своем составе собственные электростанции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова, 2006. № 2. С. 37–40.
- [6] Игуменцев В. А., Заславец Б. И., Николаев Н. А., Малафеев А. В., Буланова О. В., Кондрашова Ю. Н., Панова Е. А. Оценка эффективности релейной защиты в сетях 110 – 220 кВ сложных систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями. – Магнитогорск, Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2011. – 141 с.
- [7] Газизова О. В., Малафеев А. В., Тарасов В. М., Извольский М. А. Исследование эффективности работы делительной автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия черной металлургии. // Промышленная энергетика, 2012. № 10. С. 12 – 17.
- [8] Удалов С. Н., Ачитаев А. А., Юманов М. С. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на базе электромагнитной трансмиссии в составе автономной системы электроснабжения. – Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность, 2015. № 5. С. 32 – 35.
- [9] Буланова О. В., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н., Тарасов В. М. Анализ переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики // Промышленная энергетика, 2010. № 4 С. 22 – 28.
- [10] Буланова О. В., Игуменцев В. А., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н. Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе отдельно с энергосистемой // Электротехнические системы и комплексы, 2005. № 10. С. 129 – 134
- [11] Kornilov G. P., Panova E. A., Varganova A. V. The Algorithm of Economically Advantageous Overhead Wires Cross Section Selection Using Corrected Transmission Lines Mathematical Models. – Procedia Engineering. 2015. Т. 129. С. 951 – 955.
- [12] Кондрашова Ю. Н., Газизова О. В., Гладышева М. М., Галлиулин И. М. Исследование влияния ввода в работу перспективной воздушной линии на режимы промышленного энергетического узла. // Международный научно-исследовательский журнал. - 2014. № 4-2 (23). С. 35-37.
- [13] Газизова О. В., Абдулхаликова А. А. Исследование пропускной способности питающих линий электропередачи крупного промышленного энергетического узла // Электротехнические системы и комплексы, 2014. № 2 (23). С. 48 – 52.
- [14] Кондрашова Ю. Н., Николаев А. А., Николаев А. А., Гладышева М. М. Разработка методики прогнозирования отказов сложных электротехнических систем на примере электрических сетей. // Технические науки - от теории к практике, 2014. № 33. С. 101 – 108.
- [15] Kondrashova Y. N., Gazizova O. V., Malapheev A. V. Increasing the efficiency of power resource management as a solution of issues of the power supply system stability. Proceedia Engineering 2015 – Т.128 – С. 759 – 763.
- [16] Игуменцев В. А. Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н., Панова Е. А., Николаев В. В., Зиновьев В. В. Расчет и оптимизация установившихся и переходных эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий при параллельной и раздельной работе с энергосистемой с учетом действия релейной защиты. // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем, 2011. № 1. С. 226.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Т. Р. Сагадатов, магистрант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

О. В. Газизова, к. т. н. доцент, доцент кафедры Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: logan_b_7@mail.ru.

Ю. Н. Кондрашова, к. т. н., доцент, доцент каф. Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: gotjuil720@mail.ru.

А. В. Малафеев, к. т. н., доцент, доцент каф. Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: malapheev_av@mail.ru.



УДК 621.311.42

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА НАДЕЖНОСТЬ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Г. В. Тихонов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данное время стремительно подымается показатель потребления электроэнергии и как следствия возрастает нагрузка на подстанции, станции. Основным элементов в которых являются силовые трансформаторы. От их надежности зависит работа всей системы в целом. В работе рассмотрено влияние качества электроэнергии на надежность силовых трансформаторов на базе основных действующих факторов. В качестве примера приведена электрическая схема действующей подстанции. Приведены рекомендации по увеличению надежности работы трансформаторов.

Ключевые слова – Силовой трансформатор, анализ, электроэнергия, надежность.

И. ВВЕДЕНИЕ

Потребление электроэнергии с каждым днем увеличивается. Это обуславливается повышением количества техники в домах населения, перехода крупных предприятий на безлюдное производство, отказ от двигателей внутреннего сгорания и замены их на электродвигатели.

В системах электроснабжения одним из основных элементов являются трансформаторы. Силовое трансформаторное оборудование напрямую связано с надежностью электроснабжения потребителей. Высокая надежность трансформатора гарантирует качественное электроснабжение потребителя. Повреждения трансформаторов сводится к минимуму, в противном случае, это ведет к крупным авариям. Падение надежности и уменьшение срока эксплуатации связано с короткими замыканиями, перенапряжениями, дефектами изоляции и т.д. К потребителю, как правило энергию требуется передать на большое расстояние, что требует установки повышающих и понижающих трансформаторов для 5,6-кратной трансформации энергии. С учетом падения напряжения применяется последовательность шести трансформаций 15,75 на 525 кВ; 500 на 242 кВ; 230 на 121 кВ; 115 на 38,5 кВ; 35 на 11кВ; 10 на 0,4 или 0,69 кВ [1].

В настоящее время общая мощность трансформаторов, установленных в сети превышает общую генераторную мощность в 7 – 8 раз. В ближайшие 10 – 12 лет этот показатель будет только расти [2]. Силовые трансформаторы являются дорогостоящим оборудованием, поэтому их изучение требует детального спланированного подхода.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Силовые трансформаторы имеют срок службы – 25 лет. Их можно классифицировать по назначению:

- 1) в системе передачи и распределения электроэнергии;
- 2) для установок со статическими преобразователями при преобразовании переменного тока в постоянный (выпрямители) или наоборот (инверторы);
- 3) для получения требуемых напряжений в цепях управления электроприводами, и местного освещения.

Факторы, влияющие на срок службы силовых трансформаторов. Рассмотрим принципиальную электрическую схему подстанции (Рис. 1.)

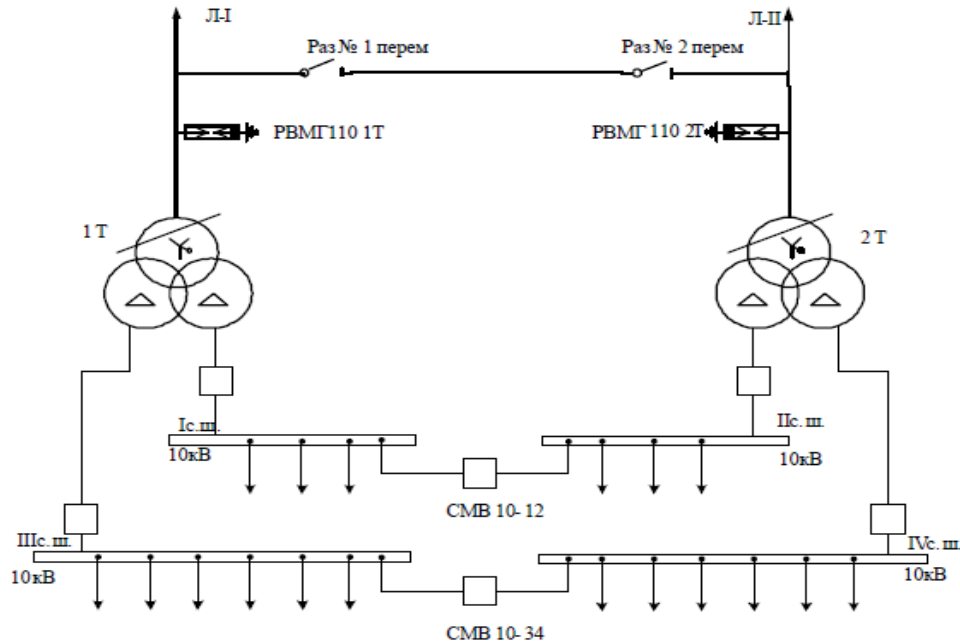


Рис.1. Электрическая схема подстанции

Данная схема включает в себя два трансформатора 1Т, 2Т с расщепленной обмоткой 10 кВ ТРДНМ-63000/110-У1. Система шин – 10кВ. Машиностроительное предприятие является основным потребителем подстанции.

III. ТЕОРИЯ

Классификация возможных факторов влияющих на работу трансформаторов.

Атмосферные перенапряжения. Возникает в электрических установках при грозовых разрядах. Классифицируются на внутренние и внешние. К первым относятся перенапряжения связанные с нестабильностью энергии в самой системе. Внешние – индуктированные перенапряжения прямого удара вследствие удара молнии в землю рядом с линией, или в один из элементов самой линии. Величину амплитуда волны приближенно можно рассчитать по формуле (1):

$$U_{\text{шин}} = a \cdot h \quad (1)$$

где h – средняя высота подвеса провода линии; a – коэффициент, зависящий от величины тока молнии;

Коэффициент a определяется при токах 100-200 кА по выражению (2):

$$a = 20 + \frac{l_m - 100}{10} \quad (2)$$

С учетом заземленных тросов получаем формулу (3):

$$(U_{\text{шин}})_{\text{макс}} = U_{\text{шин}}(1 - \kappa_1 - \kappa_2) \quad (3)$$



где κ_1 – коэффициент связи; κ_2 – коэффициент на корону при прямом ударе молнии в вершину опоры.

При ударе молнии в середину пролета $\kappa_2 = 1,5$. Можно сделать вывод, что при наличии тросов индуктированные перенапряжения снижаются.

Эффективным методом уменьшения вероятности повреждения линий передач атмосферными перенапряжениями сводится к подвеске тросов по всей длине линии с металлическими и железобетонными опорами. В работе [3] на базе эксперимента показана зависимость режима заземления нейтрали силового трансформатора при воздействии на него атмосферных перенапряжений.

Коммутационные перенапряжения. Возникают в процессе эксплуатации установок за счет включения и отключения цепей, также резонансов участков сети на рабочей частоте или частоте высших гармоник. Определяющими фактором при выборе уровней изоляции являются перенапряжения внутреннего происхождения для установки с напряжениями от 330кВ. Во время отключения ненагруженных трансформаторов возможно возникновение перенапряжения более 3Uф. Они из-за малой своей длительности практически равны атмосферным перенапряжениям. Для устранения данных проблем на станциях используют обычные вентильные разрядники. Главное степенью защиты является выбор правильных уровней изоляции, чтобы обеспечить бесперебойную работу электрических аппаратов и трансформаторов при воздействии на них перенапряжений, возникающих вследствие переходных процессов. В данной схеме на рис.1. перенапряжения во время отключения ненагруженных трансформаторов могут появляться на присоединениях со стороны коммутируемого оборудования. На основе чего можно сделать вывод, что для трансформаторов 1Т, 2Т опасности нет.

Дуговые перенапряжения. Согласно постановок норм России, сети должны иметь замыкание на землю и должны работать с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. Большая часть поломок и выходов из строя станций подстанций, указывает на повреждение изоляции относительно земли. Условие восстановления электрической прочности и уменьшения вероятности возникновения электрической дуги оказывают большое влияние на кратности перенапряжений.

Различные варианты расчетных кратностей перенапряжений по различным гипотезам в зависимости от характеристики сети с учетом затухания рассмотренный в источнике [4].

Дугогасящие реакторы в значительной степени уменьшают вероятность возникновения дуговых перенапряжений. Для рассмотренной схемы (рис.1.) запас электрической прочности изоляции трансформатора 1Т, 2Т позволяет выдерживать повышение напряжения на неповрежденных фазах при гашении неустойчивых замыканий на землю.

Некачественная электроэнергия. Согласно [5] качество параметров электрической сети включает в себя: напряжение 220 В – для однофазной, 380 В – для трехфазной, с допуском отклонением +/- 5 %. Для силовых трансформаторов увеличение потерь электроэнергии и намагничивания вследствие изменения синусоидальности не является опасным. В работе [6] проведен анализ регистрации показателей качества электроэнергии на подстанции, изображенной на рис.1. Полученный вывод говорит о нестабильности нормально допустимого уровня качества электроэнергии, выявленные на шинах 10 кВ ПС. Для повышения стабильности требуется установка фильтров силовых высших гармоник на присоединениях потребителей с электроустановками, генерирующими высшие гармоники. Фильтры устанавливаются со стороны искажения, установок потребителей и находятся на их балансе.



Ударные токи. Проверка аппаратов и конструкций шин на электродинамическую стойкость необходимо вычислять ударный ток короткого замыкания – $i_{уд}$. Характеризует максимальное мгновенное значение полного тока короткого замыкания. Расчетное выражение для указанной характеристики тока обычно находят для условий отсутствия тока в предшествующем режиме и наибольшем значении апериодической составляющей.

Факторы, влияющие на локальные термические воздействия на изоляцию и нарушения механической прочности элементов изоляции и магнитной среды силовых трансформаторов. На неравномерное распределение магнитных потоков влияет на несимметричность ударных токов. Трансформаторы подвержены перевозбуждением, локальным повышением температуры, вызванное перераспределением потока рассеяния и главного намагничивания потока стержня или ярмах магнитной системы. Возникновение механических резонансных явлений и подмагничивания магнитопровода за счет возбуждения СНЧ-колебаний фазных токов. Возникновение переходных токов вызывает дополнительное намагничивание. Появление эффекта колебательных изменений частоты, вызванные сопровождением искажения формы тока и наложения переходных процессов.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ влияния качества электроэнергии на надежность силовых трансформаторов рассмотренный на примере действующей подстанции 110/10/10 кВ показал, что основные негативные факторы, влияющие на срок службы трансформаторов это: атмосферные, коммутационные и дуговые перенапряжения; некачественная электроэнергия; ударные токи. Для выявления наиболее опасного фактора требуется построить математическую модель для всех факторов и провести сравнительный анализ. Предварительно можно сказать, что наиболее опасным является фактор высокой интенсивности ударных токов, не постоянство токов нагрузки, в сумме с переходными сверхнизкочастотными процессами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528 с.
- [2] Правила технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий. Алматы, 2002 г.
- [3] Ярошевич В. В., Карпов А. С. Влияние нестационарных электромагнитных воздействий на силовые трансформаторы // труды Кольского научного центра РАН. Энергетика, 2014. № 8. С. 54 – 62.
- [4] Техника высоких напряжений / Под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
- [5] ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения"
- [6] Невретдинов Ю. М., Бурцев А. В., Фастий Г. П. Влияние режима нейтрали и схем включения обмоток силового трансформатора на его импульсные характеристики // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика, 2014. № 8. С. 20–27.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Г. В. Тихонов, магистрант. e-mail: teg@bk.ru



УДК 621.3

К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ НАЛОЖЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РЕЖИМОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ БОЛЬШИХ ВОЗМУЩЕНИЯХ ИСТОЧНИКОВ СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

А. Ю. Турищев, Ю. Н. Кондрашова, А. В. Нуждин

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
г. Магнитогорск, Россия*

Аннотация – в современных условиях эксплуатации, когда предприятия ориентированы на максимальный объем выпускаемой продукции в сокращенные сроки при этом необходимо проводить профилактические осмотры и ремонты при эксплуатации возникают режимы их наложения на аварийные ситуации. Разработан программный комплекс, позволяющий оценить устойчивость при больших возмущениях. Даны рекомендации по реализации вышеперечисленных режимов.

Ключевые слова – устойчивость, аварийный режим, ремонтный режим, отключение линий связи.

1. ВВЕДЕНИЕ

С ростом собственной генерации и присоединяемой нагрузки крупных промышленных предприятий усложняются установившиеся и переходные эксплуатационные режимы. Одним из важных требований надежной работы источников электроэнергии является устойчивость синхронных генераторов при параллельной и раздельной работе с энергосистемой. Часто встречаемый вид аварийного режима, вызывающий нарушение устойчивости при больших возмущениях, который наносит значительный материальный ущерб, следует считать короткие замыкания [1], которые в нормальных условиях систем электроснабжения сопровождаются выходом участка сети с местной электростанцией на раздельную работу с энергосистемой. При эксплуатации возможны наложения аварийных режимов на ремонтные режимы (отключение линий связи и отключение одного из автотрансформаторов).

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Аналитический обзор методов расчета переходных процессов и динамической устойчивости [2, 3, 4, 5, 6, 7] показал, что необходимо рассмотреть вопросы влияния наложения ремонтных отключений на аварийные режимы с целью оценки устойчивости при больших возмущениях.

3. ТЕОРИЯ

Значительнее всего уровень устойчивости при больших возмущениях в ремонтных режимах определяет отключение линий связи с энергосистемой и автотрансформаторов на подстанциях связи. Выполнить представленные расчеты позволяет программный комплекс [8], в основу которого заложен модифицированный метод последовательного эквивалентирования [9, 10, 11].



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В таблице 1 и таблице 2 приведены результаты анализа при наложении аварийных на ремонтные режимы для системы электроснабжения предприятия черной металлургии г. Магнитогорска, которая содержит в своем составе собственные генераторы теплоэлектростанции (ТЭЦ) – турбогенераторы №1, №2, №3, №4, №5, №6, центральной электрической станции (ЦЭС), а также узловые подстанции №30, №60, №77, №86, №90. В таблицах 1 и 2 приведены варианты отключений линий связи по 110 кВ и отключение автотрансформаторов. С помощью программного комплекса [8] в результате расчетов были определены предельные времена отключения коротких замыканий и достижение максимального угла ротора для генераторов источников собственной генерации в ремонтных (Рис. 1 – 2) и нормальных режимах (Рис. 3 – 4).

ТАБЛИЦА I
ОТКЛЮЧЕНИЕ ЛИНИЙ СВЯЗИ И ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Оборудование, выведенное в ремонт (ВЛ)	Точка короткого замыкания	Максимальный угол генератора	$t_{\text{пред откл}}$ ($t_{\text{пред откл}}$ - в нормальном режиме), с	Углы роторов генераторов, °
ТЭЦ–пс 63	ТЭЦ 110 кВ	110°	0,4 (0,3)	109°-ТГ-5 ТЭЦ; 110°-ТГ-6 ТЭЦ;
ЦЭС–пс 30	ЦЭС 110 кВ	128 °	0,4 (0,3)	122°-ТГ-7 ЦЭС; 128°-ТГ-5 ЦЭС
пс 30–пс 60	30 110 кВ	125 °	0,4 (0,4)	125°-ТГ-5 ЦЭС; 118°-ТГ-7 ЦЭС; 115°-ТГ-4 ПВЭС-2;
Магнитогорская–Смеловская 500кВ	60 110 кВ	145 °	0,6 (0,5)	145°-ТГ-5 ЦЭС; 132°-ТГ-7 ЦЭС;
Магнитогорская–Смеловская 500кВ	77 110 кВ	115 °	0,5 (0,4)	115°-ТГ-5 ТЭЦ; 100°-ТГ-6 ТЭЦ;
Смеловская – пс 60	60 110 кВ	107 °	0,5 (0,5)	107°-ТГ-5 ЦЭС; 100°-ТГ-7 ЦЭС; 100°-ТГ-8 ЦЭС; 100°-ТГ-4 ПВЭС-2;



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



ТАБЛИЦА 11
НАЛОЖЕНИЕ РЕМОТНОГО РЕЖИМА НА АВАРИЙНЫЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ АТ

Режим работы	Точка короткого замыкания	$t_{откл}, c$	Максимальный угол генератора, °
Ремонтный режим: отключение АТ-2 на Магнитогорской	на РУ-110 кВ ТЭЦ	0, 35	ТГ-4 ТЭЦ выпал из синхронизма, ТГ-5 ТЭЦ выпал из синхронизма, ТГ-6 115°.
Нормальный режим	на РУ-110 кВ ТЭЦ	0, 35	ТГ-4 ТЭЦ 132°, ТГ-5 ТЭЦ выпал из синхронизма, ТГ-6 111°.
Нормальный режим	на РУ-110 кВ ТЭЦ	0, 33 (предельное время отключения)	ТГ-4 ТЭЦ 105°, ТГ-5 ТЭЦ 107°, ТГ-6 98°.
Ремонтный режим: отключение АТ-2 на подстанции 30	на РУ-110 кВ ЦЭС	0, 37	ТГ-1 ЦЭС 115°, ТГ-2 ЦЭС 92°, ТГ-3 ЦЭС 103°, ТГ-4а ЦЭС 132°, ТГ-4б ЦЭС 134°, ТГ-5 ЦЭС 138°, ТГ-6 ЦЭС 133°, ТГ-7 ЦЭС 135°, ТГ-8 ЦЭС 130°, ТГ-1 ПВЭС-2 91°, ТГ-2 ПВЭС-2 92°, ТГ-3 ПВЭС-2 106°, ТГ-4 ПВЭС-2 126°, ТГ-1 ПВЭС-2 37°, ТГ-2 ПВЭС-2 47°.
Нормальный режим	на РУ-110 кВ ЦЭС	0, 37	ТГ-1 ЦЭС 107°, ТГ-2 ЦЭС 91°, ТГ-3 ЦЭС 102°, ТГ-4а ЦЭС 126°, ТГ-4б ЦЭС 127°, ТГ-5 ЦЭС 133°, ТГ-6 ЦЭС 128°, ТГ-7 ЦЭС 131°, ТГ-8 ЦЭС 126°, ТГ-1 ПВЭС-2 90°, ТГ-2 ПВЭС-2 90°, ТГ-3 ПВЭС-2 106°, ТГ-4 ПВЭС-2 122°, ТГ-1 ПВЭС-2 36°, ТГ-2 ПВЭС-2 46°.

Ремонтный режим:

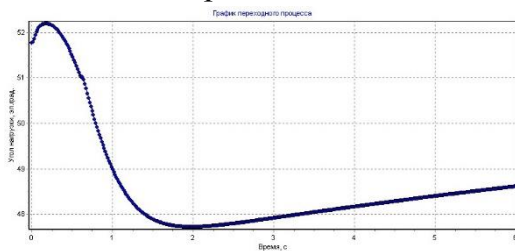


Рис. 1. Угол ротора для ТГ-5 ТЭЦ
Нормальный режим:

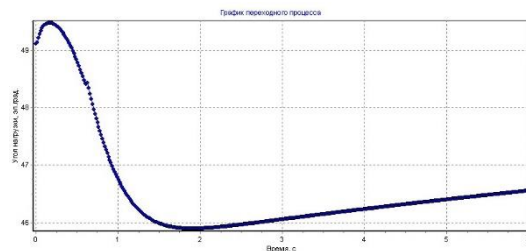


Рис. 2. Угол ротора для ТГ-6 ТЭЦ

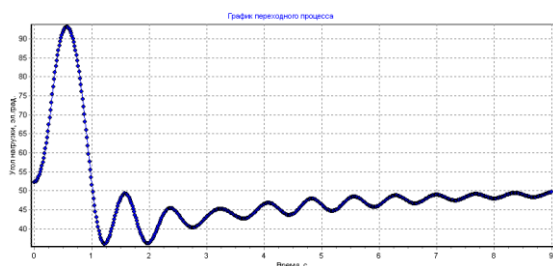


Рис. 3. Угол ротора для ТГ-5 ТЭЦ

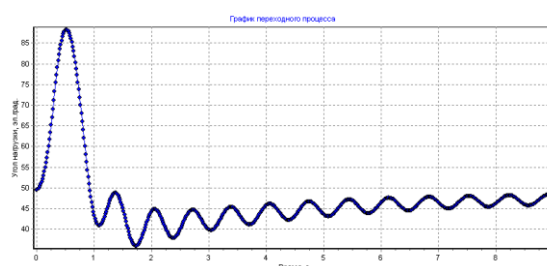


Рис. 4. Угол ротора для ТГ-6 ТЭЦ

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При отключении одного из автотрансформаторов сопротивление увеличивается в 2 раза, что приводит к снижению токов короткого замыкания. При отключении АТ-1 на Магнитогорской подстанции при трехфазном коротком замыкании на ТЭЦ, как наиболее связанной станции, наблюдается незначительное снижение предельного времени отключения короткого замыкания с 0,35 до 0,33 с, что не окажет влияния на действие релейной защиты и автоматики, поэтому данный режим может быть принят не в качестве аварийного, а в качестве рабочего, т.к. автотрансформаторы этой подстанции загружены менее чем на 50 % от своей номинальной мощности, что позволит снизить потери мощности и сократить расходы на электрооборудование.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В случае наложения ремонтного режима на аварийную ситуацию при отключении линий связи, сопротивление системы увеличивается и возрастает нагрузка на работающее оборудование, что приводит к снижению уровня напряжения и в дальнейшем к нарушению устойчивости. Кроме того, в ремонтных режимах возрастают установившиеся значения углов роторов относительно исходных, что объясняется большей электрической удаленностью от энергосистемы и приводит к ухудшению устойчивости при больших возмущениях [12, 13, 14, 15]. При отключении одного из автотрансформаторов подстанций связи сопротивление увеличивается, что приводит к снижению токов короткого замыкания, но при этом существенно уменьшается надежность электрооборудования [16] и сокращается его срок службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника, 2008. № 17 (117). С. 72 – 74.
- [2] Kondrashova Y. N., Gazizova O. V., Malapheev A. V. Increasing the efficiency of power resource management as a solution of issues of the power supply system stability. *Procedia Engineering* 2015 – Т.128. С. 759 –763.
- [3] Ачитаев А. А., Удалов С. Н., Юманов М. С. Повышение запаса регулировочной способности генераторов в энергетических системах с распределенной генерацией // *Электротехника. Электротехнология. Энергетика сборник научных трудов VII Международной научной конференции молодых ученых. Новосибирский государственный технический университет Межвузовский центр содействия научной и инновационной деятельности студентов и молодых ученых Новосибирской области.* 2015. С. 8 – 10.
- [4] Удалов С. Н., Ачитаев А. А., Юманов М. С. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на базе электромагнитной трансмиссии в составе автономной системы электроснабжения // *Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность*, 2015. № 5. С. 32 –35.
- [5] Буланова О. В., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н., Тарасов В. М. Анализ переходных режимов



- систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе объекты малой энергетики // Промышленная энергетика, 2010. № 4. С. 22 –28.
- [6] Буланова О. В., Игуменцев В. А., Малафеев А. В., Ротанова Ю. Н. Исследование сходимости метода расчета установившихся режимов систем электроснабжения при работе раздельно с энергосистемой // Электротехнические системы и комплексы, 2005. № 10. С. 129 – 134.
- [7] Малафеев А. В., Карандаева О. И., Ротанова Ю. Н., Буланова О. В. Влияние высоковольтных двигателей собственных нужд на надежность системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ ОАО «ММК» // Электротехнические системы и комплексы, 2009. № 17. С. 96 –104.
- [8] Игуменцев В. А. Малафеев А. В., Буланова О. В., Ротанова Ю. Н., Панова Е. А., Николаев В.В., Зиновьев В. В. Расчет и оптимизация установившихся и переходных эксплуатационных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий при параллельной и раздельной работе с энергосистемой с учетом действия релейной защиты. // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем, 2011. № 1. С. 226.
- [9] Малафеев А. В., Буланова, О. В., Ротанова, Ю. Н. Способ представления асинхронных двигателей при расчете переходных режимов короткого замыкания с целью анализа влияния тока подпитки на динамическую устойчивость при больших возмущениях // Вести высших учебных заведений Черноземья, 2008. № 3. С. 43 – 45.
- [10] Игуменцев В. А., Заславец Б. И., Николаев Н. А., Малафеев А. В., Буланова О. В., Кондрашова Ю. Н., Панова Е. А. Оценка эффективности релейной защиты в сетях 110 – 220 кВ сложных систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями. – Магнитогорск, Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та, 2011. – 141 с.
- [11] Кондрашова Ю. Н., Газизова О. В., Гладышева М. М., Галлиулин И. М. Исследование влияния ввода в работу перспективной воздушной линии на режимы промышленного энергетического узла. // Международный научно-исследовательский журнал, 2014. № 4 – 2 (23). С. 35 – 37.
- [12] Газизова О. В., Малафеев А. В., Тарасов В. М., Извольский М. А. Исследование эффективности работы делительной автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия черной металлургии. // Промышленная энергетика, 2012. № 10. С. 12 – 17.
- [13] Ротанова Ю. Н. Исследование динамической устойчивости системы электроснабжения на примере ОАО «ММК» при трехфазных коротких замыканиях с учетом динамических характеристик нагрузки. // Энергетика и энергоэффективные технологии сборник докладов II Международной научно-практической заочной конференции, 2007. С. 44 – 50.
- [14] Буланова О. В. Расчет показателей статической устойчивости систем электроснабжения крупных промышленных предприятий, имеющих в своем составе собственные электростанции // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2006. № 2. С. 37 –40.
- [15] Газизова О. В., Абдулхаликова А. А. Исследование пропускной способности питающих линий электропередачи крупного промышленного энергетического узла // Электротехнические системы и комплексы, 2014. № 2 (23). С. 48 – 52.
- [16] Кондрашова Ю. Н., Николаев А. А., Николаев А. А., Гладышева М. М. Разработка методики прогнозирования отказов сложных электротехнических систем на примере электрических сетей. // Технические науки - от теории к практике, 2014. № 33. С. 101 –08.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. Ю. Турищев, бакалавр кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

Ю. Н. Кондрашова, к. т. н., доцент, доцент каф. «Электроснабжение промышленных предприятий»,
e-mail: rotjuil720@mail.ru.

А. В. Нуждин, магистр кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».



УКД 629.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ПРИМЕРЕ Г. ОМСКА

В. К. Гаак¹, А. В. Гаак²¹Омский государственный университет путей и сообщений, г. Омск, Россия²ОАО "Всероссийский теплотехнический институт", г. Москва, Россия

Аннотация – В России ежегодно производится более 41 000 млн. Гкал тепловой энергии из них только 36 % вырабатывается комбинированным способом. Система централизованного теплоснабжения так же имеет потенциал роста эффективности до 50 %. Для повышения эффективности выработки тепловой энергии в статье предложены 5 способов реконструкции предприятий, поставляющих тепло населению и промышленным предприятиям.

Ключевые слова – котельная, ТЭЦ, комбинированная выработка, схема теплоснабжения, ПГУ, ГТУ.

I. ВВЕДЕНИЕ

Производство тепла с применением газообразного топлива основывается на двух способах: на отопительных котельных – раздельная выработка, газотурбинных, газопоршневых и паротурбинных теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) – комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Комбинированное производство на ТЭЦ позволяет экономить до 20 % топлива для целей энергоснабжения по сравнению с раздельной выработкой тепловой и электрической энергии. Согласно отчета фонда энергетического развития для целей теплоснабжения 36 % вырабатывается комбинированным способом с использованием эффекта теплофикации, остальная энергия вырабатывается на котельных [1]. Производство значительного объема тепла на котельных позволяет рассматривать варианты по снижению затрат на топливо при производстве тепловой энергии. В литературе встречается обзоры применения конкретных технологий применительно к площадкам где сооружаются объекты, однако общего анализа за частую не представлено. Авторы, в настоящей работе, постарались собрать воедино все имеющиеся на сегодня технологии для популяризации комбинированной выработки как одного из способов повышения энергоэффективности конкретного предприятия, региона и Российской Федерации в целом.

II. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время в России и мире используются различные способы снижения затрат топлива на производство тепловой энергии. Рассмотрим основные из них:

- модернизация паровых котельных с переводом их работы с использованием парогазовых установок (ПГУ);
- надстройка водогрейных котлов газовыми турбинами (ГТУ);
- реконструкция ТЭЦ с исключением из работы пиковых водогрейных котлов с заменой их на пиковые бойлерные установки, работающие на отборном паре паровых турбин;
- строительство газопоршневых установок на отопительных котельных;
- консервация теплофикационных котельных в межотопительный сезон (летом) с обеспечением горячего водоснабжения от смежных сетей ТЭЦ;

– совершенствование структуры систем теплоснабжения населенных пунктов.

Решение о способе реконструкции существующих теплоисточников определяет собственник электростанции и отражается в схеме теплоснабжения населенного пункта. Разработчик схемы теплоснабжения фиксирует (актуализирует) перспективные объемы потребления тепла с учетом планов развития региона и конкретного энергорайона, наличия топливных ресурсов, потребности в электрической энергии и экономической эффективности варианта реконструкции [2].

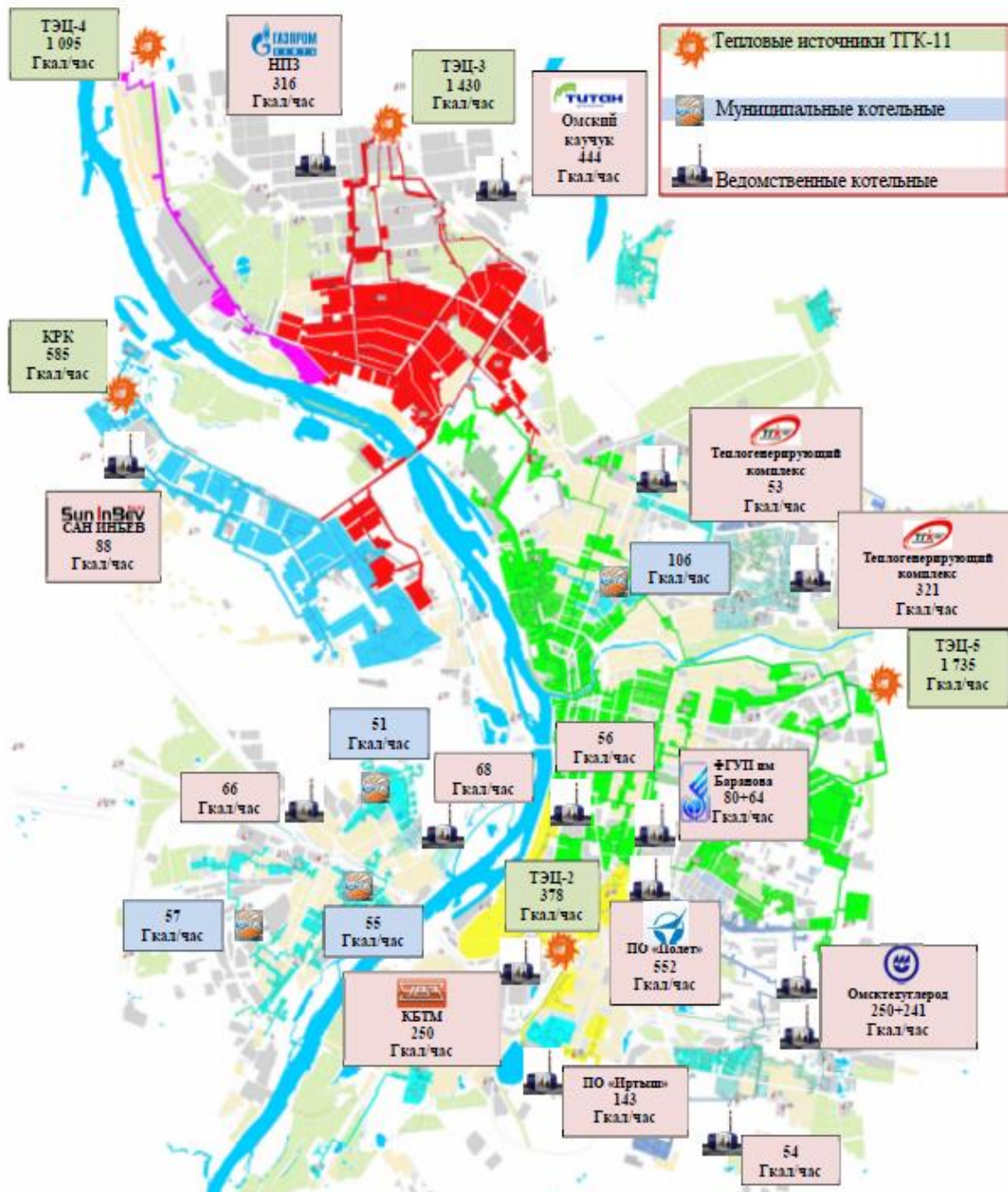


Рис.1. Основные теплоисточники города Омска

I. Реконструкция паровых котельных с переводом их работы в режим ПГУ.

Использование парогазового режима работы для производства электрической и тепловой энергии является наиболее эффективным способом модернизации существующих котельных при условии наличия присоединенной нагрузки более 20 Гкалл/час. Целесообразно использовать данный метод на теплоисточниках, имеющих оборудование с выработанным ресурсом работы или при модернизации ТЭЦ, работающих на газе с низким КПД. Наиболее выгодным вариантом использования ПГУ, является строительство отдельных блоков в помещении имеющее облегченные конструкции и расположенные на территории существующего теплоисточника с использованием его коммуникаций и тепловых сетей [3]. Для покрытия пиковых тепловых нагрузок наиболее холодного периода применять систему дожига топлива к котле утилизаторе (одно или двухступенчатую) [4].

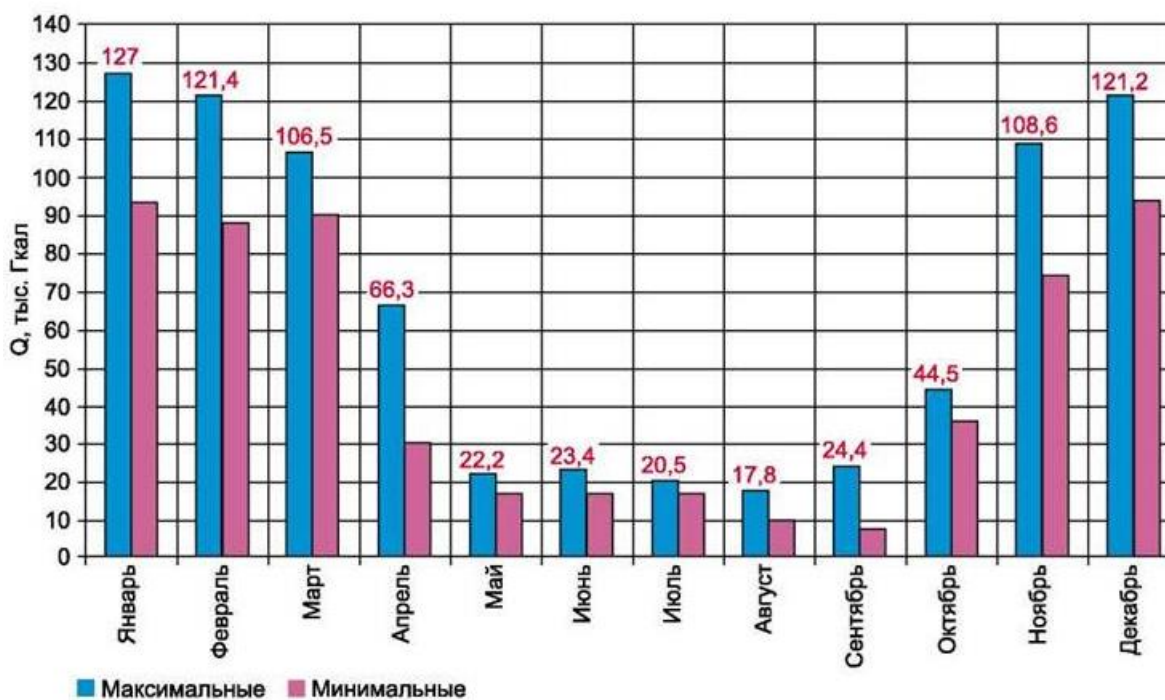


Рис.2. Средние тепловые нагрузки отопительной котельной, оснащенной котлами КВГМ-100 [5].

Блоки ПГУ за счет использования бинарного цикла имеют высокие показатели эффективности: КПД достигает 50 – 60 %, в зависимости от мощности, схемной компоновки и применяемого оборудования.

Парогазовые установки, как правило, включают в себя:

- дожимную компрессорную станцию (при необходимости);
- газовую турбину (одну или две);
- котел утилизатор, использующий для получения пара тепло отходящих газов газовой турбины;
- паровую теплофикационную турбину.

Опыт реконструкции Омской ТЭЦ-3 с установкой ПГУ-90 позволил снизить расход топлива на выработку электроэнергии с 365 г/кВт ч до 205 – 210 г/кВт ч, а на отпуск тепловой энергии с 165 – 170 кг/Гкал до 105 – 120 кг/Гкал [8].

Применение ПГУ для получения тепловой и электрической энергии позволяет снизить себестоимость энергии, вырабатываемой на дорогом природном газе и



обеспечить безубыточную продажу электроэнергии на рынке с конкурирующими угольными станциями Сибири.

II. Надстройка водогрейных котлов газотурбинными установками (ГТУ).

Учитывая, что большинство отопительных котельных в г. Омске работают на природном газе, то целесообразно для использования эффекта комбинированной выработки энергии провести их реконструкцию в режиме газотурбинных ТЭЦ, где газы после ГТУ сбрасываются в паровой или водогрейный котел.

При выборе мощности ГТУ необходимо учитывать объемы летнего потребления тепловой энергии от теплоисточника на горячее водоснабжение. Объем тепла, получаемый от теплофикационной установки должен быть не менее объема тепла, отпускаемого в летний период, что позволит обеспечить работу ПГУ с максимальным КПД в течении всего года.

Котельные агрегаты, использующие газ от ГТУ можно выполнять по схеме: как котел-утилизатор или как котел с дожигом топлива (дополнительными горелками сжигания газообразного топлива), которые обеспечивают большую производительность по теплу и маневренность агрегата. КПД установки без дожига топлива будет составлять 44 – 46 %, а с дожигом топлива превышать 37 – 38 % [3].

Если график отпуска тепла в течении года отпускаемого данным теплоисточником значительно меняется, то больший эффект от реконструкции будет достигнут на промышленных котельных, где имеется постоянный потребитель паровой энергии по схеме ГТУ-котел с дожигом.

Опыт разработки ГТУ-ТЭЦ для нового строительства показывают, что данные электростанции имеют удельный расход топлива на выработку тепловой и электрической энергии близкий к парогазовым ТЭЦ, но по капитальным затратам находятся в более выгодном положении. Данные установки проще по устройству и эксплуатации оборудования. При разработке данной схемы реконструкции необходимо учитывать минимальную мощность потребления тепла, которая обеспечит получение максимального эффекта при комбинированной выработке тепловой энергии, на установке, состоящей из газовой турбины и котла утилизатора для подогрева сетевой воды.

Использование отходящих газов от ГТУ возможно для нагрева сетевой воды в газовых подогревателях. В случаях снижения потребления тепла отходящие газы газовых турбин сбрасываются в атмосферу и установки работают в режиме выработки электрической энергии.

Расход топлива на ГТУ-ТЭЦ для выработки электроэнергии достигает 336,0 г/кВт ч, для отпуска тепла 150 – 160,0 кг/Гкал [6]. Эффективность использования данных установок позволяет обеспечить потребителя тепловой энергией и заместить покупку электроэнергии с рынка собственной выработкой.

Более подробно возможность надстройки отопительных котельных по схеме ПГУ и ГТУ можно найти в работах ОАО "ВТИ", например А. Г.Тумановского, П. А.Березенца и др. [4, 5].

III. Реконструкция ТЭЦ с заменой пиковых водогрейных котлов пиковыми бойлерами для подогрева сетевой воды.

Согласно типовых проектов работающих ТЭЦ обеспечение пиковых нагрузок теплоснабжения в зимний период предусматривается установка пиковых водогрейных котлов типа ПТВМ или КГВМ. Включение в работу пиковых котлов, как правило, работающих на мазуте, производится в период понижения температуры наружного



воздуха ниже – 20 °С для подогрева сетевой воды выше 110 – 115 °С. В последнее время нефтехимические комбинаты повышают эффективность переработки нефти, что значительно снизило производство мазута и повысила его стоимость. Стоимость тепла, получаемого от сжигания мазута, превышает стоимость тепла получаемого от сжигания угля.

Пиковые водогрейные котлы имеют значительный износ, т. к. при включении их в работу в ограниченный период зимнего максимума и длительный период консервации происходит ускоренная коррозия поверхностей нагрева агрегатов и снижение их надежности. Для контроля за оборудованием пиковых котлов в период консервации необходимо обеспечить присутствие эксплуатационного и ремонтного персонала. Согласно графика периодичности проведения капитальных и текущих ремонтов ремонт котлов проводится каждые 4 – 5 лет, а наработка котла в год составляет не более 500 – 800 часов. Себестоимость получаемого тепла от пиковых котлов достигает 3000 – 5000 руб./Гкал. Получение дополнительного тепла в пиковом режиме от бойлерных установок позволяет повысить коэффициент теплофикации при использовании тепла отборов турбин.

Применение пиковых бойлеров использующих пар нерегулируемых отборов среднего и высокого давления паровых турбин как источник тепла для подогрева сетевой воды позволяет значительно снизить расход топлива на выработку тепловой энергии. Эффективность использования такого пара повышается за счет выработки электрической энергии в проточной части паровой турбины цилиндров высокого и среднего давления. Параметры греющего пара пиковых бойлеров должны обеспечить нагрев сетевой воды до температуры, требуемой графиком сетевой воды для данного населенного пункта.

Такие решения по реконструкции ТЭЦ возможны при наличии избытка пара промышленных отборов турбин. Получение тепловой энергии комбинированным способом за счет пара из отборов турбины позволяет в период низких температур наружного воздуха дополнительно вырабатывать тепловую энергию лишь незначительно снижая выработку электрической энергии.

IV. Строительство газопоршневых установок на отопительных котельных.

Покупка электрической энергии ТЭЦ, как правило, производится на оптовом рынке, котельных на розничном рынке электроэнергии где цена нее постоянно меняется. В отдельные периоды стоимость электроэнергии возрастает на 15 – 20 %, что повышает затраты на собственные нужды. Для снижения затрат и получения дополнительной тепловой и электрической энергии возможна установка газопоршневых установок (ГПУ) небольшой мощности имеющих КПД 40 – 43 %, что выше чем на паротурбинных ТЭЦ и дешевле покупки с рынка.

Газопоршневые установки обладают высокой маневренностью (время запуска 3 – 5 минут), компактны и позволяют использовать в течении 7000 – 8000 часов в год. Монтаж установок производится в отдельных помещениях и стоимость 1 кВт мощности может составлять 500 – 800 долларов, что вдвое ниже стоимости строительства ПГУ. Современные газопоршневые агрегаты достигают мощности 10 МВт. Для обслуживания установки не требуется большого количества персонала. Недостатком данных электростанций является большой расход масла и не стабильность работы в изолированных системах при набросе нагрузки [7].

Себестоимость электрической энергии выработанной на ГПУ типа «CATERPILLER» серии G 3520 по данным ООО «Электротехнический комплекс» г. Омск не превышает 1 руб./кВт ч. /9/. При выработке электроэнергии на ГПУ мощностью 2 МВт получается



дополнительное тепло от охлаждения двигателя до 1,9 Гкал, которое передается сетевой воде для отопления. В летний период предприятие имеет возможность закрывать потребность ГВС ГПУ и продавать излишки вырабатываемой электрической энергии по прямым договорам соседним предприятиям или гарантирующему поставщику (энергосбытовой компании), что позволяет получить дополнительный доход.

V. Совершенствование системы теплоснабжения микрорайонов населенных пунктов.

Существующие системы теплоснабжения микрорайонов населенных пунктов, как правило, обеспечиваются теплом в период всего года от определенного теплоисточника. Учитывая разность тарифов на тепло в пределах одного населенного пункта от разных источников предприятию выполняющего роль единой теплоснабжающей организации доступна возможность снижения затрат на закупку тепла. С целью оптимизации затрат теплоснабжающая организация может использовать различные источники производства и варианты передачи тепловой энергии покрывая потребности потребителей в тепловой энергии.

V.I. Консервация теплофикационной котельной в межотопительный сезон (летом) с обеспечением горячего водоснабжения от смежных сетей ТЭЦ.

Схемы теплоснабжения населенных пунктов, как правило, разработаны с условием получения тепла потребителем от котельной имеющей большой тариф в течении всего года, что не всегда выгодно потребителю. Для снижения тарифной нагрузки на потребителя и увеличению доли комбинированной выработки энергии целесообразно рассмотреть режимы при которых в весенне-летний период происходит изменение границ поставки тепла от ТЭЦ. Например, в городе Омск имеются крупные поставщики тепла: АО «ОмРТС» от ТЭЦ 3, 4, 5, МП «Тепловая компания» от котельной на 4-й Северной 180 мощностью 106,4 Гкал/ч, ОАО «Омское ПО «Иртыш» от котельной мощностью 143,0 Гкал/ч, которые имеют тарифы:

АО «ОмРТС»	– 1116,7 руб/Гкал;
МП «Тепловая компания»	– 1693,5 руб/Гкал;
ОАО «Омское ПО «Иртыш»	– 1650,76 руб/Гкал.

Тепловые сети данных предприятий изолированы, однако в некоторых микрорайонах города проходят на смежных территориях на небольшом расстоянии друг от друга. Целесообразно рассмотреть возможность организации передачи сетевой воды для горячего водоразбора через смонтированные перемычки от сетей АО «ОмРТС», а оборудование менее эффективных котельных перевести на сезонную консервацию. Примером такой схемы работы в городе Омске является перевод на летнюю консервацию ТЭЦ-2 (работает в режиме котельной) и подача горячей воды потребителю от ТЭЦ-5, что позволяет экономить топливо на 80 млн. руб. в год. [8].

V.II. Совершенствование режима работы различных теплоисточников в отопительный период.

Для использования эффекта разности тарифов тепловой энергии от различных теплоисточников необходимо рассматривать режимы совместной работы ТЭЦ и котельных имеющих одинаковый температурный график тепловых сетей. Учитывая, что период пиковых нагрузок в зимний период длится менее месяца, целесообразно предусмотреть режим с отпуском тепла от ТЭЦ всем потребителям не только в весенне-летний, но и зимний периоды (когда температура наружного воздуха не



опускается ниже -10°C), а с наступлением аномальных отрицательных температур наружного воздуха для подогрева сетевой воды дополнительно подключать отопительную котельную, ранее работавшую в данном микрорайоне.

Эффект от получения тепловой энергии комбинированным способом позволяет в течении длительного времени в отопительный сезон и летний период экономить затраты на топливо для подогрева сетевой воды.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время Минэнерго РФ обсуждает новую целевую модель рынка тепла, которая позволит привлечь необходимые для обновления отрасли инвестиции. Реализация предлагаемых вариантов реконструкции котельных позволяет экономить затраты топлива на выработку тепловой и электрической энергии, уменьшить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и самое главное обеспечивает снижение затрат предприятия. Основными трудностями при проведении модернизации могут являться: стесненность существующих площадок на которых размещены объекты, необходимость выдачи увеличивающейся мощности, увеличения лимитов природного газа и объема резервного (аварийного) топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Отчет «О ситуации с теплоснабжением в Российской Федерации». Фонд энергетического развития. 2016 г. Москва.
- [2] Папушкин В. Н. "Кризис «схем теплоснабжения» или взлет «энергетического планирования?», «Новости теплоснабжения» № 11, 2007 г.
- [3] Андрищенко А. И. Комбинированные системы теплоснабжения/ Теплоэнергетика, 1997. №5. С. 2 – 6.
- [4] Тумановский А. Г., Березинец П. А., Терешина Г. Е., Алтухов М. Ю., Маркина В. Н., Крылова И. Н., Крючкова Т. И., Лобач И. А. Всережимная парогазовая установка мощностью 20 – 25 МВт для энергоснабжения промышленных и коммунальных предприятий. // Энергетик, 2013. №8 С 19 – 21.
- [5] Березинец П.А., Обоснование целесообразности реконструкции котельных и ТЭЦ с использованием газотурбинных установок. // Новости теплоснабжения, 2006. № 06 (70).
- [6] Шкода А. Н. Совершенствование технологий комбинированного теплоснабжения/ Электрические электростанции, 2008. С 16 – 20.
- [7] Илюшин П.В., Гуревич Ю.Е. О специальном воздействии на систему возбуждения автономно работающих генераторов при больших набросах нагрузки // Электро, 2016. №2. С. 2 – 7
- [8] Годовой отчет за 2015 г. АО «ТГК-11».
- [9] Бизнес план ООО «Электротехнический комплекс». г. Омск по установке газопоршневой установки.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В.К. Гаак, кандидат технических наук, профессор, e-mail: gaakvk@gmail.com.

А.В. Гаак, инженер, заместитель генерального директора ОАО "ВТИ", e-mail: anton_haak@rambler.ru.



УДК 697.911

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

К. С. Самутенко, Д. С. Лобов

Омский государственный технический университет, Г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье рассмотрены определения централизованного теплоснабжения и децентрализованного (автономного) теплоснабжения. Приведены основные недостатки централизованной системы теплоснабжения и преимущества децентрализованной системы теплоснабжения. Рассмотрены основные методы интенсификации конвективного теплообмена котлоагрегатов и дана их краткая характеристика. Указаны основные достоинства газотрубных котлов и обоснован их выбор в качестве источников теплоты в автономной системе теплоснабжения.

Ключевые слова – система теплоснабжения, газотрубный котел, источник, интенсификация, потери.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных составляющих для создания благоприятных условий для жизни и работы человека является эффективная и бесперебойная подача тепла потребителю. Вопрос выбора системы теплоснабжения и повышения её энергетической эффективности является очень актуальным в настоящее время, т.к. в России было и остается централизованное теплоснабжение от теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), которое характеризуется значительными тепловыми потерями.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определить достоинства децентрализованной (автономной) системы теплоснабжения перед централизованной системой теплоснабжения. Определить достоинства газотрубных котлов и обосновать их выбор в качестве источников теплоты в автономной системе теплоснабжения. Рассмотреть основные методы интенсификации теплообмена газотрубных котлов.

III. ТЕОРИЯ

Система теплоснабжения – это совокупность источников тепловой энергии и теплопотребляющих установок, технологически соединенных тепловыми сетями. Главная цель систем теплоснабжения – обеспечение бесперебойной подачи тепла потребителю. Системы теплоснабжения разделяются на централизованные и децентрализованные.

Системы централизованного теплоснабжения включает в себя три связующих элемента: источника теплоты, тепловых сетей и местных систем теплоиспользования (телопотребления) отдельных зданий или сооружений. В настоящее время в России преобладает централизованное теплоснабжение, которое характеризуется рядом недостатков, из-за которых повышается расход топлива, увеличиваются капитальные и эксплуатационные затраты, металлоёмкость оборудования. Одним из главных недостатков системы централизованного теплоснабжения является большая протяженность тепловых сетей, которая характеризуется значительными тепловыми потерями, по причине их изношенности. Около 50% объектов коммунального теплоснабжения и инженерных сетей требуют замены, не менее 15 % находятся в аварийном состоянии. На каждые 100 км тепловых сетей ежегодно регистрируется



в среднем 70 повреждений. Потери в тепловых сетях достигают 30 %. Помимо потерь тепла, с утечками теплоносителя ежегодно теряется более 1/4 кубокилометра воды. 82 % общей протяженности тепловых сетей требуют капитального ремонта или полной замены.

Все это приводит к повышению аварийности и заметному снижению качества услуг, оказываемых населению. Исходя из вышеизложенного, получаем, что основными проблемами при подаче тепла потребителям являются: устаревшее и энергозатратное оборудование, а также критическая степень износа и большая протяженность централизованных систем теплоснабжения. Практически все эти проблемы устраняются применением автономных систем теплоснабжения.

Автономные источники теплоснабжения – это источники тепловой энергии, не связанные с центральными системами теплоснабжения. Отличием автономной системы от централизованной системы теплоснабжения является то, что в таких системах источник теплоты и теплоприемники потребителей совмещены в одном агрегате или размещены так близко, что передача теплоты может передаваться без тепловых потерь. К преимуществам автономной системы теплоснабжения относятся: значительное сокращение сроков строительства; уменьшение капитальных затрат, что позволяет снизить себестоимость отпускаемой тепловой энергии; снижение тепловых потерь и исключение утечек при транспортировке по наружным тепловым сетям (ввиду их отсутствия); исключение затрат на ремонт и эксплуатацию теплотрасс, а также независимое теплоснабжение и возможность местного регулирования тепловой нагрузки.

В современных условиях развития децентрализованного или автономного теплоснабжения часто ставится вопрос о выборе котельного оборудования. В связи с этим, широкое распространение получили газотрубные котлы малой и средней мощности, обладающие простой конструкцией, удобством эксплуатации, не требующие больших материальных и трудовых затрат при выполнении ремонтных и обслуживающих работ и являются самыми перспективными в спектре автономных теплоисточников. Газотрубный котел – это котел, у которых поверхность нагрева состоит из трубок небольшого диаметра, внутри которых движутся горячие продукты сгорания топлива, за счёт этого осуществляется процесс нагрева различных теплоносителей, движущихся снаружи труб. Наряду с выбором котлоагрегатов для автономных системы теплоснабжения, актуальными задачами являются определение способов интенсификации и реализации их в элементах газотрубного котла, которые способствуют уменьшению габаритов теплообменных элементов, повышению тепловой эффективности установок, уменьшению материальных затрат. На сегодняшний день накоплен большой экспериментальный и теоретический опыт в области интенсификации процесса теплообмена в газотрубных котлах с использованием различных методов, а именно пассивного, который не требует затрат энергии и активного, который требует затрат энергии извне. Далее приводится краткое описание методов интенсификации.

Пассивные методы:

- 1) Использование шероховатых поверхностей, характеризующихся различными конфигурациями от случайной шероховатости типа песочной до дискретных выступов;
- 2) Использование устройств, у которых основной целью является разрушение пограничного слоя и максимально возможная турбулизация потока. Турбулизаторы, применяемые в дымогарных трубах, представляют собой: малые диафрагмы и выступы в трубах, «ломаные ленты», спиральные и кольцевые накатки, пружинные



и проволочные вставки, закручивающие лопасти, скрученные ленты и т.д. Применение таких устройств позволяет увеличить коэффициент теплоотдачи в дымогарных трубах газотрубного котла и повысить КПД котлоагрегатов;

3) Применение развитых поверхностей, таких как цельные трубопроводы и с внутренним оребрением, профилированные и перфорированные поверхности;

4) Подмешивание к потоку газа твердых частиц и капель жидкости, которые образуют разбавленные (суспензии газ – твердая фаза) или плотные (псевдооживленные слои) смеси, в результате этого увеличивается скорость потока и возрастает коэффициент теплопередачи.

Активные методы:

1) Интенсификации теплообмена при помощи принудительных пульсаций теплоносителя;

2) Интенсификация теплообмена с помощью механических средств: перемешивание жидкости или вращение поверхности, которое осуществляется с помощью мешалок, которым сообщается вращательное движение от электродвигателя.

3) Воздействие на поток электростатических полей. Используются в основном при теплообмене диэлектрических жидкостей, чтобы вызвать большее перемешивание массы жидкости вблизи поверхности теплообмена.

4) Отсос потока, основанный на удалении пара при пузырьковом или пленочном кипении или удалении жидкости через пористую поверхность теплообмена при однофазном течении.

Два и более выше перечисленных методов можно применять одновременно для большей интенсификации теплообмена такие процессы называются комбинированной интенсификацией. К ним относятся: комбинирование турбулизаторов с оребрением поверхности; применение спиральных ребер, одновременно закручивающих поток; применение закручивающих устройств при течении суспензий; комбинирование турбулизаторов с закруткой потока.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены достоинства децентрализованной (автономной) системы теплоснабжения перед централизованной системой. Применение таких систем позволит снизить удельные затраты на производство и использование энергоресурсов за счет рационализации их потребления, сократит потери при транспортировке и реализации продукции. Внедрение децентрализованного (автономного) теплоснабжения достаточно актуально на сегодняшний день и может решить ряд проблем, стоящих как перед государственными органами, инвесторами и застройщиками, так и перед населением. Рассмотрены основные методы интенсификации в газотрубных котлах. Различные способы интенсификации теплообмена разработаны и исследованы в неодинаковой степени, лишь часть из них доведена до уровня промышленного использования, поэтому выбор метода интенсификации теплообмена в каждом случае индивидуален и должен сопровождаться тщательным технико-экономическим анализом различных вариантов. При выборе для практического применения того или иного, метода интенсификации теплообмена приходится учитывать не только эффективность самой поверхности, но и ее универсальность для одно и двухфазных теплоносителей, технологичность ее изготовления, технологичность сборки теплообменного аппарата, прочностные требования, загрязняемость поверхности, особенности эксплуатации и т.д. В настоящее время производство газотрубных котлов малой и средней мощностью конструкторами



предусматривается обязательное использование интенсификаторов теплообмена, в результате чего коэффициент полезного действия может увеличиться на несколько процентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Каравайков В. М., Алутин А. П., Иванов Е. Э. Водогрейный котел для автономного теплоснабжения на местном топливе. // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век, 2013. С. 152 – 154.
- [2] Стрелюхина Т. А., Кондрашкин А. А.. Автономные и децентрализованные системы теплоснабжения. // Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплекса– XXI век, 2016. С. 203 – 207.
- [3] Шахлина Н. А. Интенсификация теплообмена в газотрубных котла: использованием профилированных поверхностей теплообмена: дисс. канд. техн. наук: 05.14.04: защищена 29.05.07. – Екатеринбург, 2007 – 126 с.
- [4] Справочник по теплообменникам: в 2 т. Т. 2, под ред. О.Г. Мартыненко. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
- [5] Справочник по теплообменникам: в 2 т. Т. 1, под ред. Петухова Б. С., Шикова В. А. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
- [6] Михайлов А.Г. Методы расчета теплообмена в топках котлов // Омский научный вестник, 2008. №3(70). С. 81 – 84.
- [7] Попов И. А., Яковлев А. Б., Щелчков А. В., Рыжков А. В. Интенсификация теплообмена – рациональный способ повышения эффективности газотрубных котлоагрегатов // Энергетика Татарстана, 2010. №4. С. 8 – 15.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. С. Лобов, магистрант ОмГТУ, e-mail: samutenko-kseniy@mail.ru

К. С. Самутенко, магистрант ОмГТУ, e-mail: samutenko-kseniy@mail.ru



УДК 621.311.26

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ В РОССИИ И НОВАЯ ОТРАСЛЬ «ЗЕЛеноЙ» ЭНЕРГЕТИКЕ В МИРЕ – БИО ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Р. Д. Аубакиров, А. А. Бубенчиков, В. И. Беляев, А. О. Шепелев, Р. Т. Тажиев,
Н. А. Фисун

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье рассмотрены проблемы развития солнечной энергетики в России. Рассмотрена перспектива и необходимость комплексного развития солнечной энергетики на территории энергодефицитных районов Российской Федерации. Показано сравнение России с западными и европейскими странами. Так же в статье рассматривается развитие «зеленой» энергетики и новые способы получения энергии с помощью солнца. Также рассмотрены проблемы и варианты применения и развития био фотоэлектрических систем в современной России.

Ключевые слова – солнечная энергия, «зеленая» энергетика, био-фотоэлектрические системы

1. ВВЕДЕНИЕ

На протяжении последних десятилетий многие страны стали задумываться над стратегией развития энергетического будущего. Данные вопросы стали возникать в связи с осознанием мирового сообщества того, что использование не возобновляемых ресурсов в частности, нефти, которая в связи с ростом цен, а также грядущем истощении её из недр ведет к необратимым экологическим проблемам. Что касается атомного топлива, тут уже другая проблема: проблема захоронения радиоактивных отходов. Данные осложнения заставляют человечество уже сейчас начать прогнозировать целесообразность использования экологически чистых возобновляемых источников энергии. Практически во все развитых странах уделяется большое внимание разработке, улучшению систем на основе возобновляемых источников энергии. Одной из интересных и перспективных ВИЭ всегда считалась, то есть преобразование солнечной энергии в электрическую.

Если взглянуть на Россию, со стороны некоторых регионов страны и проживающих там людей, то можно увидеть следующие тенденции:

- примерно 70 % Российской территории на которой проживает 20 млн человек расположено далеко от сетей централизованного энергоснабжения. В этих районах цены и тарифы на топливо и энергию заметно выше (10 – 20 руб./кВт и выше);
- многие регионы страны энергодефицитные. Им необходимы поставки энергии и завозы топлива;
- Россия является газовой державой, но лишь половина городов и треть деревень газифицирована. Очень сильно используется уголь и нефтепродукты, а они при эксплуатации сильно загрязняют окружающую среду. В нашей стране, являющейся газовой державой, газифицировано лишь около 50 % городских и около 35 % сельских населенных пунктов. Здесь используется уголь, нефтепродукты, являющиеся источниками локального загрязнения окружающей среды;
- в России энергия и топливо постоянно дорожают, подключение к сетям централизованного энергоснабжения тоже дорожает. Поэтому автономная энергетика в России очень быстро развивается: в последние годы ввод крупных электростанций уступает вводу дизельных и бензогенераторов до 100 кВт. Стремление потребителей



обеспечивать себя энергией отдельными источниками ведет к снижению эффективности всей энергетики страны.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Требуется рассмотреть проблемы солнечной энергетики в России, и био фотоэлектрические системы в мире.

III. ТЕОРИЯ

На данный момент законодательно развития ВИЭ в России практически не подкреплено. Зачатки развития мы можем увидеть в Федеральном законе № 261-ФЗ, в котором прописаны основные цели, задачи и документы, регламентирующие развитие ВИЭ в России. Так же согласно постановлению Правительства РФ, N 1-р от 8 января 2009 года, мы можем увидеть отчетливые планы развития "чистой" энергетики в России, цели которого к 2020 году увеличить долю ВИЭ до 4,5% от всего уровня энергобаланса России.

Солнечная энергетика в России испытывает ряд проблем, вот основные из них:

- в России глобальному использованию солнечной энергетики мешает то, что не все вырабатываемое солнечной батареей электричество потребляет человек;
- в России нет законодательств о приемке электричества от солнечных батарей. В таком законодательстве не видят смысла крупные энергокомпании;
- излишки солнечной энергии не сливаются в электросеть, что экономически не выгодно. Особенно это заметно в летний период, когда батареи вырабатывают больше, а человек потребляет меньше;
- по мнению экспертов, масштабное развитие солнечной энергетики может привести к снижению цен на нефть и газ. Этот фактор тоже в свою очередь тормозит развитие «зеленой» энергетики;
- солнечные батареи достаточно дорогие, фотоэлементы простых солнечных батарей делают из кремния. Создание таких батарей очень трудно и требует немалых вложений. Кремний очень распространённый элемент в земной коре, но процесс его добывания очень сложен и дорог;
- также возникают проблемы с его утилизацией отработанных фотоэлементов, так как в них содержатся и другие элементы. Кремниевые фотоэлементы сильно нагреваются, из-за чего снижается эффективность. Поэтому для них нужно приобретать дорогие системы охлаждения.

Представленные проблемы напрямую связаны с развитием солнечной энергетики в России.

Россия благодаря своему масштабу имеет более огромный потенциал чем любая другая страна. Особенно Южные регионы России, Забайкалье и дальний восток обладают особенно высоким показателем инсоляции, их можно сравнить с Южными регионами Европы.

Европа намного лучше реализует свой потенциал в этой отрасли. Для сравнения посмотрим на продвижение Германии в данной отрасли: уровень инсоляции на ее территории намного ниже, тем не менее только за один 2010 год было запущено в эксплуатацию порядка 8ГВт солнечных фотоэлектрических установок. Такую мощность можно приравнять к мощности Ленинградской атомной электростанции.

Россия, как и весь мир понимает необходимость использования солнечной энергии, и все время развивается. В Оренбургской области была открыта крупнейшая в РФ солнечная электростанция. Ее мощность составила 25 МВт, а состоит она из 200 тысяч панелей. Такой результат кажется впечатляющим, но если сравнить с продвижением



других стран, то станет ясно, что на данный момент Россия отстает в данной отрасли. Главное тому подтверждение – это открытие в Калифорнии солнечной электростанции мощностью 550 МВт и состоит она из 9 миллионов солнечных батарей.

Альтернативных и новых способов получения энергии не очень много. Однако, не так давно появился новый способ превращения солнечной энергии в электрическую. Он основывается на использовании фотосинтеза для получения электричества. К примеру, био фотоэлектрические системы – новый вид солнечных батарей в ячейках и панелях которых вместо фотоэлементов укладывается скошенная трава.

Огромный плюс такой энергетики заключается в его дешевизне. Так же такой вид панелей не токсичен, в процессе их эксплуатации они не загрязняют окружающую среду. Плюсом так же можно считать и доступность сырья, так как скошенную траву найти и подготовить к использованию намного проще, чем, например, кремний. Если сравнивать КПД кремниевых панелей и панелей на основе био-фотоэлектрических элементов то, фотоэлементы намного лучше, так как они поглощают больший спектр солнечного излучения.

К сожалению, пока что мощности вырабатываемой энергии данных установок хватает только для малых объемов потреблений, например, для зарядки смартфона.

Для увеличения производительности данной установки можно ввести в эксплуатацию синтетические материалы, например, такие, как искусственно созданный аналог хлорофилла с увеличенным объемом порфирина, который выполняет роль “уловителя” фотонов, то есть вырабатывает электрический потенциал.

Однако у этой отрасли энергетики впереди еще много различных трудностей. Ученым удается воспроизводить данные рабочие молекулы в единичных экземплярах с недостаточной плотностью присоединения их друг к другу, следовательно, теперь необходимо увеличить их количество во много раз с возможностью их объединения в однородную единую систему.

До недавнего времени считалось что в России достаточно источников электроэнергии. Однако теперь эксперты считают выгодным строительство солнечных станций на территории России.

Особенно перспективным развитие солнечной энергетики считается в районах, которые находятся далеко от централизованного энергоснабжения. В таких районах электричество вырабатывают на дизельных или электрогенераторах. Они часто выходят из строя и люди попросту остаются без электричества. Подобного рода генераторы сильно загрязняют окружающую среду своими выбросами. Цена на электричество в таких районах очень высока потому, что при транспортировке энергии на большие расстояния возникают большие потери. Поэтому внедрение солнечной энергетики в районах с децентрализованным энергоснабжением решило бы как экономическую проблему, так и экологическую.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами рассмотрена солнечная энергетика в России, её перспективы и проблемы. У России огромный потенциал для развития солнечной энергетики, но на данный момент она отстает в этой отрасли из-за серии проблем. Также, нами рассмотрены био-фотоэлектрические системы, как новая отрасль альтернативной энергии в мире. Способ превращения солнечной энергии в электрическую, основанный на фотосинтезе, имеет очень много плюсов по сравнению как с топливом, так и с солнечными панелями. Но пока что имеет множество проблем и трудностей, таких как низкий КПД.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

ACTUAL ISSUES OF ENERGY



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. – 2-е издание. – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 168 с.
- [2] Попель О. С.. Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы // Энергосовет, 2011. №5(18). С. 22 – 26.
- [3] Солнечная энергетика России: перспективы и проблемы развития // <http://gisee.ru/>. URL: <http://gisee.ru/articles/solar-energy/24510/> (дата обращения: 19.12.2016).
- [4] Натуральное электричество: Фотосинтез – дело будущего // <http://www.popmech.ru/>. URL: <http://www.popmech.ru/science/5670-naturalnoe-elektrichestvo-fotosintez-delo-budushchego/> (дата обращения: 19.12.2016).
- [5] Федеральный закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // <http://www.energosovet.ru/>. URL: <http://www.energosovet.ru/fzakon.html> (дата обращения: 19.12.2016).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Р. Д. Аубакиров, магистр, e-mail: qje1998@mail.ru.

А. А. Бубенчиков, к. т. н., доцент «Электроснабжение промышленных предприятий» e-mail: qje1998@mail.ru.

В. И. Беляев, студент, e-mail: qje1998@mail.ru.

Р. Т. Тажиев, студент, e-mail: Ontickru@gmail.com.

Н. А. Фисун, студент, e-mail: skara96@mail.ru.

А. О. Шепелев, магистр, e-mail: alexshepelev93@gmail.com.



УДК 621.311.25

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ (РОССИИ)

А. А. Бубенчиков, А. О. Вирайло, В. И. Беляев, В. В. Романов, М. А. Голованов,
Н. А. Фисун

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье рассмотрены причины, из-за которых возникает большая необходимость электроэнергии в Омской области и как вариант добычи ее путем преобразования солнечной энергии. Также рассмотрены проблемы развития солнечной энергетики в России. Представлены современные разработки ученых в сфере солнечной энергетики. Исследована эффективность развития солнечной энергетики на территории России. В статье определена потребность во внедрении солнечной энергетики в районы с децентрализованным электроснабжением.

Ключевые слова – солнечная энергетика, энергетика России, альтернативные источники электроэнергии.

I. ВВЕДЕНИЕ

Острая необходимость в энергии Омска и Омской области, как и население, с каждым годом растет. К первой половине 2016 года потребление электроэнергии во всей области составило приблизительно 5476 млн. кВт·час [1]. Электроснабжение потребителей Омской области осуществляется от расположенных в Омске ТЭЦ-3 ТЭЦ-4 ТЭЦ-5. Электрогенерирующей компании и с так называемых бирж электроэнергии по межсистемным линиям электропередач. Теплоснабжение промышленных и коммунально-бытовых потребителей Омска от ТЭЦ-2, 3, 4, 5 и Кировской районной котельной [2]. Все вышеперечисленные организации работают на исчерпаемом природном ресурсе – твердом жидком и газообразном топливе.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Необходимо рассмотреть возможность применения солнечной энергии на территории Омской области.

III. ТЕОРИЯ

Оперативность работы гелиоэнергетических устройств обуславливается действительными, надежными данными о параметрах солнечного излучения. Для тестирования, приходящей на местность солнечной радиации, используются некоторые данные:

- совокупность прямого, а также итогового радиоактивного излучения. Их переменчивость в несходные друг с другом временные диапазоны в состояниях светлого (ясного) и сумрачного неба;
- длина времени излучения Солнца, а также его переменчивость;
- сплошная протяженность излучения Солнца выше указанного уровня;
- количество суток, не имеющих солнечной энергии;
- многократное возобновление пасмурности различных ступеней (1, 2, 3).



В итоге этих данных производят наибольшую (средние условия облачности) и фактическую (среднестатистические условия облачности) плотность активности Солнца.

По результатам, в одном году, состав пасмурных дней в европейской части России чуть больше 2,5 раз, чем в Омской области в соответственно взятых широтах. Омскую область с большой привилегией, возможно, приписать к регионам с особым солнечным излучением. Тут ежегодное появление активности солнца при наличии ясного небосвода (наивысшее появление солнечной активности на взятой территории) 4100 МДж на кубический метр. Среднестатистическая продолжительность сияния у нас за 365 дней составляет 2 223 часа. По избытку солнца, Омск обходит такие города, как Москва, Ялта, Батуми и Харьков. Непременно, количество ясных дней в году может немного изменяться [3]. Наибольшие итоги суммы суммарной радиации, приходящие на горизонтальную верхнюю часть, приходится на промежуток времени с апреля и по август. Максимальное количество ясных дней попадает на промежуток с марта по август, с тах в июне и июле. Для Омской области специфичным возможно то, что Солнце перемещается около объекта, при этом набирая весомую высоту к началу облучения южных стен ранним утром (в летний период) и остается на ней (высоте) к концу их облучения (вечером) [4]. Каждый год в Омске примерно 308 ясных дней. Актуальность эксплуатации гелиоустановки гарантируется в том случае, когда число солнечных дней превышает 200 за год. Так, энергетическая освещенность поверхности при ясном небе за месяцы лета на юге региона набирает приблизительно 445 кВт·час на метр кубический [5].

Из вышеперечисленного следует что Омская область идеально подходит для развития в ней солнечной энергетики. Также хочется напомнить, что одним из плюсов солнечной энергетики является возможность использования систем автономного питания на основе солнечных коллекторов и батарей, что очень привлекательно для населенных пунктов, расположенных на севере нашего региона и удалённых от централизованных линий электропередачи.

1. Проблемы солнечной энергетики

В настоящее время, начинается активное внедрение солнечной энергетики в повседневную жизнь граждан. С каждым годом становится все больше и больше объектов, использующих энергию Солнца. Возникает необходимость формирования концепций градостроительной политики использования солнечной энергетики так как окружающая среда обитания человека должна быть благоприятной и комфортной для общества. На сегодняшнее время изложены отдельные элементы концепции градостроительной политики использования солнечной энергетики только в г. Москва, в остальных городах, в том числе и в Омске, такие концепции не разработаны. До сих пор большинство регионов не заботятся об энергосбережении и внедрение солнечной энергии энергетики в градостроительство почти не происходит. Можно выделить ряд основных причин этого явления:

- одним из препятствующих факторов является отсутствие разработанных концепций и стимулирующих мероприятий;
- одной из главных проблем использования солнечной энергии в целях отопления индивидуальных домов в России является отсутствие массового изготовления солнечных коллекторов, аккумуляторов и других систем;
- так же стоит проблема низкого КПД солнечных батарей, вследствие чего требуются большие земельные участки под СЭС (Солнечные электростанции). Большие площади, занимаемые электростанциями, являются противниками новых технологий как один из важнейших отрицательных факторов солнечной энергетики;



– солнечная энергетика в данный момент не входит в число приоритетов российской энергетической и экономической политики. Учитывая это, риски потенциальных частных инвесторов в ВИЭ по-прежнему высоки, и их интерес к развитию проектов не является значительным;

– СЭС не работает после заката и недостаточно эффективно – в ранних и вечерних сумерках. При этом пик электропотребления приходится именно на вечерние часы. Кроме того, мощность электростанции может резко и неожиданно колебаться из-за смены погоды;

– поверхность солнечных панелей нужно очищать от пыли и других загрязнений. При их площади в несколько квадратных километров – это может вызывать затруднения.

– солнечные элементы обходятся недешево. Вероятно, с развитием технологии этот недостаток преодолеют. С 1990 года по 2005 цены на фотоэлементы снижались в среднем на 4 % в год.

2. Разработки в сфере солнечной энергетики

Индустрия кремниевых солнечных батарей плотно закрепила свои позиции на рынке солнечной энергетике. Но конкурентом может ей стать новая технология добывания энергии благодаря полимерным солнечным батареям. Солнечная батарея состоит из большого количества фотоэлементов (полупроводниковых устройств), закрепленных на какой-либо поверхности. Фотоэлементы простых солнечных батарей делают из кремния, что в свою очередь трудно в изготовлении и дорого. Кремний очень распространённый элемент в земной коре, но процесс его добывания очень сложен и дорог. Также возникают проблемы с его утилизацией отработанных фотоэлементов, так как в них еще содержится кадмий. Кремниевые фотоэлементы сильно нагреваются, из-за чего снижается эффективность. Поэтому для них нужно приобретать дорогие системы охлаждения. Полимерный фотоэлемент *состоит из внутренних элементов, которые расположены на гибкой подложке и защищены сверху слоем*. Полимерные солнечные батареи очень легкие и гибкие. Что и является их положительной чертой.

Производство полимерных батарей не наносит вреда окружающей среде. Главным достоинством полимерных батарей является их дешевизна. Затраты на ресурсы минимальны, в разы меньше затрат на кремниевые солнечные батареи. Однако у полимерных солнечных батарей есть существенный минус: *малоеффективное преобразование солнечной энергии*. Самый высокий КПД удалось достичь калифорнийским ученым из Лос-Анджелесского университета. *КПД солнечной батареи достигло 10,6%*. Удачное совмещение различных веществ, которые не мешали бы друг другу в работе, и дало возможность достичь такого результата. Были специально разработаны сопряжённые полимеры с низкой запрещенной зоной. Однажды полимерную батарею прикрепили к одежде. Батарею присоединили к простой шапке. В солнечную погоду, вырабатываемой энергии хватало на работу небольшого радиоприемника. Ученые всего мира заинтересованы в дальнейшем развитии данной технологии. Возможно в будущем будет вырабатываться достаточное количество солнечной энергии и такие ресурсы, как уголь, нефть будут не востребованы [6 – 9].

3. Потенциал солнечной энергетике в России

Солнечная генерация является самым активно развивающимся направлением в энергетике. На территории всех развитых ведется строительство солнечных электростанций и Россия не исключение. До недавнего времени считалось что в России и без солнечной энергии достаточно источников электроэнергии. Однако теперь эксперты считают выгодным строительство солнечных станций на территории России.



Особенно перспективным развитие солнечной энергетики считается в районах, которые находятся далеко от централизованного энергоснабжения. В таких районах электричество вырабатывают на дизельных или электрогенераторах. Они часто выходят из строя и люди попросту остаются без электричества. Подобного рода генераторы сильно загрязняют окружающую среду своими выбросами. Цена на электричество в таких районах очень высока потому, что при транспортировке энергии на большие расстояния возникают большие потери. Поэтому внедрение солнечной энергетики в районах с децентрализованным энергоснабжением решило бы как экономическую проблему, так и экологическую.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В статье была рассмотрена возможность применения солнечной энергии на территории Омской области и сделаны следующие выводы:

- наш регион идеально подходит для развития в ней солнечной энергетики;
- технические разработки в области солнечной энергетики очень динамично развиваются.

В России есть потребность на внедрение солнечной энергетики в районы с децентрализованным энергоснабжением. Однако, её применение сильно затруднено рядом весомых проблем этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Потребление и выработка э/э в Омской обл в 1 п/г 16г увеличилось на 0,3% и 0,2% соответственно // BigpowerNews. URL: <http://www.bigpowernews.ru/markets/document71549.phtml> (дата обращения: 12.03.2017).
- [2] Кукса П. С., Казмирова А. В. Омская энергетика: Анализ конкурентных и инвестиционных возможностей предприятий, выделившихся из состава ОАО АК «ОМСКЭНЕРГО» // Вестник Омского университета. Серия «Экономика», 2006. №1. С. 74 –79.
- [3] По количеству солнечных дней Омск мог бы потягаться с Ялтой // Комсомольская Правда. URL: <http://www.omsk.kp.ru/daily/26204/3090705/> (дата обращения: 12.03.2017).
- [4] Использование солнечной энергии в россии // Энергетика. URL: <http://foraenergy.ru/ispolzovanie-solnechnoj-energii-v-rossii/> (дата обращения: 12.03.2017).
- [5] Невидимова О.Г., Янкович Е.П. Климатические условия развития гелиоэнергетики на территории Западной Сибири // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 1 – 2. <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20163> (дата обращения: 15.04.2017).
- [6] Альтернативные источники энергии // Выкидалка.Ру. URL: <http://vikidalka.ru/2-191293.html> (дата обращения: 12.03.2017).
- [7] Полимерные солнечные батареи // Сайт электрика. URL: <http://elektrik.info/main/news/416-polimernye-solnechnye-batarei.html/> (дата обращения: 12.03.2017).
- [8] Полимерная солнечная батарея // Всё о солнечных батареях и энергии солнца. URL: <http://www.solnpanels.com/polimernaya-solnechnaya-batareya/> (дата обращения: 12.03.2017).
- [9] Солнечная батарея на органических полимерах поставила рекорд // Мембрана. URL: <http://www.membrana.ru/particle/17592> (дата обращения: 12.03.2017).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- А. А. Бубенчиков, к. т. н., доцент «Электроснабжение промышленных предприятий» e-mail: qje1998@mail.ru.
А. О. Вирайло, магистр, -mail: qje1998@mail.ru.
В. И. Беляев, студент, e-mail: qje1998@mail.ru.
В. В. Романов, студент, e-mail: vadromanow12@mail.ru.
М. А. Голованов, студент, e-mail: Interisto99@yandex.kz.
Н. А. Фисун, студент, e-mail: ckara96@mail.ru.



УДК 621.316.1

ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К ВЫБОРУ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С УЧЁТОМ ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ

А. С. Ширяев, С. А. Мельников, Е. Е. Шакенов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Дана характеристика комплексному подходу к внедрению мероприятий по снижению потерь электроэнергии. Комплексный подход подразумевает учёт температуры элементов сети и мероприятий, которые оказывают взаимное влияние друг на друга. Такими комбинациями являются компенсация реактивной мощности и замена провода, компенсация реактивной мощности и замена трансформатора. В реальных схемах, сложность определения минимума приведённых затрат при внедрении мероприятий по снижению потерь обусловлена структурной сложностью электрической сети. На практике внедряются отдельные мероприятия и учёт температуры элементов сети, как правило, не производится. В статье предложен алгоритм, на основании которого возможно определение комбинации мероприятий, соответствующей минимуму приведённых затрат.

Ключевые слова – мероприятия по снижению потерь электроэнергии, комбинация мероприятий, электрическая сеть, линия электропередачи

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальна задача повышения уровня эффективности эксплуатации электрических сетей. Из анализа [1 – 3] можно сделать выводы, что существуют множество методик, позволяющих учитывать многообразие факторов, которые оказывают своё влияние на уровень потерь электроэнергии в электрических сетях. Одной из частных целей расчёта потерь электроэнергии является определения перечня технических мероприятий по их снижению. В рамках технического подхода, требующего капитальных вложений, решение данной задачи основано на рассмотрении следующих мероприятий: замена провода на провод большего сечения, компенсация реактивной мощности на примере БСК, замена недогруженных и перегруженных трансформаторов. Для повышения эффективности данного подхода, в целях минимизации приведённых затрат целесообразно учитывать существенные факторы, такие как тепловые процессы в элементах сети и взаимное влияние мероприятий, которые проявляются при внедрении комбинаций мероприятий.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходя из вышесказанного необходимо описание алгоритма, на основании которого возможно определение минимума целевой функции – приведённых затрат, что достигается с помощью учёта температуры элементов сети и взаимозависимых мероприятий. В реальных производственных условиях решение данной задачи усложняется в связи с большим объёмом информации о параметрах режима и схемы. В данной статье приводятся общие особенности данного подхода.



III. ТЕОРИЯ

Учёт температуры элементов сети. Поскольку нагрузочные потери в электрических сетях в значительной степени приходятся на линии электропередачи и трансформаторы, то по возможности целесообразно учитывать тепловые процессы. Тепловые процессы в данных элементах сети имеют следующие особенности:

1. Активное сопротивление проводов линий электропередач при расчёте потерь приводится к 20 °С в то время, когда реально, сопротивление в значительной степени зависит от параметров окружающей среды, таких как температура воздуха, солнечная радиация, скорость ветра и др. Это в значительной степени определяет величину потерь активной мощности и электроэнергии.

2. Нагрузочные потери в трансформаторах определяются исходя из потерь активной мощности при опыте короткого замыкания, которые приводятся к 75 °С, однако в реальных эксплуатационных условиях эта величина достигает меньших значений.

В общем случае, тепловые процессы в линиях и трансформаторах имеют общую природу и могут быть выражены через известное уравнение теплового баланса:

$$Q_{НАГР} + Q_{СОЛ} = Q_{КОНВ} - Q_{ИЗЛ} \quad (1)$$

где $Q_{НАГР}$ – нагрев провода, обусловленный токами нагрузки; $Q_{СОЛ}$ – нагрев провода, обусловленный солнечной радиацией; $Q_{КОНВ}$ – нагрев, обусловленный конвективной составляющей; $Q_{ИЗЛ}$ – нагрев, обусловленный излучающей способностью нагреваемого тела.

Наиболее подробно с математической моделью учёта температуры в элементах сети можно ознакомиться в [4 – 7].

Учёт взаимозависимых мероприятий. Максимум снижения потерь активной мощности в линии достигается на основании снижения величины реактивной мощности в линии и уменьшения активного сопротивления провода. В трансформаторе на основании увеличения мощности и снижения уровня реактивной мощности.

Алгоритм учёта взаимозависимых мероприятий основан на определении общего числа вводимых мероприятий в сети и отсеивании взаимонезависимых. Общее число вводимых мероприятий в каждом отходящем присоединении определяется через число сочетаний по следующей формуле:

$$N = \sum_{k=1}^n C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (2)$$

Алгоритм отсеивания является наиболее сложным и его описание не в ходит в цели настоящей статьи. На рис. 1 представлен общий алгоритм определения оптимальной комбинации.

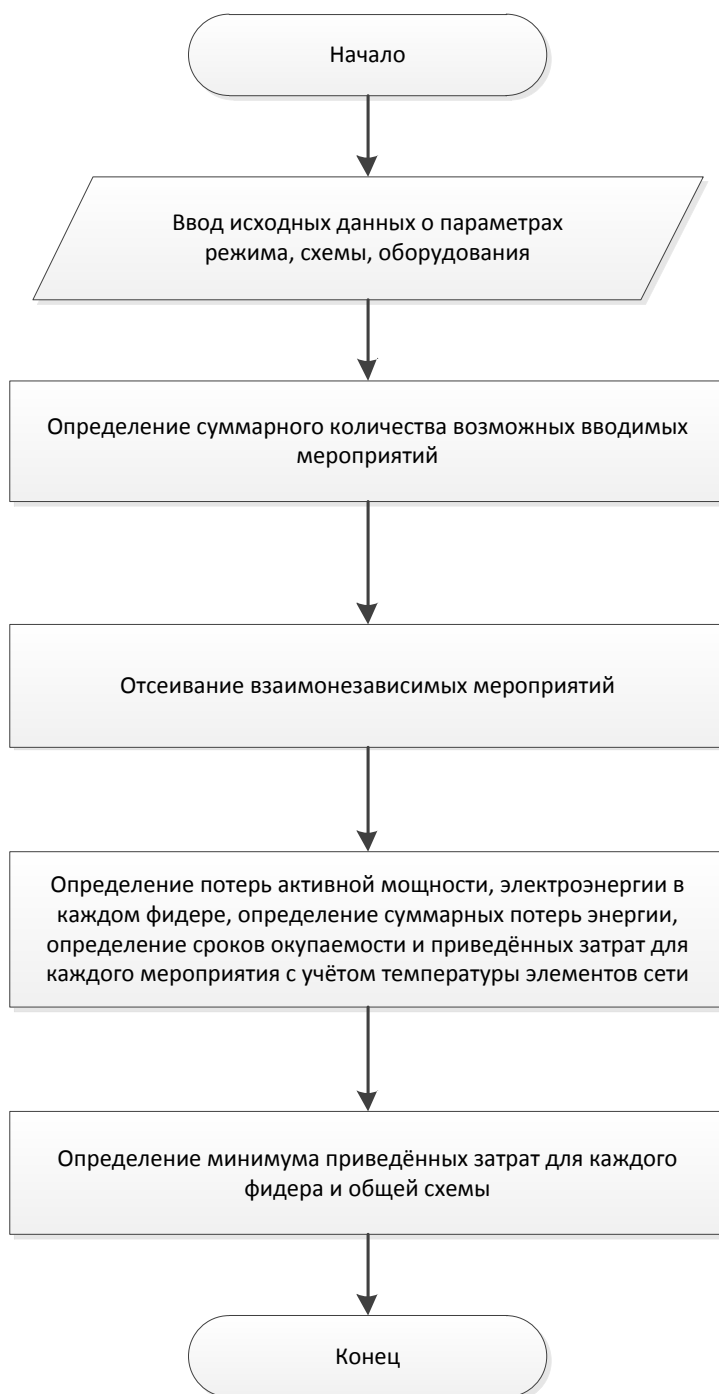


Рис. 1. Алгоритм определения мероприятий комбинации

Минимум приведённых затрат определяется по выражению:

$$Z = 0,14 \cdot K + I_a + C_{\text{ЭЭ}} \cdot \Sigma \Delta W_{\text{П.М.}} \quad (3)$$

где K – величина капиталовложений; I_a – амортизационные отчисления на ремонт и обслуживание оборудования; $C_{\text{ЭЭ}}$ – стоимость электрической энергии; $\Sigma \Delta W_{\text{П.М.}}$ – суммарные потери электроэнергии в сети после ввода комбинации мероприятий.



IV. ВЫВОДЫ

Минимум целевой функции приведённых затрат возможен при вводе комбинаций мероприятий. В рамках традиционного подхода не возможно определение минимума целевой функции, поскольку не учитывается взаимное влияние мероприятий. Моделирование тепловых процессов позволяет наиболее точно определить вектор управляющего воздействия (мероприятие по снижению потерь), что исключает нецелесообразное повышение капиталовложений. Учёт вышеперечисленных факторов позволят в большей мере воздействовать на эффективность эксплуатации электрических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Железко Ю. С. Потери электроэнергии, реактивная мощность, качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
- [2] Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчётов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
- [3] Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии. – 4-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2016. – 648 с.
- [4] Влияние температуры обмоток на нагрузочные потери активной мощности в силовых трансформаторах подстанций / С.С. Гиршин, [и др.] // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии, 2013. № 2 (120). С. 214 – 217.
- [5] Гиршин С. С. Учёт температуры элементов сети при выборе мероприятий по снижению потерь энергии на примере компенсации реактивной мощности // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии, 2013 №1 (117). С. 137– 142.
- [6] Гиршин С. С. Петрова Е. В. Суриков В. И. Расчет и анализ потерь активной мощности в элементах сети на основе аналитических выражений с учетом температурной зависимости сопротивлений // Омский научный вестник, 2013. № 1 (117). С. 152 – 156.
- [7] Петрова Е. В., Гиршин С. С., Ляшков А. А., Бигун А. Я. Аналитическое решение уравнения теплового баланса провода воздушной линии в условиях вынужденной конвекции // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 1–1. С. 218.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А.С. Ширяев, аспирант, e-mail: alex2793@bk.ru
С.А. Мельников, бакалавр, e-mail: urahara95@mail.ru
Е.Е. Шакинов, бакалавр, e-mail: johny.2495@mail.ru



УДК 621.316

О ВЛИЯНИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Е.А. Кукарекин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье изучено влияние реактивной мощности на потери электроэнергии в распределительных электрических сетях 10 кВ. Указаны научные работы и нормативные документы затрагивающие эту тематику. На основе этих работ проведены расчеты, доказывающие увеличение потерь активной энергии и напряжения, вызванные избытком реактивной мощности. Также приведены данные доказывающие снижение пропускной способности электроустановок. На основе полученных результатов сформулированы вывод, позволяющие оценить техническое состояние распределительных сетей при различных значения коэффициента реактивной мощности.

Ключевые слова – реактивная мощность, потери электроэнергии, распределительные электрические сети

1. ВВЕДЕНИЕ

На данном этапе развития энергосистемы нашей страны необходимо произвести качественный переход к энергоэффективным технологиям, которые обеспечат снижение потерь электроэнергии, и следовательно, уменьшат потребность в вводе новых генерирующих мощностей. В данный момент основным документом, определяющим требования к качеству электроэнергии в РФ, является ГОСТ Р 54149–2010 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» (действует с 01.01.2013 г.). Он устанавливает показатели качества и нормы электрической энергии, которая поставляется потребителям электрических сетей различных классов напряжения.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Показатели качества электроэнергии зависят, а зачастую определяются отсутствием или наличием потоков реактивной мощности. В связи с этим в данной работе была поставлена задача – изучить влияние реактивной мощности на технико-экономические показатели сетей и на основе полученных результатов предложить эффективные способы решения проблемы. Объектом для изучения послужили распределительные сети напряжением 10 кВ.

3. ТЕОРИЯ

Ток I , потери мощности ΔP и напряжения ΔU в таких сетях зависят от передаваемой по ним реактивной и активной мощностями, следующими формулами:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U} = \frac{P\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}}{\sqrt{3}U} \quad (1)$$

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{P(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi)}{\sqrt{3}U} \quad (2)$$



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR(1 + \xi \operatorname{tg} \varphi)}{U} \quad (3)$$

где P – активная мощность энергосистемы, кВт; Q – реактивная мощность энергосистемы, кВАр; U – номинальное напряжение, кВ; X и R – индуктивное и активное сопротивления, Ом; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности; $\xi = X/R$ – расчетный коэффициент.

Из приведенных формул (1)–(3) следует, что значение каждого параметра ΔU , ΔP и I зависит не только от активной, но и от реактивной нагрузки сети. Используем величину Π в качестве общего обозначения данных параметров, а величину Π_a в качестве обозначения их значений, соответствующих $\operatorname{tg} \varphi = 0$, определим долю Π , обусловленную передачей по распределительным сетям реактивной мощности, по формуле [1] [4]:

$$d = 1 - \frac{\Pi_a}{\Pi} \quad (4)$$

Подставим в (4) значения I , ΔP и ΔU , которые заранее определили по (1)–(3), и произведем соответствующие преобразования, получим:

$$d_I = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} \quad (5)$$

$$d_{\Delta P} = 1 - \frac{1}{1 - \operatorname{tg}^2 \varphi} \quad (6)$$

$$d_{\Delta U} = 1 - \frac{1}{1 + \xi \operatorname{tg} \varphi} \quad (7)$$

По полученным расчетным данным d_{PI} , $d_{P\Delta U}$ и $d_{P\Delta P}$, при различных значениях коэффициента $\operatorname{tg} \varphi$ построены зависимости, представленные ниже. Значения $d_{P\Delta U}$ вычислены для трансформатора ТМ-2500/10 ($\xi = 25$) и провода марки АС-70 ($\xi = 1,02$).

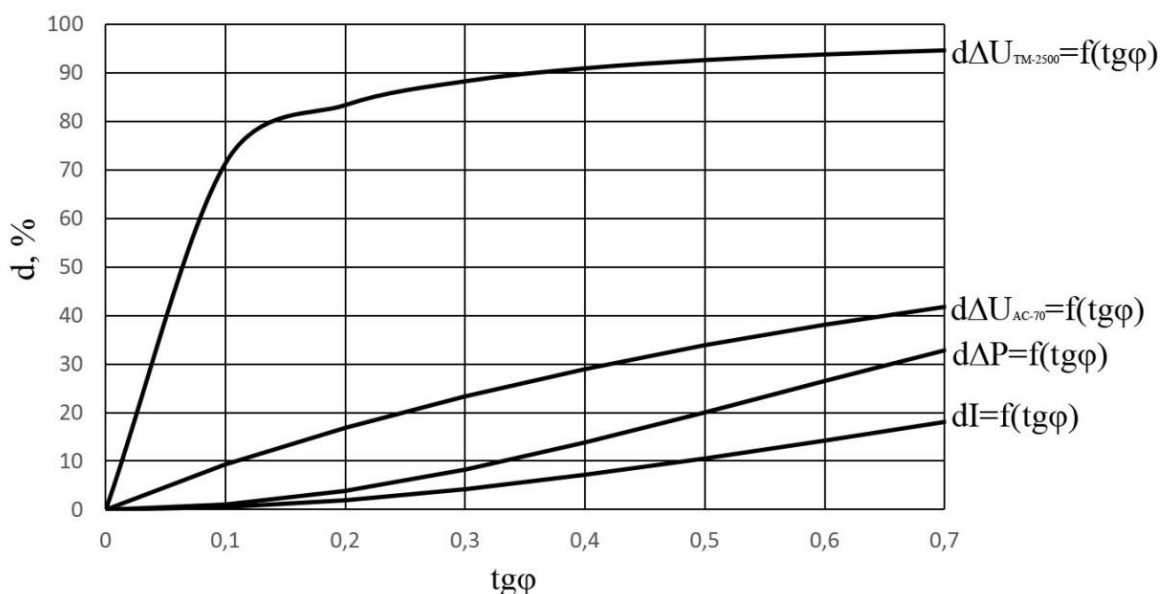


Рис.1. Зависимость $d = f(\operatorname{tg} \varphi)$ для распределительных электрических сетей 10 кВ.



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из результатов можно сделать вывод, что передача реактивной мощности по сети «забирает» существенную часть сечения проводов и мощности трансформаторов (при $\text{tg}\varphi = 0,5$ более 10 %), снижая возможности передачи активной энергии, и приводит к увеличению потерь мощности и электроэнергии (при $\text{tg}\varphi = 0,5$ порядка 20 % суммарных потерь).

Так же видно, что реактивная мощность оказывает серьезное влияние на режимы напряжения в распределительных сетях. По графику зависимостей $d\Delta U = f(\text{tg}\varphi)$ видно, что передача по сети реактивной мощности значительно увеличивает потери напряжения в ней. При значении коэффициента реактивной мощности 0,6 потери напряжения составляют 38 % для проводов и 93 % для трансформаторов. При этом снижение напряжения приводит к возрастанию потерь электроэнергии в электрической сети и уменьшению пропускной способности оборудования сетевых организаций и потребителей. Сейчас, потери напряжения из-за передачи реактивной мощности составляют примерно 1/3 суммарных потерь напряжения в распределительных электрических сетях 6 – 10 кВ [1]

V. ВЫВОДЫ

Из всего этого следует сделать вывод, что реактивная мощность в распределительных сетях среднего напряжения может негативно влиять на их технические параметры. Увеличиваются потери напряжения и активной мощности, снижается пропускная способность установок, что может снизить срок службы оборудования и повлечь за собой экономические убытки.

Список литературы

- [1] Железко Ю. С., Артемьев А. В., Савченко О. В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях Руководство для практических расчетов. – М. : ЭНАС, 2003. – 280 с.
- [2] Методики энергосбережения и повышения качества электроэнергии в распределительных электрических сетях 0,4 – 10 кВ на основе глубокой компенсации реактивной мощности и регулирования напряжения : автореферат дис. ... кандидата технических наук / Ахметшин Азат Ринатович; – Казань, 2013
- [3] Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 648 с.
- [4] Беляевский Р. В. Повышение энергоэффективности территориальных сетевых организаций при оптимизации потребления реактивной мощности: дис. кандидата технических наук / Беляевский Р.В. – Кемерово. 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. А. Кукарекин, магистр 1 курс, e-mail: saray-garaj@mail.ru



УДК 621.3.051.024

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

И. А. Медведев

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – в данной статье рассматриваются системы электроснабжения и линии электропередач с использованием вставок на постоянном токе, а также их технико-экономическое сравнение с трехфазными системами переменного тока. Проанализированы проблемы отключений при передаче на переменном токе и приведены преимущества систем со вставками постоянного тока, а также перспективы, которые открываются при их применении. В частности, рассмотрены реальные примеры эксплуатации линий и систем электроснабжения со вставками постоянного тока и описана выгода от данного нововведения на конкретных примерах.

Ключевые слова – вставки постоянного тока, передача постоянного тока.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для выработки электрической энергии, ее передачи на расстояние, а также распределения все чаще применяется переменный ток. Это обуславливается несколькими факторами, прежде всего, тем, что переменное напряжение, позволяет передавать электроэнергию на большие расстояния с наименьшими потерями, также следует отметить, что электродвигатели переменного тока достаточно просты по своей конструкции, а, следовательно, надежны при эксплуатации. Во время международной электротехнической выставки 1891 года, проходящей во Франкфурте-на-Майне М. О. российский инженер Доливо-Добровольский совместно с Ч. Брауном продемонстрировали более эффективную, по сравнению с используемыми в то время системами передачи энергии на постоянном токе, трехфазную энергосистему с линейным напряжением 15 кВ (40 Гц), тем самым поставив точку в «Войне токов» и с тех пор постепенно трехфазная система завоевала почти весь мир. Однако процессы наблюдаемые в настоящее время связанные со стремительным развитием силовой полупроводниковой техники и увеличение доли возобновляемых источников энергии вдохнули новую жизнь в технологию и проекты высоковольтной передачи энергии постоянным током.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Аварийные отключения демонстрируют некоторую уязвимость линий переменного тока. Одна из наиболее серьезных аварий произошла 14 августа 2003 года в США. В следствии произошедшего короткого замыкания в сетях First Energy Corp. оказались обесточены поначалу всего три линии электропередач (ЛЭП) на северо-востоке США, в следствии этого начали отключаться перегруженные электростанции и подстанции, территория восьми штатов США и канадской провинции Онтарио. Отключение более сотни электростанций, принесли общий экономический ущерб порядка 6 миллиардов долларов, а на ликвидацию аварии ушло более суток. В задачи входит определение положительных свойств передачи электроэнергии с помощью постоянного тока, и выявление областей их применения.



III. ТЕОРИЯ

Одним из возможных вариантов решения проблемы каскадных отключений электроэнергии, может являться внедрение в электроэнергетику применение технологий постоянного тока.

В последние годы своей жизни М. О. Доливо-Добровольский занимался проблемой передачи энергии на большие расстояния, применяя постоянный ток высокого напряжения. Однако, технологии того времени не могли позволить осуществить данные проекты на практике, только после создания мощных высоковольтных ртутных вентилях – силовых ключей (с 1921 г.) такая возможность стала реальной. С развитием силовой полупроводниковой техники в схемах высоковольтной передачи постоянным током (ВПТ) стали применять силовые полупроводниковые силовые ключи с естественной (неуправляемые) и искусственной (быстродействующие и полностью управляемые) коммутацией. Из этого следует, что при применении силовых полупроводниковых устройств передаваемая мощность становится регулируемой и управляемой. Исходя из этого уменьшается вероятность потери электропитания не только при локальных авариях, но и при больших системных отключениях.

В настоящее время технологии высоковольтной передачи электрической энергии постоянным током можно разделить на две группы. К первой из них относятся передачи постоянного тока (ППТ), где электрическая энергия передается на какое-то расстояние с помощью воздушной или кабельной линии постоянного тока (рис. 1). Ко второй – вставки постоянного тока (ВПТ) на подстанции, в которых ЛЭП отсутствует. (рис. 2). ВПТ применяются для обеспечения устойчивой работы энергосистем и связи энергосистем, работающих на разной частоте [1].

В электропередачах постоянный ток используют лишь для транспортировки электрической энергии от удаленной электростанции в приемную систему или из одной системы в другую. Для этого электроэнергия переменного тока, вырабатываемая генераторами передающей системы, должна быть сначала преобразована в энергию постоянного тока, в таком виде передана по линии, затем снова преобразована, но уже в энергию переменного тока и передана в приемную систему.

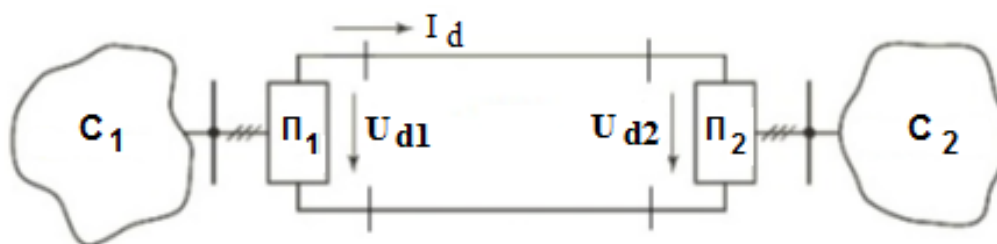


Рис. 1. Структурные схемы ППТ

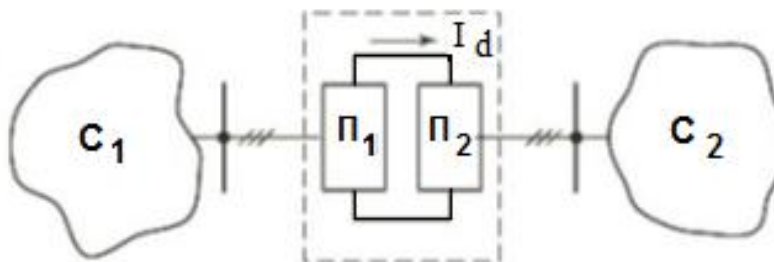


Рис. 2. Структурные схемы ВПТ.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



На рисунках индексом d обозначены: ток I_d и напряжения U_{d1} , U_{d2} , относящиеся к постоянному току (*direct* – прямой).

В схеме, где используется ВПТ, транспортировка энергии на расстояние осуществляется на переменном токе. Постоянный ток здесь играет лишь роль звена, которое полностью развязывает соединенные системы по частоте и, с этой точки зрения, делает их не зависящими друг от друга.

Преобразование электроэнергии осуществляется преобразователями P_1 (выпрямитель) и P_2 (инвертор), связанными с передающей (C_1) и приемной (C_2) системами. Преобразователи при необходимости могут изменить направление передачи мощности, то есть выпрямитель становится инвертором, а инвертор – выпрямителем. При этом направление тока в линии остается неизменным, так как вентили в преобразователях пропускают ток только в одном направлении, но меняется полярность самих преобразователей.

Для кабельных линий (КЛ) преимущества применение постоянного тока заключается в увеличении пропускной способности в 2 – 4 раза в следствии меньшей нагрузки на изоляцию чем при переменном напряжении. Также появляется возможность строить длинные линии. Например, КЛ связывающая энергосистемы Швеции и Финляндии и проложенная по дну Балтийского моря, имеет длину 200 км при напряжении полюса 400 кВ [2].

Также стоит отметить, что преобразователи ППТ и ВПТ оснащаются весьма быстродействующими системами автоматического регулирования. Что в свою очередь позволяет защитить одну энергосистему от возмущений возникающих в следствии аварий другой энергосистемы в отличии от линий переменного тока.

При передаче электроэнергии переменным током значительное влияние на работу энергосистем оказывает устойчивость. При различных видах возмущений система должна восстановить прежний режим, иначе в системах возникают «качания». Применение постоянного тока для межсистемных связей, мы получим не жесткую, а достаточно гибкую несинхронную связь. Что дает нам возможность независимого регулирования частоты в обеих системах и меньшее влияние друг на друга.

Сравним технико-экономические составляющие линий электропередач постоянного и переменного тока. Стоимость электропередачи складывается из капитальных затрат на строительство линий и подстанций, а также эксплуатационных расходов, т.е. стоимости потерь. Если принять одинаковые требования к изоляции, определенные по максимальным напряжениям воздушной линии (ВЛ) постоянного и переменного тока, то получится, что ВЛ постоянного тока по схеме «2 полюса – земля» может пропускать такую же мощность, что и одна цепь ВЛ переменного тока при условии, что общее сечение проводов обеих линий одинаково. Поэтому капитальные затраты на строительство ВЛ постоянного тока меньше, чем ВЛ переменного тока. ВЛ постоянного тока имеет только два провода при том же токе, что и в трех проводах ВЛ переменного тока, потери мощности также составляют две трети от потерь в эквивалентной ВЛ переменного тока. В ВЛ постоянного тока также значительно меньше потери на корону, чем в ВЛ переменного тока. ВЛ постоянного тока не требуют компенсации реактивной мощности, но стоимость оборудования подстанций линий постоянного тока больше, чем линий переменного тока, из-за преобразователей и фильтров. Сравнение стоимости электропередачи переменного и постоянного тока в зависимости от длины линии приведено на рисунке 3, где L – расстояние, S – стоимость, пунктирная линия отображает переменный ток, а сплошная постоянный, расстояние до точки их пересечения есть «экономическая» длина (400 – 700 км) [3].

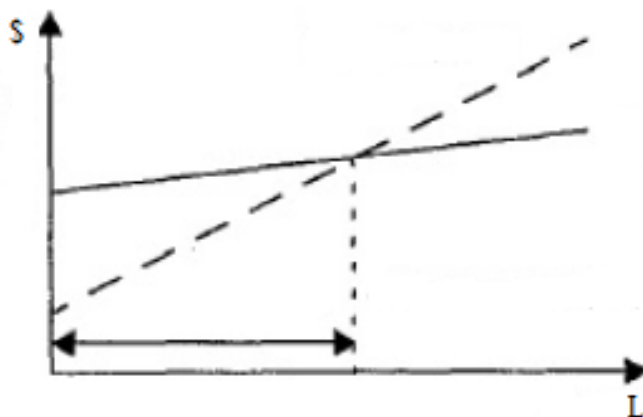


Рис. 3. Сравнение стоимости воздушных линий постоянного и переменного тока.

Таким образом, передачи постоянного тока не имеют аналогов среди электропередач переменного тока на большие расстояния в связи с их технико-экономическими показателями. Передаваемые при этом мощности характеризуются минимальными потерями, тем самым увеличивая качество электроэнергии. Кроме того, повышается надежность ППТ, так как вероятность обрыва двух полюсов линий постоянного тока меньше, чем вероятность обрыва фаз линий электропередач.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С каждым днем потребление электроэнергии и требования к её качеству увеличиваются. Пропускная способность линий передач переменного тока является ограниченной. В результате линии низких классов напряжения являются перегруженными, что приводит к увеличению потерь электроэнергии и, как следствие, к снижению качества электроэнергии, но в то же время многие линии являются недогруженными. Рассмотренные свойства ППТ и ВПТ высоких и ультравысоких напряжений позволяют справиться с этими проблемами и определяют значимую роль в передачах электроэнергии. Применение технологии постоянного тока при реконструкции сетей и создание линий со вставками, способны принести существенную экономическую выгоду, а также защитить от каскадных отключений и их последствий, с которыми на сегодняшний день в полной мере не справляются системы, реализованные исключительно на переменном токе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зотин О. А. В преддверии возрождения постоянного тока. Часть 1. // Силовая Электроника, 2013. №4. С. 15 – 20.
- [2] Рыжов Ю. П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения: учебник для вузов – М: Издательский дом МЭИ, 2011. – 223 с.
- [3] Дьяков А. Ф. Электрические сети сверх и ультравысокого напряжения ЕЭС России. НТФ «Энергопрогресс» корпорации «ЕЭЭК». Москва, 2012. – 144 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

И. А. Медведев, магистр, e-mail: medved-93@bk.ru



УДК 621.548

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ. ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК. УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ

К. С. Ожогова, Н. В. Шкурко, В. В. Леонов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В последнее время все больший интерес проявляется к вопросам сбережения энергетических ресурсов и применения альтернативных (возобновляемых) источников энергии. В данной статье проведен анализ современного состояния ветроэнергетики, с учетом ее возросшей доли в энергобалансе энергосистем. Отображены данные о мировом потенциале использования ветроэнергетических установок. Рассмотрены характерные особенности наиболее часто встречаемых ветроэнергетических установок. Приведены условия, определяющие эффективность ветроэнергетики.

Ключевые слова – Ветроэнергетика, ветроэнергетическая установка, альтернативная энергетика.

1. ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом становится все меньше возможностей применения традиционных источников энергии. В связи с чем уделяется большое внимание мероприятиям по ресурсосбережению и применению альтернативных или нетрадиционных источников энергии [1].

Особое внимание к подобным источникам электроэнергии идет от населения, проживающего в районах, удаленных от центрального электроснабжения, то есть в районах без электрификации. Электроэнергию, вырабатываемую нетрадиционными источниками энергии применяют для постоянного и резервного электроснабжения. Данные источники выгодны для коттеджных поселков, небольших населенных пунктов или стратегических объектов [2].

2. ТЕОРИЯ

1. Современное состояние проблемы ветроэнергетики.

Одним из альтернативных источников энергии является ветроэнергетика – использование солнечной энергии с помощью ветроэнергетических установок (ВЭУ) [1].

При помощи ветроэнергетики можно решить ряд мировых энергетических проблем. Она является безопасной для окружающей среды и не зависит от топлива. Притом ветровые ресурсы есть в любой части мира и их хватает для обеспечения всевозрастающего спроса на электроэнергию. Росту рынка ветровой энергетики способствует ряд обстоятельств. В сумме эти обстоятельства подтолкнули правительства некоторых государств оказать развитию ветровой энергетики политическую поддержку.[3]

Этому свидетельствует то, что за последние десять лет ВЭУ показывают значительный рост генерируемой электроэнергии и наибольший – среди возобновляемых источников энергии. По данным Global Wind Energy Council – GWEC к концу 2016 года установленная мощность объектов, работающих на основе ветра достигла отметки 486,7 ГВт по сравнению с 73,9 ГВт в 2006-м "Рис. 1"

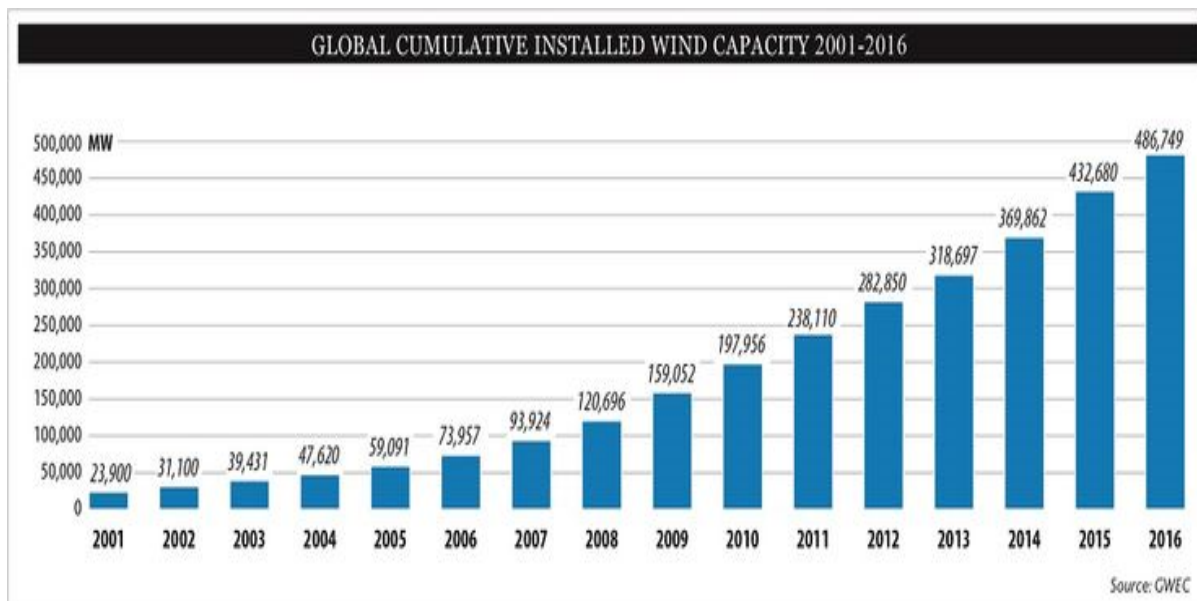


Рис. 1. Рост мощностей ветроэнергетики в мире в 2001 – 2016 годах

Лидирующее место среди европейских стран занимает Германия. Всплеск активности наблюдается в США и Канаде, а в Азии и Южной Америке зарегистрирован рекордный уровень роста доли ВЭС в общей энергосистеме. Ветроэнергетика как сектор энергетики присутствует в более чем в 50 странах мира.

На сегодняшний день, даже при наличии удачных природных условий для ветровой энергетики, Россия значительно отстает от остального мира. На данном этапе в России нет четко сформулированной научно-технической политики и законодательной базы, а также вложений в развитие ветроэнергетики. Из всей суммарной установленной мощности действующих ВЭС на долю России приходится примерно 10 МВт (по данным на 2015 год).

В дальнейшем будущем ветроэнергетика России вслед за мировыми лидерами будет развивать данную отрасль. При этом акцентируя свое внимание на масштаб внедрения ВЭУ в состав "большой энергетики".[4]

2. Характерные особенности ветроэнергетических установок.

Применение ВЭУ для получения электроэнергии является наиболее эффективным способом утилизации энергии ветра. Но еще на этапе проектирования ВЭУ надо учитывать их особенности:

1. Чтобы работа ветроколеса была результативной следует менять частоту его вращения при изменении скорости ветра, сохраняя постоянным коэффициент быстроходности, однако для результативной работы электрогенератора нужно, чтобы частота вращения была почти постоянной;

2. По причине сложности и дороговизны механической системы управления частотой вращения ветроколеса, более продуктивнее и дешевле контролировать частоту его вращения, меняя электрическую нагрузку электродвигателя;

3. Частота вращения ветроколеса находится в обратной зависимости от его радиуса, в связи с этим только небольшие ветроколеса (радиусом не более 2 м) удается соединять с генератором напрямую. В противном случае придется применять повышающие редукторы, удорожающие ветроустановку и ее обслуживание;



4. В конструкции ветроэлектрической установки предусматривается возможность отключения генератора от ветроколеса и вращения его от химического или механического аккумулятора энергии, поэтому систему управления генератором не связывают с работой ветроколеса. Но несмотря на это, для устранения механических ударов, перегрузок и бросков напряжений на выходе генератора, применяют специальные демпфирующие устройства [5].

3. Условия, определяющие эффективность ветроэнергетики.

Чтобы определить целесообразность применения ВЭУ или других энергетических установок, необходимо учесть некоторые факторы: требования потребителей, особенности ветра как энергоносителя, режимы работы ВЭУ и качество получаемой электроэнергии. В сумме все эти факторы дают достоверные результаты.

Ветер является случайным природным явлением и изменчивость его скоростей влечет за собой изменение кинетической энергии ветрового потока. Потому и появляется непостоянство мощности, вырабатываемой ВЭУ. Следовательно для поддержания мощности генератора практически постоянной, предохранения его от перегрузок и обеспечения нужной частоты вращения ветроколеса, а также подключения к ветродвигателю рабочих машин, используют автоматические системы регулирования или ограничения мощности и частоты вращения. В связи с низкой плотностью воздуха снижается концентрация энергии в потоке на единицу площади его поперечного сечения. Поэтому применяют ветроколеса большого диаметра.

Так как ветровой поток меняет еще и направление, ветродвигатели снабжают системами автоматической ориентации.

Ну и последнее, бывают периоды энергетического затишья, когда скорость ветрового потока очень мала для работы ветроагрегата. По этой причине устанавливаются аккумулирующие устройства, резервные двигатели или установки, дублирующие мощность ветроагрегата, которые продолжают бесперебойную и по заданному графику подачу потребителю механической, электрической энергии, теплоты, воды или продукта технологической переработки.

Эффективное использование ветроэнергетики в каждом определенном случае определяется суммой факторов: высокие значения Среднегодовой скорости ветра и соответствующая повторяемость его направлений; возможно меньшие вариации скоростей ветра и их направлений; наилучшее совпадение графиков изменения мощности ветрового режима и потребности в энергии; наличие транспортной сети и удобных для установки ВЭУ или ВЭС участков; отсутствие при работе ветроустановок шума, помех радио- и телевизионному приему и др. [6].

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день весь мир каждый год расходует большое количество электроэнергии, и при этом остро стоят проблемы загрязнения окружающей среды, изменение климата, связанное с жизнедеятельностью человека, резкое снижение сырьевых запасов полезных ископаемых.

Использование ВЭУ частично позволяет решать эти проблемы. В настоящее время ветроэнергетика является одним из перспективных источников энергии в мире, ведущим направлением энергосбережения и использования экологически чистой энергии. Данная отрасль энергетики существует более чем в 50 странах мира. В России разработана «программа развития ветроэнергетики РАО «ЕЭС России»». В рамках этой программы уже действует ряд сухопутных и морских ВЭС.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



В мировой ветроэнергетики наблюдаются тенденции к снижению себестоимости вырабатываемой ВЭУ электроэнергетики и снижению срока их самоокупаемости [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Соколовский Ю. Б., Соколовский А. Ю. Современные ветроэнергетические установки (обзор) // Russian Internet Journal of Electrical Engineering, 2015. Vol. 2, no. 4. С 27 – 36.
- [2] Шепелев А. О., Артамонова Е. Ю. Классификация современных ветроэнергетических установок по мощности // "Молодой ученый", 2016. № 17. С 92 – 96.
- [3] Дзензерского В. А., Пивняк Г. Г. Ветроэнергетика информационно–аналитический обзор по альтернативной энергетике.– Днепропетровск : НГУ, 2014. – С 156.
- [4] Современное состояние и перспективы развития ветроэнергетики. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://www.hintfox.com/article/sovremennoe-sostojanie-i-perspektivi-razvitija-vetroenergetiki.html> (Дата обращения: 12.04.2017)
- [5] Городов Р. В., Губин В. Е., Матвеев А. С.. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – С 294.
- [6] Альтернативные источники энергии. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: http://otherreferats.allbest.ru/physics/00161247_0.html (Дата обращения: 12.04.2017)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

К. С. Ожогова, магистр, e-mail: privetomsk@mail.ru
Н. В. Шкурко, магистр, e-mail: privetomsk@mail.ru
В. В. Леонов, магистр, e-mail: privetomsk@mail.ru



УДК 621.313.05

ОХЛАЖДАЮЩИЕ СРЕДЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Д. В. Скворцов, А. Г. Михайлов, С. С. Плотников

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – в связи с нагревами, а порой и перегревами, электрических машин, важную роль играет правильный выбор охлаждающего вещества. Различные среды имеют как свои преимущества, так и недостатки. В данной статье проводится обзор наиболее широко применяемых охлаждающих сред, рассматриваются их основные характеристики и свойства: трансформаторное масло, хлористые углеводороды, кремнийорганические, фторорганические жидкости, ферромагнетики (феррожидкости), воздух, гексафторид и некоторые другие вещества.

Ключевые слова – охлаждение, ферромагнетики, масло, газы, диэлектрики

I. ВВЕДЕНИЕ

В качестве охлаждающих сред в электрических машинах применяются жидкости и газы. Их главным отличием от твердых тел является свойство легкой подвижности. Это свойство выражается в способности жидкостей и газов приобретать форму заполненных ими сосудов. Жидкостью или газом называется такое тело, в котором в состоянии покоя всякое сопротивление изменению формы равно нулю. Все нетвердые тела подразделяются в механике на три группы: жидкие тела с большой вязкостью; жидкие тела с малой вязкостью; газообразные тела. В отличие от твердых тел для жидкостей и газов характерно, что в них не деформация, а скорость деформации пропорциональна прилагаемым условиям. Этот признак может быть принят за одно из определений нетвердых тел, которое основано на опыте: при малой скорости деформации сама деформация может быть значительной даже в случае приложения небольших сил.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Введение в полость закрытой электромашин жидкого теплоносителя резко увеличивает коэффициенты теплоотдачи внутри нее и усиливает перенос теплоты от активных частей к оболочке. Это дает возможность снизить нагрев обмотки при той же мощности машины и прежней температуре оболочки, либо увеличить мощность при обычном нагреве активных частей и повышенной температуре оболочки. Чтобы повысить эффективность и продлить срок службы электрических машин, необходимо подбирать охлаждающую среду с наиболее подходящими характеристиками, которые мы и рассмотрим в данной статье.

III. ТЕОРИЯ

Промежуточный жидкий теплоноситель может полностью заполнять полость машины или подаваться на охлаждаемые поверхности в виде струй. Теплоноситель контактирует с обмоткой, но при этом срок службы изоляции достаточно велик. В электрическом машиностроении существует большое количество жидких диэлектриков, которые не действуют на изоляцию машины, имея высокие показатели по удельному объемному сопротивлению, пробивному напряжению и стабильности.



Трансформаторное, а также другие электроизоляционные масла нефтяного происхождения обладают рядом преимуществ, которые и обеспечили им весьма широкое применение. Они относительно дешевы и могут изготавливаться заводами нефтеперерабатывающей промышленности в больших количествах. При качественной очистке их $\text{tg}\delta$ мал, а электрическая прочность весьма высока.

Трансформаторное масло, в основном, применяют в двух случаях: 1. масло заметно улучшает электрическую прочность изоляции; 2. оно увеличивает отвод тепла, выделяемого в качестве потерь в обмотках и сердечниках. Плотность примерно равна $0,87...0,90 \text{ Мг/м}^3$. Коэффициент объемного расширения – $0,00065...0,00066 \text{ К}^{-1}$. Удельная теплоемкость трансформаторного масла приблизительно равна $1,5 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, теплопроводность – $1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. При свободной конвекции масло способно отводит энергию тепловых потерь в $25...30$ раз лучше воздуха.

В настоящее время наибольшим спросом пользуются синтетические жидкие диэлектрики на основе хлорированных углеводородов. Ключевыми факторами при этом являются: небольшая стоимость и относительно высокие эксплуатационные свойства.

Совол – негорючее вещество, которое не окисляется, этот фактор является главным преимуществом перед маслами на основе нефти. Данному веществу присущи некоторые недостатки: плотность примерно равна $1500...1560$, температура вспышки $205...230 \text{ }^\circ\text{C}$, застывает при $+5 \text{ }^\circ\text{C}$, электрическая прочность при температуре $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, значительная вязкость в местах рабочих температур, из-за чего использование его в чистом виде невозможно; его стоимость примерно в 10 раз выше, чем у трансформаторного масла.

Фторуглеводородные жидкости используются для заполнения небольших трансформаторов, различных блоков электронного оборудования и иных электрических аппаратов тогда, когда рабочие температуры слишком велики для других жидких диэлектриков. Некоторые перфторированные ЖД применяются для создания испарительного охлаждения.

Жидкие диэлектрики на основе кремнийорганических соединений являются нетоксичными и экологически безопасными. Им характерны: малый $\text{tg}\delta$, низкая гигроскопичность и повышенная нагревостойкость. Зависимость вязкости от температуры выражается слабо. Данные жидкости весьма дорогие.

В числе газообразных диэлектриков, в первую очередь, необходимо упомянуть воздух, который часто входит в состав электрических устройств и выполняет роль электрической изоляции, дополнительной к твердым или жидким электроизоляционным материалам. При некачественной пропитке изоляции электрических машин, кабелей, конденсаторов, в них могут оставаться воздушные включения, которые нежелательны, так как они, при высоком рабочем напряжении изоляции, являются очагами образования ионизации.

Гексафторид серы (элегаз) имеет электрическую прочность приблизительно в $2,5$ раза выше, чем у воздуха. Элегаз примерно в $5,1$ раза тяжелее воздуха, помимо этого – характерна низкая температура кипения. Он может быть сжат до давления 2 МПа без сжижения. Не токсичен, химически стоек, не разлагается при нагреве до 800°C .

Определенный интерес вызывает водород. Это очень легкий газ, ему характерны высокие показатели удельной теплопроводности и теплоемкости, что является более благоприятными свойствами для применения в качестве охлаждающей среды, нежели воздух. Использование водорода значительно увеличивает качество охлаждения



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



электрических машин. Помимо этого, водород заметно снижает потери мощности на трение и вентиляцию. Старение изоляции обмоток замедляется, так как отсутствует кислород, обладающий окисляющими свойствами, также исчезает риск возникновения пожара при коротком замыкании.

Феррожидкости (магнитные жидкости) – представляют собой седиментационно устойчивые гетерогенные системы на основе разнообразных жидкостных дисперсионных сред. В данной охлаждающей среде присутствует эффект увлечения (перемещения) ее магнитным и электромагнитным полем. Это обстоятельство позволяет при использовании магнитной жидкости в качестве теплоносителя системы охлаждения, к примеру, асинхронного электродвигателя, исключить специальные нагнетательные устройства, характерные для чисто жидкостных систем охлаждения. Охлаждение магнитной жидкостью, вращающейся совместно с магнитным полем ведет к заметному снижению температуры лобовых частей обмоток, по сравнению с простым воздушным охлаждением. Из этого следует, что полное магнитожидкостное охлаждение при небольших изменениях конструкции электродвигателя позволяет увеличить его единичную мощность на 20...25 % или же снизить класс изоляции. Магнитная жидкость не оказывает негативного влияния на изоляцию обмотки.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы рассмотрели наиболее широко применяемые виды диэлектриков для охлаждения электрических машин. Диэлектрические материалы имеют чрезвычайно важное значение для электротехники. Выбрав подходящую среду охлаждения, можно улучшить показатели: увеличить коэффициент полезного действия, снизить затраты на ремонт и обслуживание, продлить срок службы электрических машин и некоторые другие факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гриднев С. А. Диэлектрики с метастабильной электрической поляризацией. М.: Высш. шк., 1997. 47 с.
- [2] Старовойтов В. А. Магнитожидкостная подвижная опора / Вестн. КузГТУ, 1998, № 5 (6). С. 39 – 41

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д.В. Скворцов, магистр ОмГТУ, e-mail: D_V_S_93@bk.ru

А. Г. Михайлов, зав. кафедрой «Теплоэнергетика», к. т. н., ОмГТУ, e-mail: D_V_S_93@bk.ru

С. С. Плотников, магистр ОмГТУ, e-mail: D_V_S_93@bk.ru



УДК 621.311.2

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Н. В. Шкурко, К. С. Ожогова, А. А. Бубенчиков, В. В. Леонов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье описано понятие пропускной способности электропередачи, представлен обзор современных способов повышения пропускной способности электропередач по условию статической устойчивости в распределительных сетях. Приведены причины низкой пропускной способности электропередачи и преимущества ее улучшения в линиях электропередачи. Подтверждена актуальность поиска решений вопросов улучшения пропускной способности линий электропередачи в распределительных сетях. Рассмотрены основные проблемы, препятствующие повышению пропускной способности электропередачи.

Ключевые слова – Пропускная способность, линии электропередачи.

И. ВВЕДЕНИЕ

Проблема ограниченной пропускной способности линий электропередач является актуальной в данное время, и ее решение сейчас немаловажно для большинства российских регионов и городов. Используя данные ОАО «ФСК ЕЭС» список регионов пиковых нагрузок содержит 16 областей, к ним можно отнести Краснодарский и Пермский край Московскую, Ленинградскую, Нижегородскую, Архангельскую, Волгоградскую области, республику Коми, Карелия, Тува, Дагестан и другие. На данный период времени потребление электроэнергии в этих регионах в несколько раз превышает показатели, которые были указаны в Энергетической стратегии РФ до 2020 года, и электропотребление в них нескончаемо увеличивается. Большой рост потребности в электроэнергии за период последних десяти лет вызывает необходимость безостановочного увеличения и развития распределительных сетей энергоснабжающих предприятий [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Электросетевая промышленность быстро устаревает. Степень изнашивания установок или оборудования составляет почти 70 %, из них 60 % потерь энергии при транспортировке отводится на линии электропередач. Немаловажную задачу составляет пониженная механическая прочность проводов, в следствии чего происходят обрывы на линиях электропередач и тем самым снижается качество передаваемой электроэнергии. Одним из ключевых направлений улучшения ситуации – проведение глубокой модернизации электросетевого хозяйства с ориентиром на энергоэффективность. Возможны следующие варианты модернизации:

- возведение вспомогательных ВЛ;
- замена проводов на большие поперечные сечения;
- увеличение напряжения;
- расщепление фазы.

Перечисленные варианты хоть и используются сейчас, но содержат перечень отрицательных моментов. К примеру, при возведении вспомогательных ВЛ нужны



крупные инвестиции, трата времени и суэта с получением разрешения на строительство. Следующий по списку метод редко подходит, так как с увеличением сечения сталеалюминиевого провода увеличивается и его масса, что при заданных стрелах провеса, ветровых влияний и обледенении оказывает повышенные нагрузки на составляющие части опор, на которые старые опоры уже не рассчитаны, и возникает необходимость в установке дополнительных опор линий электропередач. Тем не менее, при возведении новых опор могут возникнуть серьезные проблемы в густонаселенных районах, районах частных земель, в национальных парках, заповедниках и других местностях с запретом на строительство. Третье и четвертое направления почти всегда приводят к тем же проблемам, что и второе – появляется необходимость реконструировать линию по всей длине.

Исходя из этого, возникает значительная надобность увеличения передаваемой мощности воздушных линий, по возможности, обходить стороной строительство новых линий, глобальной реконструкции существующих линий, подвески новых цепей и т.д. [1].

III. ТЕОРИЯ

Под пропускной способностью электропередачи подразумевается максимальная активная мощность трех фаз электропередачи, которую допускается передавать в длительном установившемся режиме с учетом режимно-технических ограничений. Факторы, препятствующие повышению пропускной способности:

а) предел передаваемой мощности по условиям статической устойчивости генераторов электростанций, которые работают в участках системы, объединяемых данной электропередачей;

б) допустимый ток по нагреву проводников;

в) допустимые отклонения напряжения в распределительных;

Для улучшения пропускной способности электропередач по условию статической устойчивости применяют разного рода варианты, которые будут рассмотрены ниже.

1. Строительство вспомогательных питающих подстанций. При этом к ним за счет сооружения участков сети присоединяются ближайшие потребители. В результате к линиям от существовавших ранее подстанций можно запитать дополнительные нагрузки.

2. Повышение режимного (рабочего) напряжения. При данном методе результативность увеличения пропускной способности получится не так высока. Напряжение увеличится только на 10 – 15 % и на такую же величину увеличится пропускная способность.

3. Использование проводов с развитой поверхностью. Увеличить поверхность провода можно разными способами и при этом ничего не делать с площадью сечения. К примеру, выполнить провод многожильным, с джутовым наполнителем в повивах, либо полым. В результате, охлаждение провода будет улучшено и появится возможность увеличить допустимый ток на провод.

4. Учет влияния температуры среды, окружающей провод. Известно, что при разной температуре окружающей среды провода будут охлаждаться по-разному.

5. Использование одиночных проводов с меньшей площадью сечений в расщепленной фазе. При этом площадь сечения фазы постоянна и результат от увеличения допустимого тока будет достигнут при увеличении поверхности охлаждения проводов данной фазы. Обоснованно, при m проводах в фазе с диаметром d_m поверхность проводов фазы на единицу длины линии равна $F_m = n\pi d_n$. Увеличение поверхности проводов будет рассчитываться как:



$$\delta F = \frac{F_n}{F_m} = \frac{d_n}{d_m} \cdot \frac{n}{m} \quad (1)$$

6. Изменение (увеличение) площади сечения проводов воздушных ЛЭП. Площадь сечения проводов влияет на допустимые токи по нагреванию, которые выбираются в зависимости от допустимых температур проводов. При проектировании длительно допустимые токи и надлежащие им пропускные способности выбирают учитывая допустимую температуру нагревания проводов линии, принятой 70 °С, и температуры воздуха + 25 °С. Связанность допустимого тока и площади сечения провода не линейна, и при увеличении площади сечения допустимая плотность тока уменьшается. Это можно объяснить тем, что при крупных площадях сечения, площадь покрытия провода, которая приходится на 1 мм² сечения, сокращается и поэтому ослабевают условия охлаждения провода.[2]

7. Использование неестественного (форсированного) охлаждения проводников. Этот метод повышения пропускной способности подходит для кабельных линий. Рассмотрим типы неестественного охлаждения:

а) охлаждение с помощью воды, протекающей по трубам, проходящим параллельно кабелям;

б) помещение маслonaполненных кабелей в трубы с циркулирующей водой, трубы расположены отдельно друг от друга;

в) охлаждение маслonaполненного кабеля изнутри путем прокачки охлаждающего масла или воды по центральному каналу, расположенному в центре кабеля;

г) охлаждение жил кабелей газом с высокой теплопроводностью в газоизолированных линиях. В таких линиях для электроизоляции используется особый сжатый газ (элегаз), параллельно улучшающий картину охлаждения проводников линии.

8. Использование криогенных линий. Существуют криопроводящие и сверхпроводящие линии. В криопроводящих линиях проводники остужают до температуры 80 ... 20 К, благодаря чему активное сопротивление уменьшается в десятки раз. В результате образуется шанс серьезно увеличить токи, пропускаемые по проводникам. В сверхпроводящих линиях активное сопротивление равно нулю, и рабочие токи по сравнению с обычными линиями могут быть увеличены в тысячи раз.

9. Прокладка вспомогательных линий, расположенных параллельно.

10. Использование глубоких вводов. Под глубоким вводом понимают систему электроснабжения, позволяющую подвести наивысшее экономически целесообразное напряжение к центрам нагрузки с наименьшим количеством ступеней промежуточной трансформации. Глубокие вводы применяют как при проектировании новых сетей, так и при развитии существующих. Так, если нагрузка питалась по линии, от центра питания, то при ее росте развитие сети можно произвести путем прокладки параллельной дополнительной линии того же напряжения. Вместо этого может оказаться экономически целесообразным сооружение глубокого ввода более высокого напряжения. В итоге пропускная способность по току повышается соизмеримо увеличению напряжения.

11. Увеличение напряжения номинального. Если допустимый ток постоянен, зависимость пропускной способности от номинального напряжения будет линейна. Данный метод при создании проектов обладает практической значимостью при желании использования напряжения 380 В взамен 220 В, 10 кВ взамен 6 кВ, 20 кВ



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



взамен 10 кВ, 110 кВ взамен 35 кВ. При этом пропускная способность повысится в $\frac{380}{220} = \sqrt{3}, \frac{10}{6} \approx \sqrt{3}, \frac{20}{10} = 2, \frac{110}{35} \approx 3$ раза [3].

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен обзор возможных способов повышения пропускной способности линии электропередачи в распределительных сетях, позволяющих выбрать оптимальный метод модернизации линий электропередачи в электросетевом хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Колосов С. В., Рыжов С. В., Сюксин В. Е. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений/ В кн. «Опыт, устремленный в будущее».– Сб. научн. статей. – М.: ЗАО «Электросетьстройпроект», 2013. – 1 с.
- [2] Постолатий В. М., Быкова Е. В., Суслов В. М., Шакарян Ю. Г., Тимашова Л. В., Карева С. Н.. Повышение пропускной способности и управляемости электропередач переменного тока. Problemele Energeticii Regionale, Chişinău, 2008. №3. С. 86 – 103.
- [3] Алексеев Б. А. Повышение пропускной способности воздушных линий электропередачи и применение проводов новых марок // Электро, 2009. № 3. С. 45.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Н. В. Шкурко, магистрант

К. С. Ожогова, магистрант

А.А. Бубенчиков, к. т. н., доцент «Электроснабжение промышленных предприятий»

В. В. Леонов, магистрант



УДК 621.577.22

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

К. М. Пивоварова, А. С. Уланова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р, главными стратегическими ориентирами являются: внедрение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, энергетическая безопасность, энергетическая эффективность экономики, бюджетная эффективность энергетики, экологическая безопасность энергетики. Отсюда делаем вывод, что рассматриваемая тематика статьи является актуальной. Основная цель – рассмотрение комбинированной схемы теплоснабжения на базе электрического котла и теплового насоса. Задачами являются рассмотрение совместной работы схемы теплового насоса и котла, выбор источника для теплового насоса.

Ключевые слова – тепловой насос, электрический котел.

I. ВВЕДЕНИЕ

Затрачиваемые ресурсы на топливо для целей теплоснабжения в нашей стране очень велики и составляют более 50 %. Значительная часть существующих систем централизованного теплоснабжения используют в качестве источников тепла теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), в остальных системах источниками тепла служат, чаще всего котельные. Одним из наиболее рациональных способов повышения энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения является внедрение теплонасосных установок (ТНУ), позволяющих с наименьшими затратами в комплексе решать проблемы экономии первичных энергоресурсов и снижать вредные выбросы от промышленных установок в окружающую среду.

Тепловой насос – установка для передачи теплоты от более холодного теплоносителя к более горячему за счет затраты работы или подвода внешней энергии. Их используют для выработки тепла в системах централизованного и индивидуального теплоснабжения. Тепловые насосы более экономичны и безвредны, чем котлы на газовом или твердом топливе, значит, являются хорошей альтернативой для использования не только в системах индивидуального теплоснабжения жилых домов и коттеджей, но и для централизованных источников. В основе принципа действия лежит отдача и поглощение теплоты рабочего тела «хладагента» в цикле при его переходе из одного состояния в другое.

Схема совместной работы котла и теплового насоса в целях централизованного теплоснабжения является нововведением и актуальной темой для развития данной идеи. Исследованием таких схем занимаются О. Ш. Везиришвили, Л. А. Огуречников, Chen Lingen они проводят термодинамический анализ, технико-экономические обоснования использования тепловых насосов в системах теплоснабжения.

II. Теория

В связи с различными климатическими условиями в течение года, в системах теплоснабжения требуется варьирование тепловой нагрузки в зависимости от температуры наружного воздуха. Следовательно, в наиболее холодные периоды года тепловые насосы должны производить максимальную температуру греющего



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



теплоносителя. Увеличивающийся температурный перепад между холодным и горячим теплоносителем существенно повышает затраты энергии в теплонасосной установке. Поэтому в системах теплоснабжения тепловые насосы принято совмещать с пиковыми котельными. Основная часть тепловой нагрузки обеспечивается тепловым насосом, при увеличении тепловой нагрузки вода «догревается» в котлах до необходимой температуры, установленных после теплового насоса.

В качестве источника тепла предлагается использовать грунт. Так как на определенной глубине его температура постоянна в течение всего года. Это является преимущественным вариантом среди других источников тепла в условиях изменения температур в течение года в окружающей среде. Трубопровод, в котором циркулирует антифриз, прокладывают в земле на 30...50 см ниже уровня промерзания грунта в конкретном регионе. Данные для города Омска см. Табл. I [3].

ТАБЛИЦА I
ГЛУБИНА ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА

Город	Грунт	
	Глина, суглинки	Пески, супеси
Омск	200 см	220 см

На Рис. 1 представлено изображение комбинированной системы теплоснабжения с использованием котлов и грунтового теплового насоса.

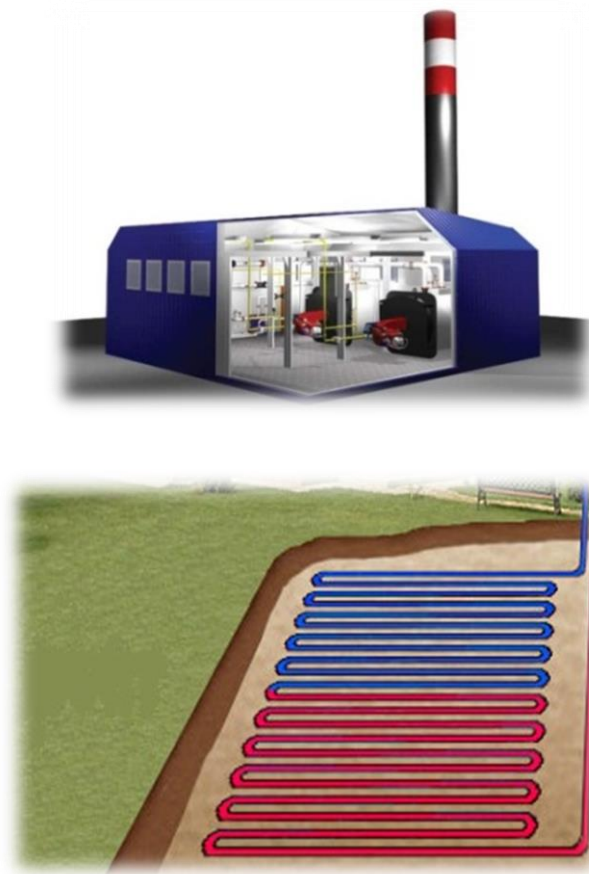


Рис. 1. Комбинированная схема источника тепла



III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тепловые насосы становятся развивающейся технологией в промышленности и повседневной жизни, их использование позволит снизить экологические проблемы и улучшить экономические показатели. Внедрение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии это главная задача не только промышленности, но и всех сфер жизни в целом. В данной статье рассмотрена комбинированная схема работы теплонасосной установки и котла.

Применение тепловых насосов в энергетических установках, работающих на возобновляемых, вторичных или бросовых источниках, является одним из перспективных направлений развития теплофикации и повышения общей эффективности использования топлива. Включение теплонасосных установок в состав действующих тепловых электростанций может рассматриваться как альтернатива строительству новых мощностей ТЭЦ в условиях недостатка теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Энергетическая стратегия России на период до 2030 года/ Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.;
- [2] Елистратов, С.Л. Комплексное исследование эффективности тепловых насосов: автореферат дис. доктора технических наук : 01.04.14 / Елистратов Сергей Львович // Новосибирск. – 2011. – 39 с.
- [3] СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений»

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

К.М. Пивоварова, магистрант, e-mail: kсениya-pivovaro@mail.ru;

А.С. Уланова, магистрант, e-mail: ulanova.ru@mail.ru.



УДК 62-67

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ТОПКАХ
ГАЗОТРУБНЫХ КОТЛОАГРЕГАТОВ²

С. В. Тербилов, Е. В. Зиновьев, А. А. Беляков, Д. Г. Мумладзе

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье представлены и проанализированы методики расчета процессов тепломассопереноса в топках газотрубных котлоагрегатов при одновременном действии излучения и конвекции. Также отмечены преимущества таких котлов перед другими агрегатами при использовании их в качестве источника теплоты в автономной системе теплоснабжения. Сделаны выводы о том, что приведенные ниже модели расчета могут служить в качестве инженерных методик, используемых для расчета процессов теплопереноса в топках газотрубных котлов.

Ключевые слова – газотрубный котел, топка, горение, теплоперенос, излучение, конвекция.

I. ВВЕДЕНИЕ

В России как в стране с достаточно суровыми климатическими условиями вопрос теплоснабжения определяется как наиболее социально значимый и топливемкий сектор экономики. Централизованное теплоснабжение в нашей стране является традиционным способом использования энергии топлива для обеспечения различных потребителей теплом, горячей водой, а также питания технологического оборудования в промышленности. Но, на сегодняшний день, в связи с неудовлетворительным состоянием систем теплоснабжения все более широкое применение находят системы децентрализованного (автономного) теплоснабжения. В таких системах, в качестве источника теплоты, довольно часто встречаются газотрубные котлы, которые имеют ряд преимуществ перед другими агрегатами, а ряд классификаций этих котлов по различным признакам позволяет квалифицированно осуществить выбор газотрубного котлоагрегата как источника теплоты для децентрализованной (автономной) системы теплоснабжения. Однако помимо выбора теплогенератора для таких систем, не менее важными задачами являются расчет процессов тепломассопереноса в топке, а также определение способов интенсификации этих процессов в элементах конструкции котла при одновременном действии излучения и конвекции. Данные задачи решаются уже довольно долгое время и сначала они ограничивались только определением суммарного тепловосприятия поверхностями нагрева, которые расположены в топке котла. Поэтому нижеизложенный материал посвящен рассмотрению вопроса расчета процесса теплопереноса в топках газотрубных котлов [1, 2].

II. ТЕОРИЯ

На данный момент существуют четыре основных метода расчета процесса теплопереноса в топках котлов, а именно: модель перемешанного потока, которая в силу своей простоты и соответствия физическим процессам довольно часто используется для предварительных расчетов участков радиационного теплообмена в котлах и различных нагревателях; модель стержневого течения или модель вытянутой

² Работа выполнена в рамках НИР №17057В «Молодой ученый ОмГТУ»



топки, позволяющая определить такой параметр как профиль тепловыделения в пламени; зонная модель топки, которая позволяет проводить расчет потока со значительными градиентами температур, а также исследовать влияние сложных факторов на распределение теплового потока; и нормативный метод расчета топки котлоагрегата, базирующийся на приложении теории подобия к топочному процессу. Все вышеперечисленные методы представлены на рис 1.

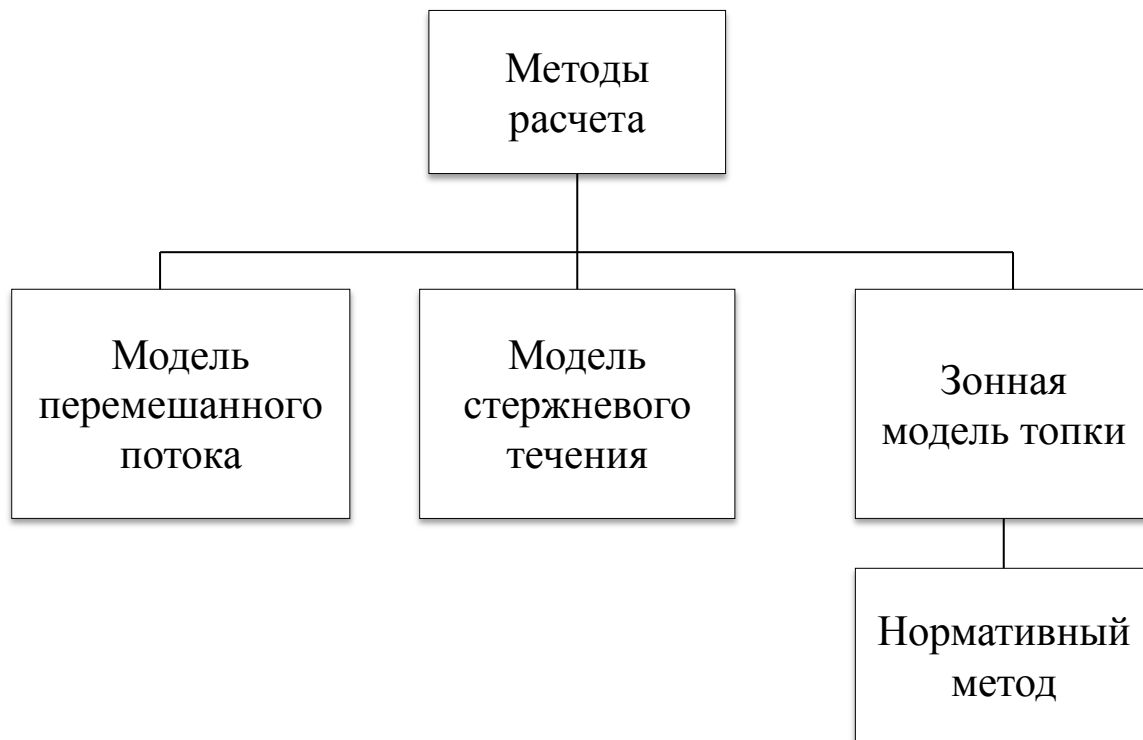


Рис. 1 Методы расчета

Модель перемешанного потока. Данная модель довольно подробно описывает характеристики теплопередачи различных типов топочных устройств. Поскольку эта модель общая, то может применяться к любой конфигурации топки и для всех видов топлива. Также она может использоваться для оценки влияния на характеристики топки и скорости подачи топлива, подогрева воздуха и его избытка, которые меняются в процессе эксплуатации. Рабочая камера топки представляется в виде трех зон: зоны, занятой газом, содержащей факел пламени и продукты сгорания топлива, и две зоны, которые представляют собой поверхности теплоприемников и отражателей. Подразумевается, что для газа задана средняя температура излучения, поверхность поглотителей теплоты является серой и ее температура равна T_1 , характеристика поверхности отражателей является адиабатической. Потери излучения через отверстия в стенках камеры пренебрежимо малы. С учетом принятых допущений количество теплоты, передаваемое от газообразных продуктов сгорания к теплоприемнику излучением и конвекцией:

$$Q_1 = g_{g-l,r} \sigma (T_g^4 - T_1^4) + \alpha_l A_{l,c} (T_g - T_1),$$



где σ – постоянная Стефана – Больцмана; α_l – коэффициент теплоотдачи топочных газов; $A_{l,c}$ – площадь поверхности теплоприемника, которая получает теплоту конвекцией; $g_{g-l,r}$ – общее сопротивление передачи теплоты излучением от газа к теплоприемнику, учитывающие многократные отражения от всех поверхностей, и излучение, отраженное от экранов.

Модель стержневого течения. Модель перемешанного потока описывает осредненные характеристики теплопередачи и не дает никакой информации о распределении теплового потока в топке, и не учитывает некоторые важные параметры, например такой, как профиль тепловыделения в пламени. Именно эти ограничения модели играют существенную роль, если длина топки велика по сравнению с ее гидравлическим радиусом, например в дымогарных котлах или туннельных печах. Для таких случаев больше подходит модель стержневого течения или модель вытянутой топки. Допускается, что газ в произвольном сечении топки имеет равномерное распределение температуры и скорости. Теплота при горении выделяется таким образом, что температура в сечении остается приблизительно одинаковой. Затем предполагается, что радиация вдоль потока пренебрежимо мала, а также все поверхности серые. Ну а поверхности отражателей находятся в состоянии радиационного равновесия. Потери теплоты излучением в топке также пренебрежимо малы.

Тепловой поток к теплоприемнику может быть выражен через локальные температуры газа и поверхности следующим образом:

$$q_l = \frac{g_{g-l,r}}{A_1} \sigma (T_g^4 - T_1^4) + \alpha_l \frac{A_{l,c}}{A_1} (T_g - T_l)$$

Зонная модель топки. Допущение в модели перемешанного потока о том, что температура газа однородна и в модели стержневого течения о одномерности температуры сильно ограничивают их полезность при расчете потока со значительными градиентами температур. В зонной модели учитываются температурные градиенты, а также и прочие. Данную модель возможно использовать и для того, чтобы исследовать влияние различных сложных факторов, например таких как вторичная циркуляция, на распределение теплового потока.

Согласно этой методики, объем топки котла делится на малые зоны. Допускается, что состав, температура, а также другие физические свойства в них имеют постоянные значения. Аналогично и поверхности внутри топочной камеры разбиваются на зоны. Считается, что температура и коэффициент излучения падающих и отраженных потоков в них распределены равномерно. Оговаривается и то, что поверхности серые, отражение энергии и ее излучение рассеяно. Для упрощения расчета коэффициентов сопротивлений излучению между зонами конфигурация этих самых зон выбирается в соответствии с контуром топки.

Для серого газа тепловой поток излучением между зонами i и j :

$$Q_{i-j} = g_{i-j} \sigma (T_i^4 - T_j^4),$$

где g_{i-j} – общее сопротивление излучению для пары зон $i-j$. Считается, что поверхность зон разбита на N поверхностных зон и M объемных зон и что индексы $i = 1, 2, \dots, N$ обозначают поверхностные зоны, а индексы $j = N+1, \dots, N+M$ относятся к объемным зонам.

Уравнение теплового баланса для газовой зоны i записывается в виде:



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



$$\sum_{j=1}^{N+M} g_{j \rightarrow i} \sigma T_j^4 - \sum_{j=1}^{N+M} g_{i \rightarrow j} \sigma T_i^4 - \alpha_k A_k (T_i - T_k) Q_{h,i},$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи для конвекции к соседней зоне с температурой T_k ; $Q_{h,i}$ – суммарный поток в зоне i , проходящий через ее границы.

Нормативный метод расчета. Нормативный метод расчета топki базируется на приложении теории подобия к топчному процессу. В данной методике критерий радиационного теплообмена Больцмана (Bo) и критерий поглощательной способности Бугера (Bu) выступают в качестве параметров, которые определяют безразмерную температуру газов на выходе из топki θ_T'' . Функциональная зависимость, точнее ее вид, которая связывает между собой эти параметры, установлен опытным путем на основании данных по теплообмену в топках котлов.

Использование Критерия Бугера (Bu) в этой методике расчета обеспечивает учет влияния неизотермичности температурного поля и эффекта рассеяния излучения на теплообмен топki.

Безразмерная температура газов на выходе из топчной камеры:

$$\theta_T'' = \frac{T_T''}{T_a} = \frac{Bo^{0,6}}{MBu + Bo^{0,6}},$$

где T_a – адиабатическая температура горения, K ; M – параметр, учитывающий влияние на интенсивность теплообмена относительного уровня расположения горелок, степени забалластиванности топчных газов и других факторов. Формула справедлива для $\theta_T'' \leq 0,9$.

Тепловосприятие топki по балансу:

$$Q_b = \varphi \cdot (Q_m - H_{ж.г.}),$$

где φ – коэффициент сохранения теплоты; Q_T – полное тепловыделение в топке; $H_{ж.г.}$ – энтальпия газов на выходе из топki.

Для того, чтобы посчитать суммарное количество теплоты, переданное в топке котлоагрегата, необходимо определить количество теплоты, переданное излучением и конвекцией.

Количество теплоты, переданное в топке излучением, определяется как:

$$Q_l = 0,5(\varepsilon_c + 1) C_o * \left[\varepsilon_g \left(\frac{g_{cp} + 273}{100} \right)^4 - A_g \left(\frac{t_{cm.g} + 273}{100} \right)^4 \right] F_l,$$

где $\varepsilon_c, \varepsilon_g$ – степень черноты стенки топki и степень излучения газов, соответственно; C_o – постоянная Больцмана; g_{cp} – средняя температура газов, $^{\circ}C$; A_g – приведенная степень черноты газов; $t_{cm.g}$ – средняя температура стенки со стороны газов, $^{\circ}C$; F_l – лучистая поверхность топki котлоагрегата, m^2 .

В свою очередь, количество теплоты, переданное в топке конвекцией:

$$Q_k = \alpha_k \cdot \Delta t \cdot F_k \cdot 10^{-3},$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекции для газов; Δt – средний температурный напор, $^{\circ}C$; F_k – конвективная поверхность топki котла, m^2 .



Тогда суммарное количество теплоты:

$$Q_{\text{сум}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{л}}$$

Разбаланс:

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{н}} - Q_{\text{нр}}}{Q_{\text{б}}} \cdot 100,$$

где $Q_{\text{нр}}$ – это приведенное количество теплоты, переданное в топке. Оно определяется как отношение суммарного количества теплоты, которое передано в топке к расчетному расходу топлива [3, 4]:

$$Q_{\text{нр}} = \frac{Q_{\text{сум}}}{B_{\text{р}}}.$$

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В топках котлов имеет место нестационарное течение газов, которое сопровождается процессами горения и излучения. В связи с этим необходимо применение численных методов решения уравнений газовой динамики, записанных в частных производных, а также уравнения переноса энергии с помощью излучения при определенных начальных и граничных условиях именно для того, чтобы рассчитать сложный теплообмен в подобных устройствах. Более полный и рациональный учет всех взаимосвязанных физических и химических процессов в топке котлов является неоспоримым преимуществом этих методов. Аэродинамическими процессами можно пренебречь только при идеальном перемешивании, полагая, что параметры одинаковы в любом месте реакционного объема. Так что, при разработке и конструировании новых типов теплогенераторов, как правило, используются результаты численного решения уравнений газовой динамики с учетом процессов горения, а для поверочных тепловых расчетов котлов, как в целом, так и их топок, в частности, предпочтительно использовать первые четыре методики. [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Соколов Б. А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности. – 3 -е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 128 с.
- [2] Мазурова О. К., Кузнецов Н. В., Бутенко А. Н. Автономное теплоснабжение. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 143 с.
- [3] Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т. 2 / С 74 Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
- [4] Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). Издание 3-е, переработанное и дополненное. Издательство НПО ЦКТИ, СПб, 1998. 256с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- С. В. Тербилов, старший преподаватель, e-mail: sergyjxxx@yandex.ru
Е. В. Зиновьев, магистр, e-mail: evgeniy.zinovev.2012@mail.ru
А. А. Беляков, магистр, e-mail: 5374748@mail.ru
Д. Г. Мумладзе, магистр, e-mail: daniel_mumladze@mail.ru

УДК 621.316.925

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
РЕЗЕРВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛЭП С ОТВЕТВЛЕНИЯМИА. П. Кислов¹, В. П. Марковский¹, К. И. Никитин², А. А. Левицкий², Д. Ю. Чусовитин²¹Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан²Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Обеспечение дальнего резервирования на линиях с ответвлениями не всегда удается осуществить традиционными токовыми и дистанционными защитами. Это связано с тем, что ток короткого замыкания за трансформатором ответвления может быть меньше максимального рабочего тока ЛЭП. Целью данной статьи является определение наиболее информативных параметров для резервной защиты ЛЭП с ответвлениями, чтобы надежно выявлять короткое замыкание за трансформатором.

Ключевые слова – Короткое замыкание, дальнее резервирование, релейная защита.

I. ВВЕДЕНИЕ

Часто защита РЗ линии W1 с ответвлениями (Рис.1) при коротком замыкании (КЗ) за трансформатором T1 не обеспечивает дальнее резервирование [1, 2, 3].

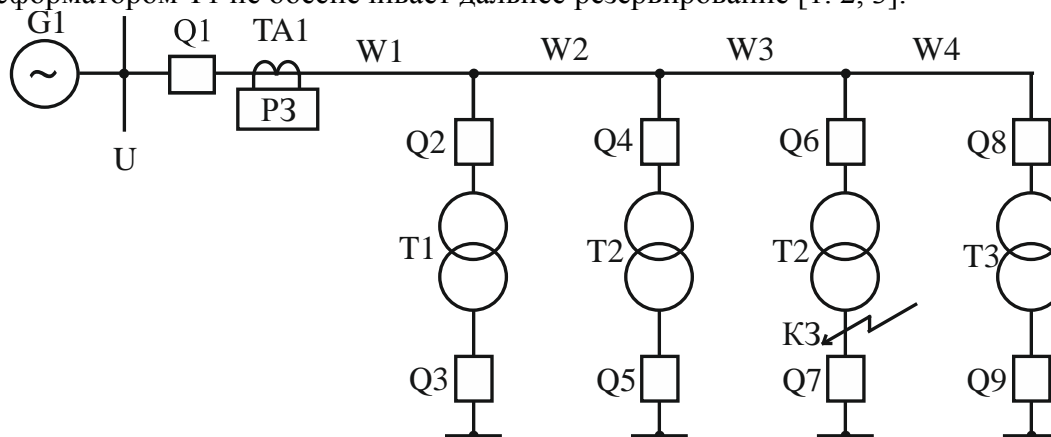


Рис.1. Схема ЛЭП с ответвлениями

Такая ситуация наиболее характерна в электрических сетях, когда ток КЗ за T1 может быть меньше максимального рабочего $I_{P, \text{МАКС}}$ тока линии. Расчеты показывают, что это бывает при следующем соотношении: $10 S_{T, \text{МИН}} \leq S_{\Sigma T}$

Возможно влияние и других факторов на недостаточную чувствительность резервной защиты: большая удаленность от питающей станции, мощность питающей станции имеет малый запас устойчивости и слабую связь с энергосистемой и др.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время разработано несколько устройств [2, 3, 4], которые способны почувствовать такие повреждения. Они основаны на разных принципах, используют разные параметры для выявления подобных повреждений. Задача данной статьи попытаться оценить наиболее информативный параметр для выявления такого КЗ.



III. ТЕОРИЯ

Приведем расчет тока КЗ за трансформатором ответвления с величиной соизмеримой с $I_{P, \text{МАКС}}$ для сети $U=110$ кВ, $S_{T1}=10$ МВА, $S_{T2}=6,3$ МВА, $S_{T3}=2,5$ МВА, $S_{T4}=6,3$ МВА. Приведем наиболее распространенный случай для ЛЭП (рис. 1) с ответвлениями.

Ток $I_{P, \text{МАКС}}$ ЛЭП с учетом рабочего угла $\cos\varphi=0,85$ ($\varphi=32^\circ$) и ток $I_{T, \text{МИН}}$ трансформатора наименьшей мощности:

$$\underline{I}_{P, \text{МАКС}} = \frac{S_{T1} + S_{T2} + S_{T3} + S_{T4}}{\sqrt{3}U_H} (\cos\varphi - j \sin\varphi) = 113,1 - j70 \text{ A};$$

$$\underline{I}_{T, \text{МИН}} = \frac{S_{T3}}{\sqrt{3}U_H} (\cos\varphi - j \sin\varphi) = 11,2 - j6,8 \text{ A};$$

Находим сопротивления:

– системы ($x'_c = 0,1$, $S_C = 200$ МВА)

$$x_c = jx'_c \frac{U^2}{S_C} = j6,05 \text{ Ом};$$

– линий (с сечением проводника 120 мм²):

$$x_{W1} = jx_{ВД} \cdot l_1 = j4,2 \text{ Ом}; r_{W1} = r_{ВД} \cdot l_1 = 1,6 \text{ Ом};$$

$$x_{W2} = jx_{ВД} \cdot l_2 = j8,4 \text{ Ом}; r_{W2} = r_{ВД} \cdot l_2 = 3,2 \text{ Ом};$$

$$x_{W3} = jx_{ВД} \cdot l_3 = j12,6 \text{ Ом}; r_{W3} = r_{ВД} \cdot l_3 = 4,8 \text{ Ом};$$

– трансформатора Т3:

$$z_{T3} = \frac{u_{к\%}}{100} \frac{U^2}{S_{T3}} = 508 \text{ Ом};$$

$$r_{T3} = \frac{p_{\kappa}}{S_{T3}} \frac{U^2}{S_{T3}} = 0,39 \text{ Ом};$$

$$x_{T3} = j\sqrt{z_{T3}^2 - r_{T3}^2} = j508 \text{ Ом};$$

Ток КЗ в точке К1:

$$\underline{I}_{K1, \text{МАКС}} = \frac{U_{CP}}{\sqrt{3} \cdot (j(x_c + x_{W1} + x_{W2} + x_{W3} + x_{T3}) + r_{W1} + r_{W2} + r_{W3} + r_{T3})} = 2,3 - j123,2 \text{ A};$$

Таким образом, видно, что обычная токовая или дистанционная защита с круговой характеристикой срабатывания с центром в начале координат (защиты, реагирующие на модуль тока и сопротивления) не обладает требуемой чувствительностью, так как

$$|I_{P, \text{МАКС}}| = 132 \text{ A} > |I_{K1, \text{МАКС}}| = 123 \text{ A}$$

Построим векторы токов на комплексной плоскости (рис.2).



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



Данный график приведен для случая, когда КЗ в К1 происходит при работе ЛЭП в режиме XX, т.е. без нагрузки. С учетом нагрузки при $\varphi_H=30^\circ$ полный ток равен:

$$\underline{I}_{P,K1} = \underline{I}_{P,МАКС} + \underline{I}_{K1,МАКС} = 110 - j193 A; \quad |I_{P,K1}| = 222 A$$

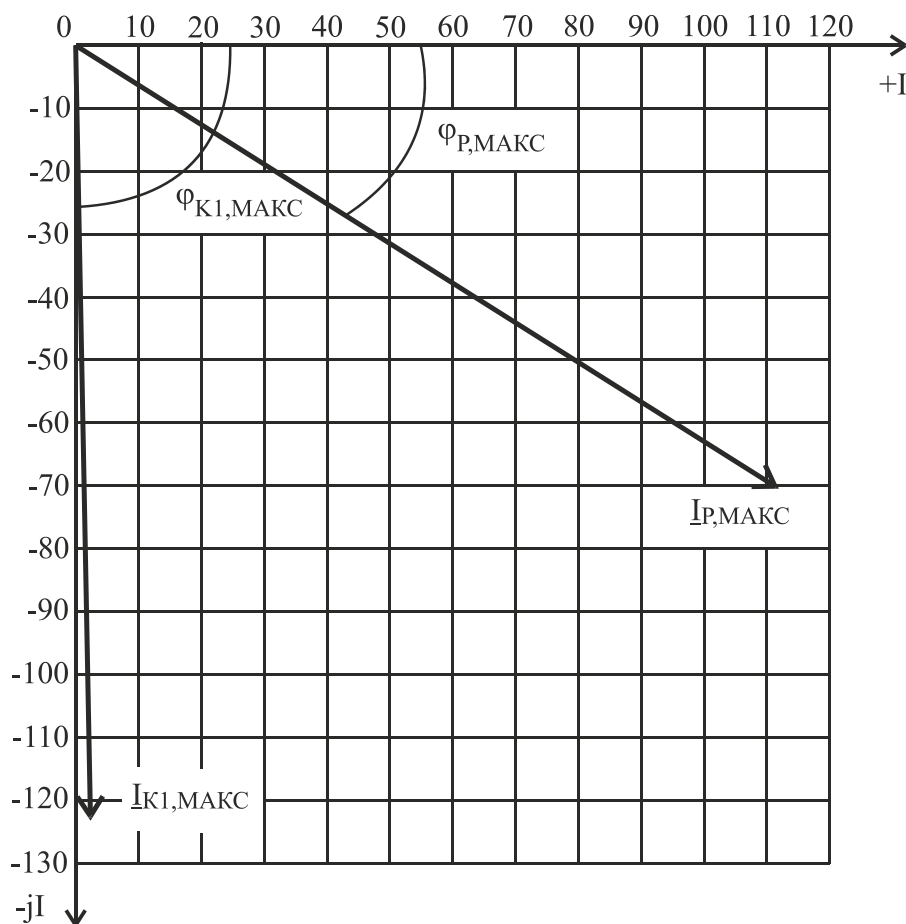


Рис. 2. Векторные диаграммы токов максимального рабочего режима $I_{РАБ,МАКС}$ и максимального КЗ $I_{К1,МАКС}$ за трансформатором ТЗ

Чтобы обобщить анализ и унифицировать результаты, сделаем расчет в относительных единицах, приведенных к номинальному току $I_{Т,МИН}$ трансформатора наименьшей мощности для ЛЭП с ответвлениями. При этом будем варьировать суммарной нагрузкой ЛЭП в виде тока $I_{P,МАКС}$, приведенного к $I_{Т,МИН}$, и углами нагрузки φ_H .

Из приведенного выше примера видно, что он хорошо вписывается в построенный график $(S_{T1}+S_{T2}+S_{T3}+S_{T4})/S_{T3} = 10$ (рис.3).

В данном случае S_{T3} – трансформатор ЛЭП с наименьшей мощностью. При U_H можно для относительных единиц положить $S^* \equiv I^*$, поэтому, поднимаясь с точки 10 оси абсцисс ($I_{P,МАКС}^*$) до тока пересечения с зависимостью $|I_{-H(\varphi=30^\circ)}^* + I_{-K}^*|$, находим на оси ординат (I^*) ее значение около 17.

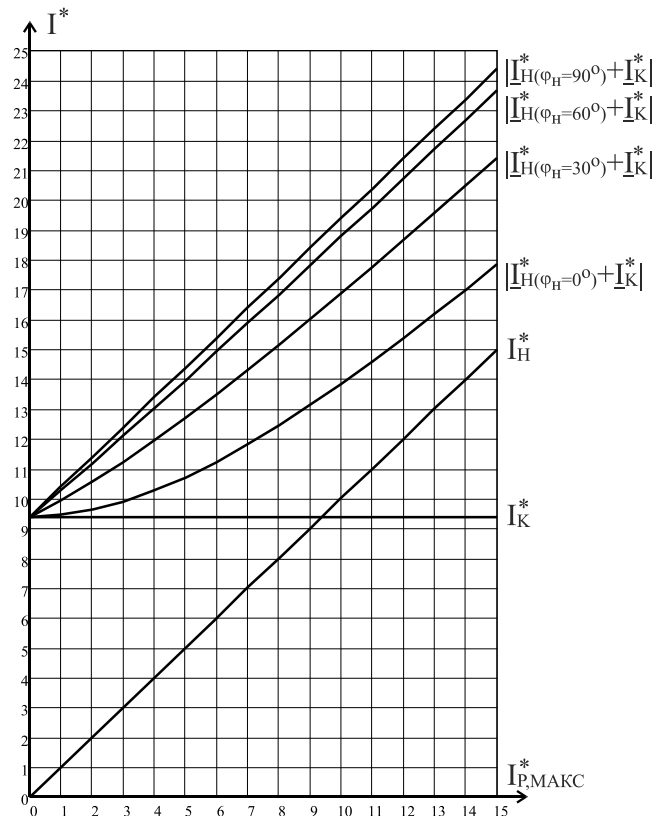


Рис.3. График зависимостей $|I_{H(\varphi)}^* + I_K^*|$ от разных углов нагрузки $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ и 90° и максимального рабочего тока ЛЭП $I_{P,MAXC}^*$ для 35 – 220 кВ

Это же число получим, найдя отношение $|I_{P,K1}| / |I_{T,МИН}| = 222/13 = 17$. Анализ графика может позволить упрощенно оценивать возможность использования защиты для конкретной ЛЭП. Неточность графика обусловлена пренебрежением сопротивления системы (что для КЗ за трансформаторами обычно дает погрешность не более 5 %) и усреднением $UK\% = 10\%$ (что тоже дает приблизительно такую же погрешность и учитывается в отстройках релейной защиты).

Оценим возможность использования МТЗ для защиты для ЛЭП $U = 35$ кВ, с трансформаторами ответвлений: $S_{T1} = 2,5$ МВА; $S_{T2} = 4$ МВА; $S_{T3} = 1,6$ МВА; $S_{T4} = 6,3$ МВА; $S_{T5} = 10$ МВА; $k_{СЗП} = 1,4$; $k_B = 0,9$; $k_{ОТС} = 1,1$. Ток $I_{P,MAXC}$ линии равен:

$$I_{T,МИН} = \frac{S_{T3}}{\sqrt{3}U_H} = 26,4A; I_{P,MAXC}^* = \frac{S_{T1} + S_{T2} + S_{T3} + S_{T4} + S_{T5}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{T,МИН}} = 15$$

Ток срабатывания МТЗ в относительных единицах равен:

$$I_{C,3}^* = \frac{k_{ОТС} \cdot k_{СЗП}}{k_B} \frac{I_{P,MAXC}}{I_{T,МИН}} = 25,6$$

Из графика (рис.3) видно, что прямая горизонталь, проведенная под значением 25 (выше график не построен), и резервная защита не сможет обеспечить



чувствительностью при КЗ за ТЗ, так как суммарный ток $\left| \underline{I}_{H(\varphi=90^\circ)}^* + \underline{I}_K^* \right|$ нагрузки и КЗ (даже для $\varphi_H = 90$, что маловероятно) лежит ниже проведенной горизонтали. Для данной ЛЭП необходимо, чтобы $I_{C,3} \leq (17,8—24,5) I_{T, \text{мин}}$.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для приведенных случаев традиционные дальней резервирование не обеспечивается.
2. Как видно из векторной диаграммы, ток КЗ за трансформатором ответвления в большей степени носит индуктивный характер и не зависит от характера нагрузки.
3. При меняющемся характере нагрузки целесообразно использовать защиту, построенную на основе приращения реактивной составляющей тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рубинчик В. А. Резервирование отключение коротких замыканий в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1985 – 120 с.
- [2] Нагай В. И. Релейная защита дальнего резервирования трансформаторов на ответвлениях ВЛ. Энергетик, 2001. № 3. 28 – 29 с.
- [3] Никитин, К. И. Принципы построения, алгоритмы и модели токовых защит электроэнергетических систем : Монография. – Омск: ОмГТУ, 2012. – 240 с.
- [4] Нагай И.В., Нагай В.И., Киреев П.С. Распознавание удаленных коротких замыканий при наличии переходного сопротивления // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2015. № 3 (539). С. 68 – 72.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- А. П. Кислов, к.т.н, доцент, декан энергетического факультета Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова
В. П. Марковский, к.т.н, доцент, заведующий кафедрой “Электроэнергетика” Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова
К. И. Никитин, д.т.н, доцент, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника» Омского государственного технического университета,
А. А. Левицкий, магистр Омского государственного технического университета, e-mail: sannix829kk@mail.ru
Д. Ю. Чусовитин, магистр Омского государственного технического университета



УДК 621.311.24

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ С СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ

В. В. Леонов, Н. В. Шкурко, К. С. Ожогова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье поставлена актуальная проблема по использованию невозобновляемых источников энергии и росту использования возобновляемых источников энергии, на примере ветроэнергетики. Описаны основные виды ветроэнергетических установок, рассмотрены различные виды электрических генераторов, которые используются в установках. Более детально рассмотрены ветроэнергетические установки с синхронными генераторами, выделены основные их виды и принципы работы. Приведены принципиальные схемы синхронных генераторов с постоянными магнитами и тиристорным преобразователем.

Ключевые слова – ветроэнергетическая установка, ВЭУ, синхронный генератор, ветроэнергетика.

I. ВВЕДЕНИЕ

Проблемы с невозобновляемыми источниками энергии в настоящее время становятся всё острее, их запасы постепенно уменьшаются, негативное влияние на экологию при их использовании усиливается, в следствие этого характерной чертой развития современной энергетики является широкое применение передовыми странами мира возобновляемых источников энергии. За последнее десятилетие такое применение возросло в несколько раз. Если рассматривать конкретно ветроэнергетику, то в данный момент лидером в производстве энергии от ветра является Европа. Россия же в свою очередь обладает очень большим энергopotенциалом, в том числе и в области ветроэнергетики.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Развитие ветроэнергетики во всём мире неизбежно влечет за собой и развитие ветроэнергетических установок (ВЭУ). В настоящее время используются ВЭУ двух основных видов – горизонтально-осевые с горизонтальной осью вращения и вертикально-осевые с вертикальной осью вращения. В горизонтально-осевых ВЭУ ветровое колесо имеет крыловидную форму и вращается в вертикальной плоскости. Основной вращающей силой у колес этого типа является подъемная сила лопастей. Ветроколесо же в ВЭУ с вертикальной осью вращения в следствие своей геометрии при любом направлении ветра находится в произвольном положении. Основной составляющей частью ВЭУ является электрогенератор. Из всех возможных классов электромеханических преобразователей энергии практическое применение находят только индуктивные преобразователи, в которых преобразование энергии происходит за счёт изменения индуктивности (потокосцеплений) обмоток, расположенных на двух основных частях – статоре и роторе. В ВЭУ используется несколько видов электрогенераторов, такие как асинхронные, синхронные и асинхронизированные синхронные. В рамках же данной темы более подробно будут рассмотрены ВЭУ с синхронными генераторами.

III. ТЕОРИЯ

Для преобразования механической энергии ВЭУ в электрическую энергию переменного напряжения постоянной частоты в схеме генерирования используют синхронный генератор, работающий параллельно с сетью, при этом мощность энергосистемы значительно больше мощности ВЭУ. К недостаткам такой системы можно отнести то, что при определенных ветровых условиях синхронная машина может переходить в двигательный режим и потреблять энергию из сети, а при резких порывах ветра появляется вероятность её выпадения из синхронизма.

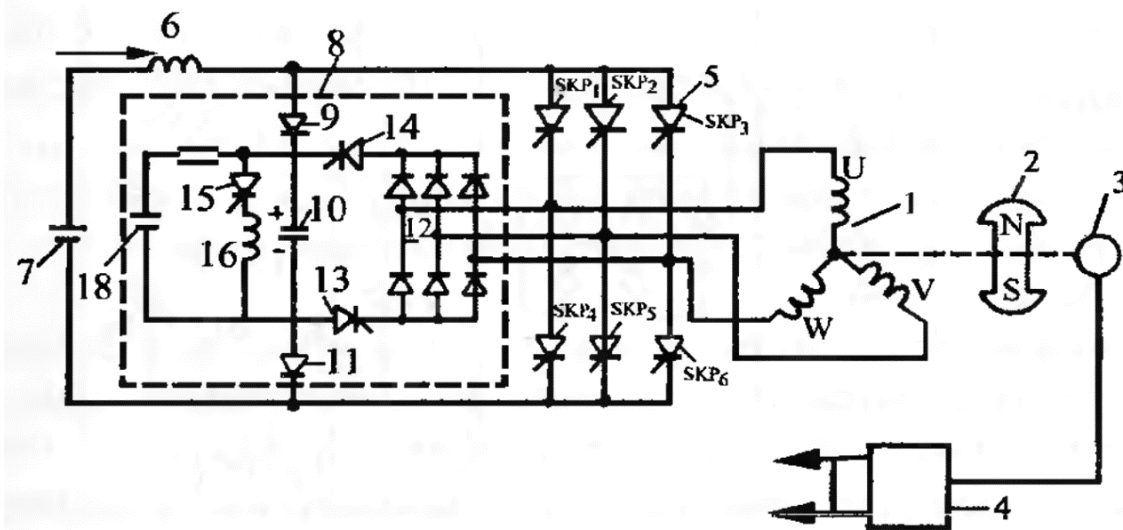


Рис. 1. Схема тиристорной синхронной машины

На рисунке 1 приведен вариант синхронной тиристорной машины [1], которая состоит из статора 1 с обмотками V, U, W, ротора 2, представляющего собой постоянный магнит и индикатора углового положения ротора 3, присоединенного к схеме включения тиристоров 4. Статорные обмотки машины присоединены к источнику постоянного тока 7 через трехфазный тиристорный преобразователь 5 и сглаживающий дроссель 6. В блок управления введена схема принудительной коммутации 8, состоящая из трехфазного диодного моста 12, вспомогательных тиристоров 13, 14, 15, источника постоянного тока 18, конденсатора 10, индуктивной катушки 16, резистора 17 и диодов 9, 11. На рисунке 2 показана принципиальная схема синхронного генератора с постоянными магнитами и инвертором. При допустимости прямоугольной формы выходного напряжения на частоте 50 Гц возможен вариант преобразования на этой частоте, что дает возможность применения генератора в трехфазном исполнении, имеющего по сравнению с однофазным меньший габарит и более высокий КПД [2]. Выше были приведены основные схемы, используемых синхронных генераторов в ВЭУ, на деле же существует множество других схем использования различных синхронных генераторов. Разработаны и применяются синхронные генераторы с продольно-поперечным возбуждением, генераторы с вращающимися выпрямителями и совмещенными обмотками [3].

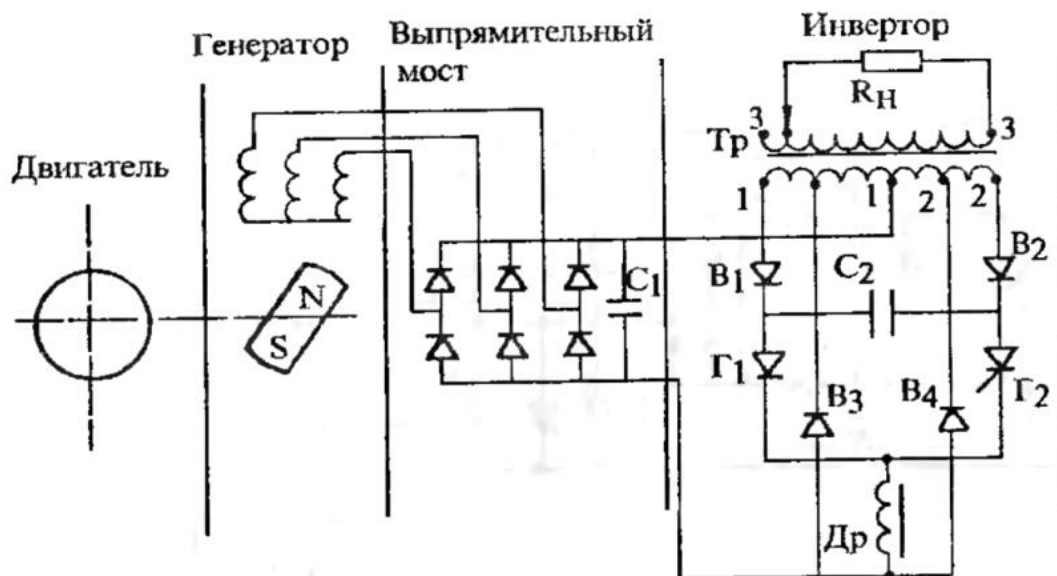


Рис. 2. Принципиальная схема синхронного генератора с постоянными магнитами и инвертором

Также в ВЭУ могут применяться бесконтактные синхронные генераторы с когтеобразными полюсами с частотой переменного тока на выходе, пропорциональной частоте вращения генератора, а также бесщеточные синхронные генераторы с вращающимися выпрямителями. Последние представляют собой синхронную машину, обмотка возбуждения которой питается постоянным током через полупроводниковый выпрямитель от возбудителя переменного тока. Возбудитель является синхронной машиной обращенной конструкции (индуктор неподвижен, якорь вращается), при этом и генератор, и возбудитель с выпрямителем размещаются на общем валу.

Регулирование напряжения при изменении нагрузки осуществляется изменением тока возбуждения возбудителя. При этом мощность регулирования, являющаяся мощностью возбуждения возбудителя, получается небольшой и масса генератора возбуждения тоже невелика. Такая конструкция генератора ВЭУ сложна, достаточно трудоемка в изготовлении и поэтому не нашла применения.

В бесконтактном синхронном генераторе с когтеобразными полюсами (рис. 3) отсутствуют вращающиеся обмотки и возбудитель, и, как следствие, надежность этого генератора выше, чем надежность бесщеточного синхронного генератора [3].

Магнитный поток, создаваемый неподвижной обмоткой возбуждения 1, после прохождения через воздушный зазор с помощью полюсов 2 специальной формы, напоминающих когти, изменяет свое направление с радиального на аксиальное и замыкается в аксиальной части магнитопровода 3, которая может быть расположена как снаружи якоря (машина с внешнезамкнутым потоком), так и внутри него, как показано на рисунке 3. В этом случае имеем генератор с внутризамкнутым потоком типа «сексин». Особенность полюсной системы такого генератора в том, что магнитные потоки рассеяния могут достигать 50% рабочего потока, из-за чего полный магнитный поток в 1,5 раза превышает рабочий поток в зазоре, что требует увеличения размеров и массы аксиальных участков магнитопровода, по которым проходит полный поток. Регулирование напряжения при изменении нагрузки осуществляется изменением тока возбуждения.

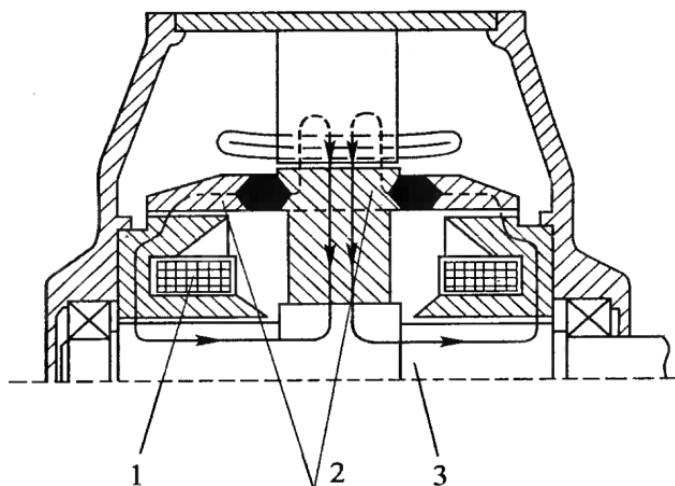


Рис. 3. Синхронный генератор с когтеобразными полюсами и внутризамкнутым магнитным потоком (тип «сексин»)

Тихоходные генераторы могут быть соединены с ветроколесом непосредственно, без редуктора, и работать при переменной частоте вращения в широком диапазоне ее изменения, что позволяет уменьшить габариты агрегата в целом, упростить передаточные узлы и, следовательно, уменьшить расход материалов [3].

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, опираясь на приведенные данные в статье, на преимущества и недостатки синхронных генераторов, такие как технико-экономические данные, степень сложности, надежность работы, себестоимость, срок окупаемости и другие показатели можно говорить о целесообразности дальнейшего поиска и развития систем электрогенерирования с использованием оптимальных бесконтактных низкооборотных синхронных генераторов с автоматической системой регулирования напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ветроэнергетика / Под ред. Д. Рензо: Пер. с англ.; Под ред. Я.И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 28с.
- [2] Харитонов С. А., Коробков Д. В., Макаров Д. В., Гарганеев А. Г. Стабилизация напряжения синхронного генератора с постоянными магнитами при переменной нагрузке // Доклады ТУСУРа, – № 1 (25), часть 1, июнь 2012. С.139 – 146.
- [3] Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэнергетика. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т (ХАИ); Севастополь: Севастоп. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. В. Леонов, магистр, e-mail: privetomsk@mail.ru

Н. В. Шкурко, магистр, e-mail: privetomsk@mail.ru

К. С. Ожогова, магистр, e-mail: privetomsk@mail.ru



УДК 621.438.081.12

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДЕТАНДЕР-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

А. В. Приходченко, И. М. Моисеев, Д. С. Лобов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Выполнен анализ различных схем использования детандер-генераторного агрегата (далее – ДГА) при срабатывании низкопотенциальной энергии пара и газа в рабочем цикле тепловой станции. Разработана схема оптимизации параметров паротурбинной установки с применением технологии, позволяющей создать углубленный вакуум в конденсаторе при использовании ДГА. Разработана схема использования энергии газового потока для выработки электрической энергии и использования энергии уходящих газов, с охлаждением их до температуры ниже температуры окружающей среды (в период работы станции без теплофикации). Приведена оценка экономического эффекта от использования ДГА в качестве охладителя уходящих газов, из газового котла.

Ключевые слова – Детандер-генераторный агрегат, низкопотенциальная тепловая энергия, цикл Ренкина, энергия газового потока.

I. Введение

Актуальность темы исследования ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ востребованностью на тепловых станциях механизма срабатывания достаточно больших объемов низкопотенциальной тепловой энергии, и в основном они связаны с не использованным теплом пара (например, в конденсаторе турбин) или уходящего газа, а также при дросселировании газового потока природного газа с полной потерей избыточной механической энергии.

Потери пара на станциях с теплофикационными отборами связаны с большой выработкой электрической энергии в летний период и низкой потребностью тепловой энергии. Это приводит к большим потокам невостребованной низкопотенциальной тепловой энергии иногда без возможности ее использовать в цикле регенерации или теплофикации.

Еще одной задачей энергоэффективности при существующей системе газоснабжения тепловых станции является то, что давление транспортируемого природного газа перед котлоагрегатами снижается за счет простого дросселирования с потерей избыточной механической энергии, ранее затраченной на сжатие газа в компрессорах.

Остаются высокими потери тепла с уходящими газами, сжигаемого топлива и высокое содержание углекислого газа, что негативно влияет на парниковый эффект.

Поэтому низкопотенциальная энергия является во-первых источником полезной энергии, которую можно использовать в различных схемах теплоутилизирующих установках, во-вторых правильное использование этой энергии может значительно повысить эффективность использования топливно-энергетических ресурсов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В рамках данной статьи поставлены задачи:

1. оценить существующие схемы применения ДГА и теплоутилизирующих установок;
2. разработать проекта теплоутилизирующей установки для тепловой электростанции.



III. ТЕОРИЯ

Использование энергии пара и газа удобно изображать на основе парогазовых циклов Ренкина и Брайтона на T,S – диаграммах. Особенностью данного сочетания парогазовых циклов является использование холода, получаемого из охладителя, и передача этого холода источникам с низкопотенциальной энергией для ее утилизации в контуре регенерации.

Для утилизации низкопотенциальной тепловой энергии все чаще применяется цикл Ренкина с альтернативными рабочими телами, в качестве которых обычно используются органические вещества (класс соединений, в состав которых входит углерод, за исключением карбидов, карбонатов, оксидов углерода и цианидов), с более низкой, чем у воды, температурой кипения [1]. Производство и получение таких органических веществ требует больших дополнительных затрат. Перспективным направлением, является использование в качестве источника холода охлажденные уходящие газы, полученные от сжигания топлива.

В качестве устройства, преобразующего низкопотенциальную энергию уходящих газов, и одновременно охлаждающего их, могут использоваться ДГА. ДГА представляют собой устройства, преобразующие энергию, выделяющуюся при сжигании топлива в электрическую.

Применение ДГА может быть использовано в различных целях, например в [2] описывается процесс получения твердого диоксида углерода (сухой лед), вымороженного из уходящих газов парогазовой установки. В [3] предложен выбор оптимальной схемы использования теплонасосной установки совместно с ДГА, обеспечивающую максимальную термодинамическую эффективность. В [4] описан способ подогрева газа перед ДГА с использованием вторичных энергетических ресурсов. В [5] приведены схемы установок генерации электроэнергии на базе одно- и двухступенчатых ДГА и теплонасосной установки парокompрессионного и воздушного типов.

Конечно же, ДГА не могут составить конкуренции паровым турбинам, но в пересчете на киловатт мощности они требуют гораздо (в 2 – 4 раза) меньших капитальных затрат – в зависимости от мощности ДГА и окупаются они за 2,5 – 3 года, при высокой безопасности для экологии.

Применение ДГА в газовом цикле Брайтона для охлаждения уходящих газов, получение электрической энергии и полезное использование полученного холода – это основные инновации, которые могут привести к экономическому эффекту на многих видах тепловых электростанциях и электроцентралях. Эти инновации необходимы в современную эпоху человечества, когда стоят задачи снижения влияния производства на экологию, роста цен на газ, снижение затрат на собственные нужды и все это при значительном износе основного оборудования станций. Применение современных технологий способно значительно увеличить технико-экономические показатели, повысить надежность и снизить затраты на собственные нужды.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 1 приведена схема возможного использования охлажденных в ДГА уходящих газов для охлаждения пара в конденсаторе паровой турбины, вместо традиционного охлаждения циркуляционной водой.

Поступающий газ из магистрального трубопровода и отработавший газ из газового котла направляются в ДГА, где преобразуется низкопотенциальная энергия газа



в электрическую энергию, а газ превращается в холод. Холод в дальнейшем используется для охлаждения пара, поступающего из паровой турбины в конденсатор.

За счет совершения работы транспортируемого природного газа в комбинированной тепло-утилизующей установке по производству электроэнергии снижается давление газа до требуемой величины и вырабатывается электрическая энергия с помощью ДГА (ТД). Холодный газ перед сжиганием в газовом котле (ГК) используется в качестве хладагента для охлаждения отработавшего в котле газа. Охлаждение производится через охладитель (О), а нагретый газ направляется в компрессор (К) и далее в ДГА, где он охлаждается до температуры ниже окружающего воздуха, при этом вырабатывается электрическая энергия. Далее газ направляется в компрессор, с приводом от ДГА, и в конденсатор (W), где охлаждает трубный пучок конденсатора паровой турбины. Отработавший газ дымососом отводится в атмосферу

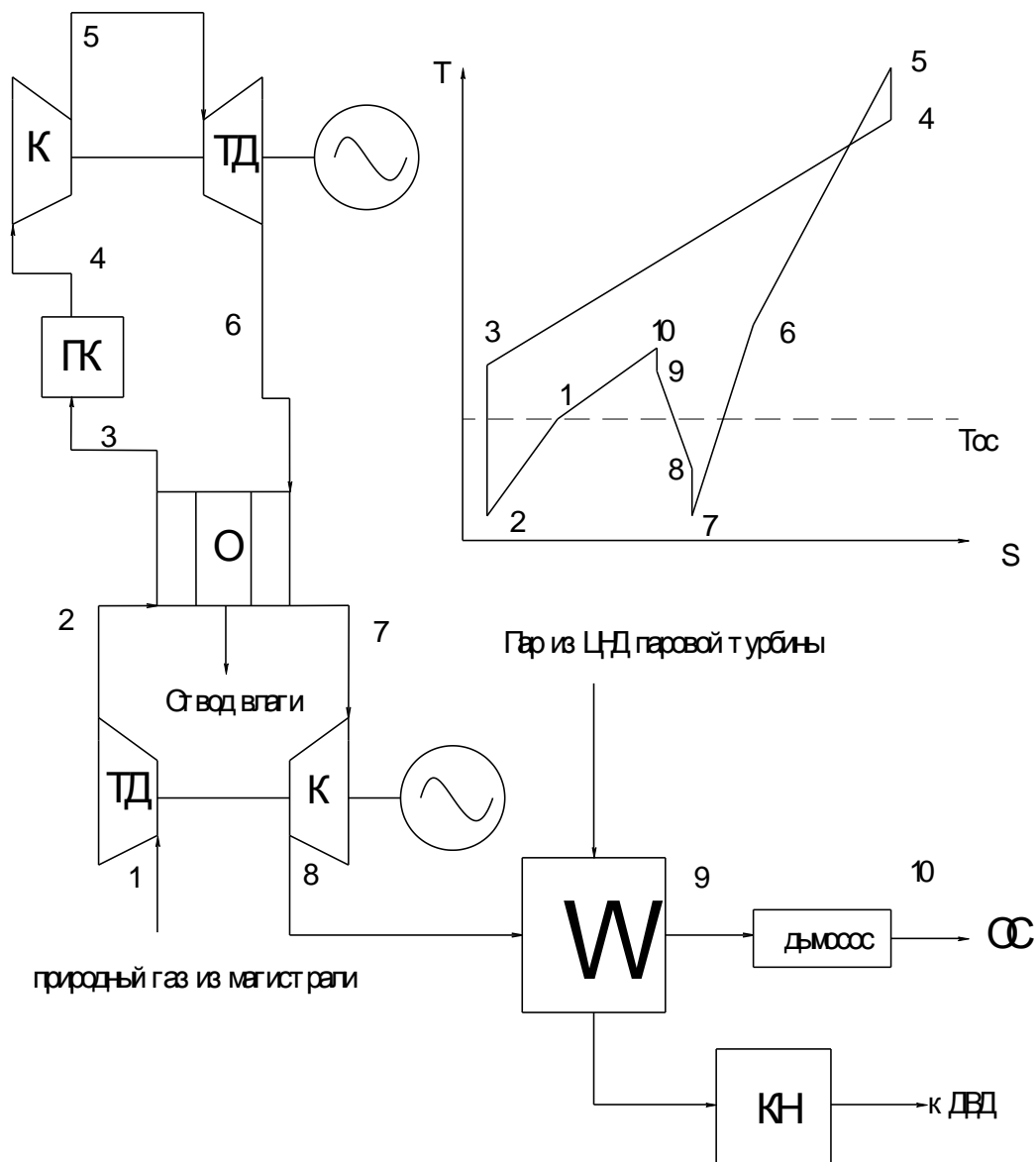


Рис.1. Схема охлаждения трубного пучка конденсатора охлажденными уходящими газами, с применением ДГА



1 – 2 снижение давления газового потока из магистрального трубопровода в ДГА; 2 – 3 нагрев газового потока уходящими газами; 3 – 4 сжигание газа в топке котла; 4 – 5 повышение давления уходящих газов перед ДГА; 5 – 6 охлаждение уходящих газов в ДГА; 6 – 7 охлаждение уходящих газов в охладителе с отводом влаги; 7 – 8 повышение давления охлажденных уходящих газов перед конденсатором; 8 – 9 нагрев газа в конденсаторе паровой турбины; 9 – 10 удаление газов в атмосферу.

О – охладитель; ГК – газовый котел; К – компрессор; ТД – детандер-генераторный агрегат;

T_{oc} – температура окружающей среды; W – конденсатор паровой турбины;

ДВД – деаэратор высокого давления; КН – конденсатный насос.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Основной экономический эффект от внедрения теплоутилизирующей установки с ДГА, охлаждающей дымовые газы:

1. сокращение расходов электроэнергии на собственные нужды;
2. экономия топлива за счет нормативных значений параметра вакуума в конденсаторе паровой турбины;
3. снижение температуры уходящих газов до температуры близкой к окружающей среде.

Экономия расходов на собственные нужды достигается за счет того, что для охлаждения конденсатора больше не требуется циркуляционный насос (его мощность 3 кВт/час) и дополнительной выработкой электроэнергии ДГА (около 1 – 3 МВт/час, в зависимости от нагрузки по станции). Конечно, появляются дополнительные расходы на ДГА (например на подогрев газа тратится примерно 70 г условного топлива). Но в приведенной схеме тепло отбирается у уходящих газов, поэтому расходы сокращаются до минимума. Тем самым увеличивается КПД ТЭС или ТЭЦ.

Нормативных значений вакуума иногда не возможно достичь из-за, повышенных значений температуры циркуляционной воды в летний период она может достигать 25 °С и выше, а при значительном сокращении поверхности теплообмена в процессе эксплуатации и того выше. В зимний период температуру циркуляционной воды тоже нельзя понижать ниже 18 – 20 °С из-за обледенения градирен, что может вызвать разрушение оросителей. В рассмотренной схеме охлаждения трубного пучка конденсатора температуру уходящих газов можно понижать значительно ниже, что приведет к более интенсивному снижению температуры перед конденсатными насосами и улучшит работу парового эжектора и как следствие приведет к созданию нормативного значения вакуума. Еще одной положительной стороной использования уходящих газов в качестве охладителя является отсутствие кислорода после сжигания газа, что не вызовет резкого увеличения жесткости в конденсате при разрушении трубок поверхности теплообмена в конденсаторе и не приведет к аварийному останову оборудования.

Температуру уходящих газов можно получать близкую к температуре окружающего воздуха, а значит меньшее влияние оказывается на парниковый эффект при экономии сжигаемого топлива.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимизация действующего оборудования тепловых электростанций за счет внедрения теплоутилизирующей установки с ДГА, может позволить эффективно использовать производственные топливно-энергетических ресурсы за счет создание модели установки для совместного производства электричества, тепла и холода.

Предложенный в данной статье проект позволяет решить задачу оптимизации действующего оборудования на многих электростанциях.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

ACTUAL ISSUES OF ENERGY



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белов Г. В., Дорохова М. А. Органический цикл Ренкина и его применение в альтернативной энергетике. Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана «Наука и образование», 2014 . №2. С. 99 – 124.
- [2] Галдин В. Д., Гриценко В. И. Основы теории и опыт создания теплохладоэнергетических агрегатов: монография; ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. –176 с.
- [3] Джураева Е. В. Исследование схем использования детандер-генераторных агрегатов в энергетике и системе газоснабжения. Автореферат. Сп-б. – 2005. с. 20.
- [4] Соловьев Р. В. Определение эффективности детандер генераторных агрегатов при использовании вторичных энергетических ресурсов. Автореферат. М. – 2010. с. 20.
- [5] Байдакова Ю. О. Исследование эффективности схем безтопливных установок генерации электроэнергии на основе детандер-генераторных агрегатов и тепловых насосов. Автореферат. М. – 2013. с. 19.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. В. Приходченко, к. т. н., доцент, доцент кафедры "Теплоэнергетика", e-mail: imois@inbox.ru
И. М. Моисеев, магистр, e-mail: imois@inbox.ru
Д. С. Лобов, магистр, e-mail: imois@inbox.ru



УДК 658.264

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И. А. Алешина, В. А. Михайлов

*Филиал «Национального исследовательского университета «МЭИ» в г. Смоленске,
Россия*

Аннотация – Эксергетический метод анализа, основанный на втором начале термодинамики, позволяет оценить степень использования энергии, ее потери, а также получить распределение этих потерь по отдельным аппаратам производства, т. е. выявить наименее эффективные из них. В основе эксергетического анализа лежит понятие эксергии. Эксергия системы в данном состоянии определяется количеством энергии, не характеризующейся энтропией, которое может быть получено от системы или передано ей в результате обратимого перехода системы из данного состояния в состояние полного термодинамического равновесия с окружающей средой.

В данной работе был осуществлен детальный поэлементный анализ регенеративной газотурбинной установки (ГТУ).

Для интегральной оценки термодинамической эффективности привода использовался эксергетический КПД.

Есть предположение, что энергия отходящих газов может быть использована за пределами ГТУ, что приводит к завышению термодинамического КПД по сравнению с термическим. Такой подход является дискуссионным и является предметом для дальнейшего анализа.

Ключевые слова – энергия, потери, эксергия, термодинамический КПД.

1. ВВЕДЕНИЕ

Особенностью турбокомпрессорных агрегатов (ТКА) с газотурбинным приводом, эксплуатируемых в составе компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов, является не только сложность конструкции и разнообразие происходящих в них термодинамических процессов, но и тесная связь ТКА и компрессорных установок (КУ), создаваемых на их основе, со всей газотранспортной системой (ГТС) при ограниченной, в большинстве случаев, возможности складировать перекачиваемый газ. В связи с этим изменение рабочего процесса в одном из элементов такой системы неизбежно приводит к определенным изменениям в других элементах ГТС.

С точки зрения термодинамического анализа функционирование ТКА в составе ГТС является сложным процессом, требующим достаточно универсальных критериев для оценки эффективности как отдельных процессов, так и системы в целом (ТКА-КУ-КС-ГТС). Как показывает опыт исследования теплоэнергетических, атомных энергетических, холодильных и криогенных установок, эксергетический анализ и критерии, используемые при этом, являются достаточно универсальным инструментом, пригодным также и для термодинамического анализа и оптимизации сложных энерготехнических схем КУ газовой и нефтяной промышленности, а также ТКА с газотурбинным приводом.



II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовать многоцелевую промышленную теплоэнергетическую систему ТКА (ГПА) линейной КС магистрального газопровода методом эксергетического анализа.

III. ТЕОРИЯ

Шагая в ногу с развитием современных судовых и авиационных газотурбинных двигателей (ГТД), их поэтапный эксергетический анализ на сегодняшний день представляет интерес в методологическом плане. Но, увы, данный анализ не может обеспечить получение новых результатов, воздействующих на технический прогресс.

Наиболее широко эксергетический анализ применяют для исследования эффективности энергетических установок.

В данной статье я попытаюсь оценить эффективность энерготехнологической системы ТКА(ГПА) линейной КС магистрального газопровода. В ТКА с газотурбинным приводом происходит превращение химической энергии топливного газа в тепловую энергию воздушногазового потока в камере сгорания привода, выработка механической энергии в силовой турбине (СТ) и превращение ее в энергию сжатого газа в центробежном компрессоре (ЦК) природного газа.

Для расчета и анализа КУ и ТКА используем второй закон термодинамики (баланс эксергии), а также балансы, основанные на законе сохранения энергии: баланс мощностей привода и компрессора, тепловой баланс.

Структура энергетического баланса ТКА с авиаприводом для транспорта природного газа, где с учетом особенностей рабочего процесса в дожимных ЦК для углеводородного газа и структуры потерь мощности в ТКА с АП показаны следующие потоки эксергии на входе и на выходе из агрегата ГПА-Ц-25/76, представленного на рисунке:

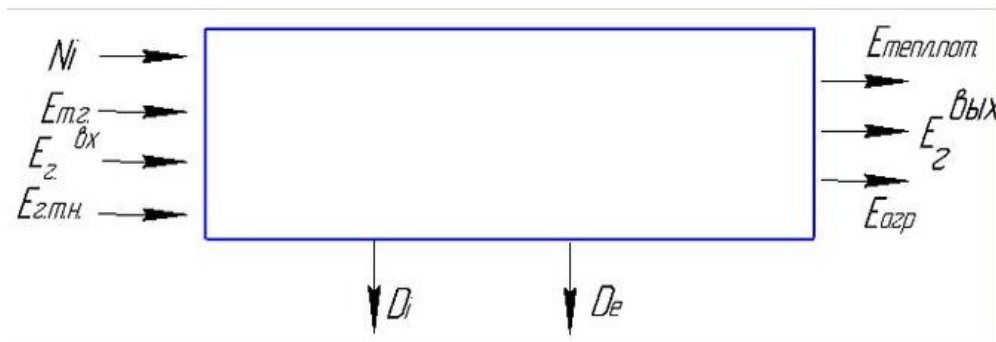


Рис.1. – Структура энергетического баланса ТКА с авиаприводом для транспорта природного газа

1) $E_{VH} = Gr(e_{T2} + e_{X1})$ – эксергия потока газа, учитывающая термомеханическую e_{11} и химическую e_{X1} эксергию природного газа на входе в ЦК. Величина Gr соответствует массовой производительности ЦК.

2) $E_{T.G.}$ – поток эксергии, подводимый к АП НК-36СТ в виде топливного газа и обеспечивающий работу газогенератора и ЦК для транспорта природного газа по одному из участков магистрального газопровода.

3) $E_{G.T.N.}$ – поток эксергии, подводимый к ГПА в виде газа низкого и высокого давления для обеспечения технологических нужд ГПА. (г.т.н.-пусковой, импульсный газ).



4) $\sum_{i=1}^n N_i$ – суммарные затраты эксергии на функционирование вспомогательных систем ГПА.

5) $E_{VH} = Gr(e_{T2} - e_{T1})$ – эксергия потока газа на выходе из ГПА.

6) $\Sigma E_{T.P.}$ – суммарный поток эксергии, отводимой от ГПА в виде потоков тепла выхлопных газов и воздуха от вентиляторов системы маслоохлаждения, рассеиваемый в окружающей среде.

7) E_{AGR} – поток эксергии, отводимой от АП и ЦК при наличии отборов мощности на привод вспомогательных агрегатов.

8) D_i, D_E – диссипация эксергии, вызванная необратимостью процессов, протекающих внутри рассматриваемой системы D_i , а также взаимодействием ее с окружающей средой D_E и учитываемая в уравнении эксергетического баланса введением эксергетического КПД.

С учетом транзитной эксергии, уравнение эксергетического баланса имеет вид:

$$\eta_{EX} = (E_{T.G.} + \sum_{i=1}^n N_i) = E_{G.VH.} - E_{G.VH.}$$

Определив эксергию топливного газа из уравнения баланса мощности ЦК турбины ГТД и выполнив несложные преобразования, получим выражение для эксергетического КПД ГПА:

$$\eta_{EX} = \frac{Gr(e_{T2} - e_{T1})}{\frac{G_{RZ} * \frac{k}{k-1} RT_1(\pi \frac{k}{k-1})}{\eta_E \eta_M \eta_{KC} \eta_{AD} \eta_{MEH}} + \sum_{i=1}^n N_i}$$

Удельная термомеханическая эксергия определяется по следующей формуле:

$$e_T = c_p (T_r - T_0) - T_0 (c_p \ln \frac{T_r}{T_0} - R \ln \frac{P_r}{P_0}),$$

где c_p, T_r, p_r – теплоемкость, температура и давление газа;

T_0, p_0 – температура и давление воздуха окружающей среды.

Зависимость величины КПД газотурбинного привода при наличии мультипликатора определяется:

$$\eta_{PR} = \frac{1}{1 + \frac{e_T}{e_x} \eta_E \eta_M \eta_{KC}},$$

где e_T/e_x – отношение удельных термомеханической и химической эксергий топливного газа, соотношение которых учитывает потери, связанные с дросселированием топливного газа в дозаторе при его подаче в камеру сгорания;

$\eta_E, \eta_M, \eta_{KC}$ – эффективный КПД привода в составе агрегата, коэффициент теплоты сгорания топливного газа в камере сгорания и КПД мультипликатора соответственно.

С учетом данной зависимости, формула, позволяющая осуществить эксергетический анализ эффективности ГПА, приобретает следующий вид:



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



$$\eta_{EX} = \frac{Gr(e_{T2} - e_{T1})}{\frac{G_{RZ} * \frac{k}{k-1} RT_1 (\pi \frac{k}{k-1})}{\eta_e \eta_M \eta_{КС} \eta_{AD} \eta_{МЕХ}} (1 + \frac{e_T}{e_X}) + \sum_{i=1}^n N_i}$$

Данная зависимость хорошо иллюстрирует сущность рабочего процесса газоперекачивающего агрегата ЛКС МГ.

Как известно, основным назначением дожимных турбокомпрессорных агрегатов в составе КС газовой промышленности является повышение термомеханической эксергии (работоспособности) потока газа на выходе из КС по сравнению с величиной эксергии на входе в станцию для обеспечения транспорта массы газа на соответствующем участке МГ при заданных параметрах. Это обеспечивается за счет затрат мощности на компримирование газа в ЦК, эффективность работы которого оценивается величиной η_{AD} .

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1) Эксергетический анализ работы газоперекачивающих агрегатов различного назначения является достаточно универсальным методом оценки их термодинамической эффективности.

2) В качестве интегрального критерия термодинамической эффективности ГПА целесообразно принять эксергетический КПД, позволяющий учитывать совместное влияние характеристик авиапривода, ЦК и вспомогательных систем при работе КУ и КС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бэр Г. Д. Техническая термодинамика / Под ред. Броднянского В.М. и Костенко Г.Н. – М.: Мир. – 1977. – 518 с
- [2] Янтовский Е. И. Потоки энергии и эксергии. – М.:Наука. – 1988 –144 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

И. А. Алешина, бакалавр, e-mail: irish.aleschina@yandex.ru

В. А. Михайлов, к.т.н., доцент, e-mail: irish.aleschina@yandex.ru



УДК 621.181.123

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОЦЕСС КИПЕНИЯ³

Е. Н. Слободина

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – С целью создания высокоэффективного источника тепла на базе вакуумного котла необходимо проведение исследований процессов кипения и конденсации при разрежении. В данной статье представлен обзор факторов влияющих на интенсивность процесса кипения: характеристика поверхности нагрева, давление, смачиваемость поверхности, плотность теплового потока, перегрев стенки. Выявлены наиболее значимые, с целью интенсификации процесса кипения при разрежении в вакуумном котле.

Ключевые слова – кипение, давление, температура насыщения, теплоотдача.

И. ВВЕДЕНИЕ

В связи с резким ростом доли неэффективного оборудования, работающим в «вынужденном режиме», существует необходимость в создании высокоэффективного оборудования способного удовлетворить любые потребности потребителя на должном уровне. При этом, источник тепла должен быть конкурентоспособным с имеющимися на рынке зарубежными аналогами.

В качестве источника тепла могут использоваться вакуумные котлы, преимущества которых неоспоримы. Вакуумный котел прост в эксплуатации, использование данного вида котлов позволяет значительно сократить потребляемые ресурсы. Одна из особенностей работы вакуумного котла заключается в отсутствии необходимости непрерывной водоподготовки, а следовательно данный котел возможно использовать в районах, где обеспечение питательной водой высокого качества имеет ряд трудностей.

Большое влияние на эффективность работы вакуумного котла оказывает процесс кипения, происходящий в условиях пониженных давлений. Изучение процесса теплообмена при кипении позволит выбрать рациональные методы интенсификации и повысить теплотехнические характеристики данного типа котлов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Кипение – сложный процесс, условия протекания которого определяются различными теплофизическими факторами. Различают два основных режима кипения: пузырьковый и пленочный.

Кипение, при котором пар образуется в виде отдельных периодически зарождающихся, растущих и отрывающихся паровых пузырей, называется пузырьковым. С увеличением теплового потока до некоторой величины отдельные паровые пузырьки сливаются, образуя на поверхности теплообмена сплошной паровой слой, периодически прорывающийся в объем жидкости. Режим кипения, который характеризуется наличием на поверхности

³ Работа выполнена в рамках НИР № 17087В «Молодой ученый ОмГТУ»



пленки пара, обволакивающей эту поверхность и отделяющей ее от жидкости, называется пленочным кипением. Интенсивность теплоотдачи при пленочном кипении значительно меньше, чем при пузырьковом [1, 2]. Для контроля процесса кипения и поддержания пузырькового режима необходимо исследовать факторы, оказывающие влияние на интенсивность процесса кипения.

III. ТЕОРИЯ

Рассмотрим более подробно факторы, оказывающие влияние на интенсивность процесса кипения.

На процесс кипения оказывает влияние непосредственно характеристики поверхности, на которой происходит кипение. Условия на поверхности имеют значительное влияние на теплоотдачу при пузырьковом кипении. В результате обработки поверхности (обработка наждачной бумагой, рифленое покрытие) увеличивается число активных центров парообразования и их эффективный размер. Для длительного кипения с высоким значением коэффициента теплоотдачи, необходимо применять поверхности, которые образуют стабильные резервуарные впадины, с целью стабилизации процесса.

При условии низких тепловых потоков имеет место присутствие неконденсирующегося газа, растворенного в жидкости. Газовые пузырьки на поверхности нагрева появляются, как правило, при температуре, меньшей температуры насыщения жидкости. После начала дегазации дополнительная конвекция, вызванная газовыми пузырями, увеличивает теплоотдачу по сравнению со случаем без наличия газа [3].

Влияние смачиваемости поверхности объясняется тем, что для жидкостей, хорошо смачивающих поверхность нагрева при условии увеличения теплового потока начало пузырькового кипения может задерживаться, сопровождаясь перегревом стенки.

Область пузырькового кипения можно значительно сократить в случае, если жидкость не смачивает поверхность нагрева. В частности, критический тепловой поток заметно снижается при больших краевых углах.

Интенсивность процесса кипения зависит от плотности теплового потока q и от перегрева стенки ΔT_s . Значительное влияние на перегрев стенки и плотность теплового потока оказывает давление в системе. При очень малых значениях приведенного давления область пузырькового кипения может быть ограничена. Пузырьковое кипение возникает лишь при достижении относительно большого перегрева стенки, соответствующего умеренному тепловому потоку. В то же время критический тепловой поток имеет свойство снижаться с уменьшением давления. При разрежении существуют риски возникновения кризиса кипения и переход в режим пленочного кипения.

Небольшое влияние на интенсивность процесса кипения оказывает повышение гравитационного ускорения в области развитого пузырькового кипения. Повышение ускорения, усиливает интенсивность свободной конвекции при низких тепловых потоках, где существенна свободная конвекция, вызванная пузырями. Существует ограниченное количество расчетных методик способных учитывать данный эффект [3].

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Учитывая специфику работы вакуумного котла, из выше перечисленных факторов на интенсивность теплообмена при кипении большое влияние будет оказывать давление. Переход в области пониженных давлений вносит коррективы в протекания процесса кипения, изменяя его структуру и оказывая влияния на перегрев стенки [2, 3]. При понижении давления ниже атмосферного, учитывая нестабильность режимов



кипения и динамику снижения коэффициента теплоотдачи целесообразно рассмотреть возможность применения интенсификаторов.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного анализа факторов оказывающих влияние на процесс кипения, выявлены факторы, оказывающие наибольшее воздействие на процесс кипения при работе вакуумного котла. Для устранения негативных воздействий снижающих интенсивность процесса кипения и уменьшающих коэффициент теплоотдачи рекомендовано применение интенсификаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Слободина Е. Н. Влияние процесса кипения в разряженной полости на эффективность работы вакуумного котла //Омский научный вестник. Сер. « Приборы, машины и технологии», 2015. №3 (143). С. 185–187.
- [2] Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача /– 5-е изд., перераб. и доп. – М.:Арис, 2014. – 416 с.
- [3] Справочник по теплообменникам: в 2 т. :пер. с англ. / под ред. О. Г. Мартыненко. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 560 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. Н. Слободина, ассистент каф. «Теплоэнергетика», e-mail: slobodina_e@mail.ru.



УДК 621.317.333

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Т. В. Бубенчикова, Е. Ю. Артамонова, Е. И. Крыгина
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Электроэнергетические объекты являются последовательно включенными источниками или приемниками электрической энергии объединенных в группы, или совокупностью источников и приемников (фидеров), работающих от одного источника электрической энергии. Последние относятся к многоэлементным дискретно-распределенным электроэнергетическим объектам, применяющимся в различных сферах деятельности человека: от аккумуляторов и солнечных батарей до электрических сетей на кораблях, в метро и шахтах, на подстанциях.

Ключевые слова – изоляция, методы сопротивления изоляции, сопротивление, напряжение.

1. ВВЕДЕНИЕ

В процессе эксплуатации электроэнергетические объекты подвержены различного рода воздействиям. Влияние различного рода процессов, как внешних (атмосферные, механические), так и внутренних (например, тепловые, электрические) на электроэнергетические объекты выступает причиной ухудшения работы электроэнергетических объектов, и, как следствие, нарушение работы всего объекта, в частности, возникновение пожара на объекте или поражение человека электрическим током. Следовательно, главной задачей в процессе эксплуатации рассматриваемых объектов становится обеспечение безаварийных процессов работы, надежности, качества и долговечности оборудования, применяемого на электроэнергетических объектах.

Чтобы реализовать данную задачу необходимо проводить регулярный качественный контроль технического состояния электроэнергетических объектов по целому ряду параметров, отвечающих характеристикам диагностируемого объекта с учетом его типа [5]. Проведение континуального контроля предпочтительно, поскольку в отличие от периодических проверок технического состояния электроэнергетических объектов, появляется вероятность отслеживания уровня сопротивления изоляции в течение всего эксплуатационного срока электроэнергетического объекта и принять необходимые оперативные меры, если сопротивление изоляции подходит к установленному минимально допустимому значению. Контроль за состоянием электроэнергетического объекта и его ремонт (плановый, внеплановый) осуществляется по заранее нормированному графику эксплуатации объекта, установленному с учетом положений технических инструкций для оборудования, правилами эксплуатации данного оборудования и стандартами ГОСТ.

Существует множество вариантов контроля за состоянием электроэнергетических объектов. В данной статье дается краткая характеристика наиболее часто встречающимся на практике методам контроля. Так, в качестве первого варианта контроля за техническим состоянием электроэнергетического объекта можно отметить контроль так называемого селективного типа, проводящийся посредством измерения токов нулевой последовательности. На этой основе построены системы управления



электроэнергетическими объектами, включающими устройства, фиксирующие незначительные изменения сопротивления изоляции [3].

Сущность управления электроэнергетическими объектами представляет собой реализацию процедур по нахождению неисправного участка цепи и дальнейшая реализация технических мероприятий, позволяющих уменьшить значение проводимости изоляции. Однако на практике такой вариант управления не является универсальным ввиду того, что значительные резервы эксплуатации электроэнергетических объектов содержатся в системе обслуживания по реальному техническому состоянию объекта, установить которые возможно лишь посредством применения современных диагностических устройств, отвечающих научно подтвержденным и апробированным методам выявления дефектов и оценки технического состояния изоляции [6].

Здесь рекомендуется использовать такой вид диагностики, как «техническая». Использование технической диагностики для изучения текущего состояния электроэнергетических объектов значительно продлевает срок эксплуатации электроэнергетических объектов, с ее помощью появляется возможность предупреждения аварийных ситуаций в энергосистемах и снижения затрат на текущие и внеплановые ремонты электроэнергетического объекта. Наиболее распространенным и простым в реализации считается способ управления техническим состоянием электроэнергетического объекта, суть которого состоит в следующем: на участках электрической цепи производится измерение сопротивления изоляции, и если полученное значение находится ниже уровня минимально установленной нормы, данный участок электрической сети отключается от питания.

На сегодняшний день существует два основных способа проведения технической диагностики электроэнергетических объектов: диагностика оборудования в отключенном состоянии (тестовая) и функциональная (рабочая) диагностика. Данные способы различаются в техническом оснащении, используемом для проведения диагностирования состояния электроэнергетических объектов. Однако оба способа основываются на поочередном отключении участков сети и в конечном итоге позволяют определить участок, на котором имело место снижение сопротивления изоляции.

Главным параметром, отвечающим за безопасную и бесперебойную работу электроэнергетического объекта вне зависимости от его классификационной принадлежности, выступает эквивалентное сопротивление изоляции электроэнергетического объекта. Увлажнение, перегрев или динамические нагрузки являются основными причинами неисправности работы изоляции; пробой изоляции возникает при имеющихся в ней местных и распределенных дефектах [8].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Уровень старения изоляции электроэнергетического объекта позволяет определить коэффициент абсорбции. За рубежом вместо этого коэффициента используется индекс поляризации совместно с коэффициентом диэлектрической абсорбции. Отличия данных коэффициентов составляют временные интервалы измерения сопротивления. Так, если для коэффициента абсорбции проводится расчет показаний сопротивления, измеренных дважды за 1 минуту и за 15 секунд, то для индекса поляризации используются значения, полученные за одну десятую минут соответственно. Для расчета коэффициента диэлектрической абсорбции используются показатели, измеренные за минутный и тридцатисекундный промежуток времени [7].

Несмотря на то, что расчет вышеперечисленных коэффициентов позволят дать объективную оценку текущему состоянию эксплуатируемого электроэнергетического объекта, данный способ контроля нельзя назвать универсальным ввиду искажения и так невысокого уровня тока абсорбции различными промышленными помехами. Следовательно, проводя на практике расчеты уровня абсорбции, необходимо руководствоваться другими методами, которые учитывали бы особенности малых токов. В этой области целесообразно выделить метод измерения возвратного напряжения и напряжения саморазряда. Данный метод позволяет проводить испытания изоляции кабеля, находящегося под напряжением, и ток утечки, возникающий при включении электроустановки под напряжение.

Оценку уровня сопротивления изоляции также проводят с помощью изучения состояния формы тока абсорбции. Для этого на объекте последовательно снимается рабочее напряжение, объект замыкается на пару секунд и проводится фиксирование показателей измерительного напряжения. На основе полученных данных рассчитывается индекс «ухудшения» изоляции по следующей формуле:

$$K_{det} = \frac{Q}{C} \quad (1),$$

где K_{det} – индекс «ухудшения» изоляции; Q – заряд абсорбции; C – емкость.

Графически зависимость переменного напряжения пробоя и индекса «ухудшения» изоляции можно представить следующей диаграммой (рис. 1).

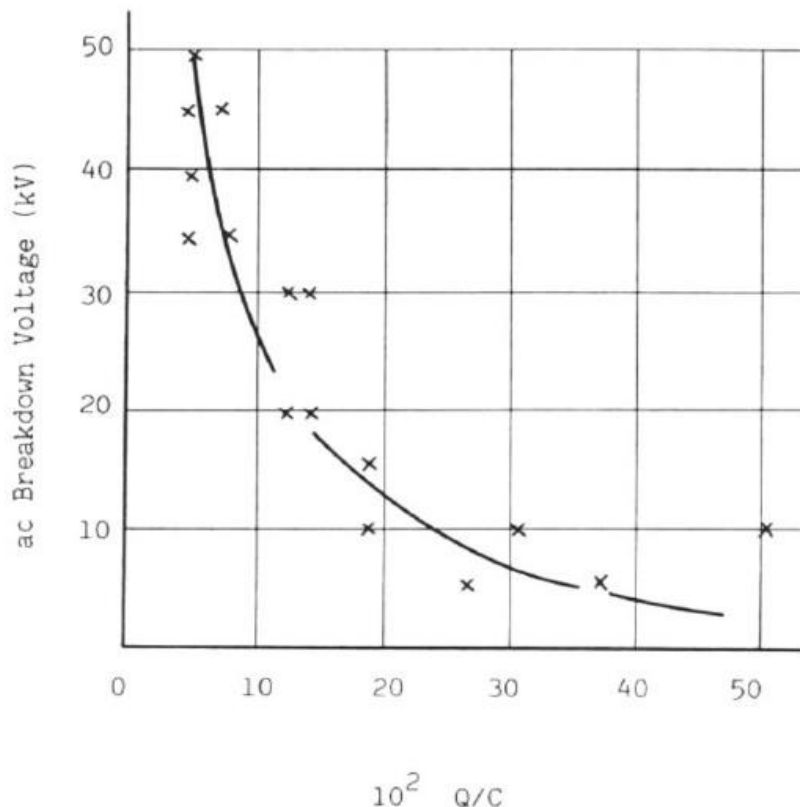


Рис. 1. Зависимость переменного напряжения пробоя и индекса «ухудшения» изоляции

Процессы абсорбции, проходящие в электроэнергетическом объекте, можно определить по уровню накопленного (поглощенного) заряда. Разная поляризация слоев источника напряжения и изоляции позволяет накапливать на их границах объемный



заряд внутреннего поглощения. Создается возвратное напряжение, уровень которого и определяет степень абсорбции в электроэнергетических объектах.

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, необходимо отметить, что измерение сопротивления изоляции посредством учета тока абсорбции остается перспективным направлением, требующим дополнительного изучения. При проектировании устройств контроля электроэнергетических объектов следует учитывать, что данный вид тока с высокой степенью проявляется в диагностике электроэнергетических объектов большой мощности. Ввиду того, что переходный процесс спада абсорбционного тока имеет длительную продолжительность (более одного часа), остается невозможным проведение объективного эксперимента. Следовательно, вопросы разработки методов и устройств контроля электроэнергетических объектов с учетом влияния на них токов абсорбции все еще остаются перспективными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Soma K., Aihara M., Kataoka Y. Diagnostic method for power cable // IEEE Transactions on Electrical Insulation. – 1986. – Vol. EI-21, № 6
- [2] Лачин В. И., Соломенцев К. Ю., Нгуен Куок Уи, Балабан И. Г. Методы и устройства измерения сопротивления изоляции электроэнергетических объектов и их классификация // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. 2015. – № 1.
- [3] В.И Лачин, К. Ю Соломенцев Методы и устройства контроля состояния электро- энергетических объектов с дискретно-распределенными параметрами Монография; Юж.-гос. техн. ун-т (НПИ) // Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ). 2012. – 342 с.
- [4] Лачин В. И., Нгуен Куок Уи, Соломенцев К. Ю., Балабан И. Г. Методы и устройства измерения сопротивления изоляции электроэнергетических объектов и их классификация // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. 2015. № 1. С. 84 – 89.
- [5] Нгуен Куок Уи Быстродействующие устройства контроля и измерения сопротивления изоляции для систем управления электроэнергетическими объектами: дисс. к.т.н. специальность: 05.13.05 / – Нгуен Куок Уи. – Новочеркасск. 2015. – 230 с.
- [6] Семенов Д. А. Методы контроля корпусной изоляции распределительных трансформаторов // Материалы конференции «Наука: теория и практика». – 2012. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/23_NTP_2012/Tecnic/5_114876.doc.htm (дата обращения: 16.03.2017).
- [7] Серебряков А. С., Семенов Д. А. Новое устройство для контроля качества электрической изоляции // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева, 2013. № 1(98). С. 203 – 208.
- [8] Серебряков А. С., Семенов Д. А. Профилактический контроль состояния корпусной изоляции трансформаторов по напряжению саморазряда и возвратному напряжению // Материалы конференции «Наука: теория и практика» – 2011. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/23_NPM_2011/Tecnic/5_91531.doc.htm (дата обращения: 16.03.2017).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Т. В. Бубенчикова, аспирант, e-mail: iprint@ess-72.ru

Е. Ю. Артамонова, аспирант, e-mail: iprint@ess-72.ru

Е. И. Крыгина, бакалавр, инженер 2 категории, e-mail: iprint@ess-72.ru



УДК 620.96

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ПАРОГАЗОВЫХ И ГАЗОТУРБИННЫХ СИСТЕМ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛА

Р. А. Лапин С. С. Горобей

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия

Аннотация – в данной статье рассмотрены два метода реконструкции котельной, которые позволят значительно сэкономить топливо при производстве тепловой и электрической энергии введением когенерационных установок. Определены решения и методы, делающие возможным экономически эффективное использование когенерации в малой энергетике.

Ключевые слова – теплоэнергетика, экономия топлива, парогазовые системы

I. ВВЕДЕНИЕ

Директива Европейского Сообщества 2004/8/ЕС о развитии когенерации определяет когенерацию как «одновременное производство в рамках одного процесса тепловой энергии и электрической и/или механической энергии». Когенерация известна также под названием «комбинированного производства тепловой и электрической энергии». Существует значительный интерес к когенерации, поддержанный на уровне Европейского Сообщества посредством принятия Директивы 2003/96/ЕС о налогообложении энергии, создающей благоприятные условия для развития когенерации. Подготовленный Европейской Комиссией «Зеленый» доклад об энергоэффективности (the Green Paper on energy efficiency) отмечает масштабы потерь при производстве и передаче электроэнергии и указывает на утилизацию тепла и развитие когенерации на местном уровне как на возможные способы сокращения этих потерь [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Провести анализ решений и методов, делающие возможным экономически эффективное использование когенерации в малой энергетике, рассмотреть различные методы когенерации, а также их применимость в различных ситуациях.

III. ТЕОРИЯ

Парогазовая установка (установка комбинированного цикла) состоит из одной или нескольких газовых турбин, соединенных с одной или несколькими паровыми турбинами (Рис 1.).

Во многих случаях такие установки используются для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Тепло выхлопных газов газовой турбины утилизируется и используется для производства пара, приводящего в действие паровые турбины. Как правило, тепло, полученное в результате утилизации, используется для производства дополнительной электроэнергии, а не для отопления или нагрева. [1]

Преимуществами подобных систем являются высокое отношение электрической к тепловой энергии, а также высокий КПД. Газификация твердого топлива – одно из перспективных направлений развития технологий сжигания – также используется в сочетании с парогазовыми системами и когенерацией. Газификация топлива позволяет

значительно снизить выбросы оксидов серы и азота по сравнению с традиционным сжиганием твердого топлива благодаря очистке газа после газификации, но до сжигания в турбине.

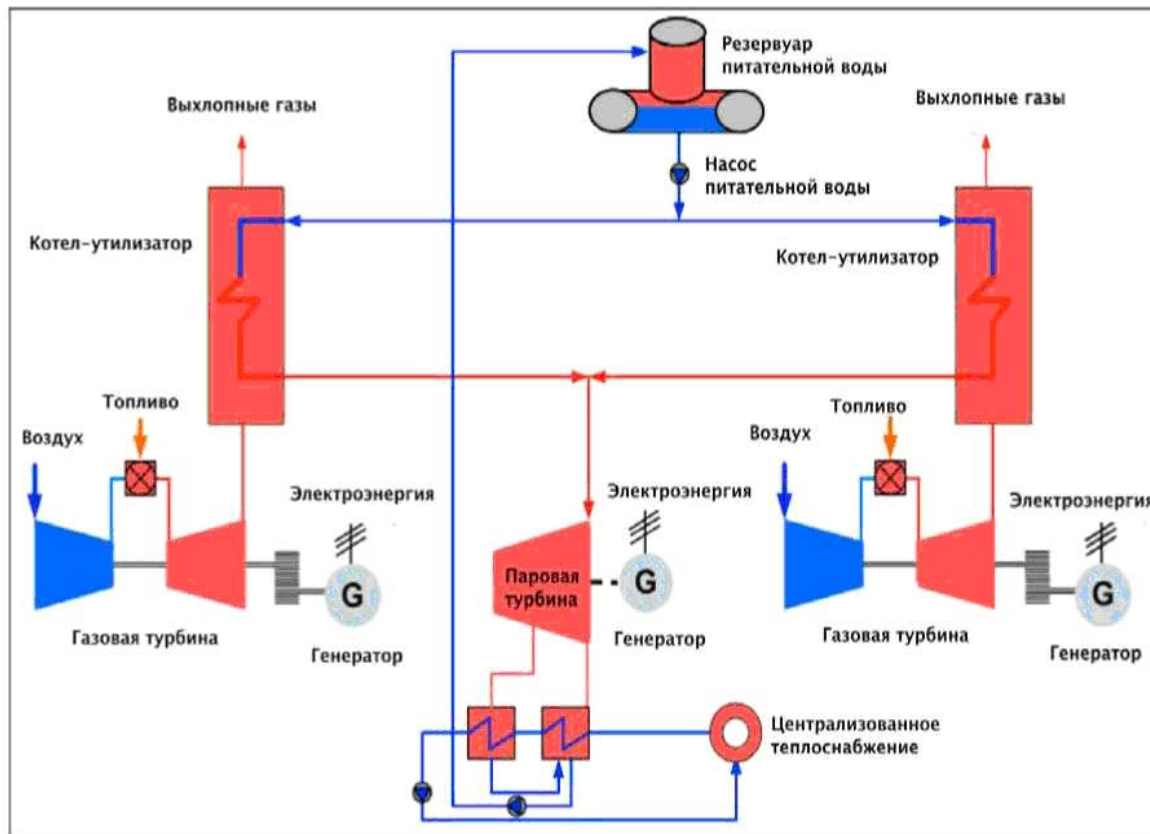


Рис. 1 Парогазовая когенерационная установка

Объем производства электроэнергии может оказаться ниже, если система когенерации оптимизирована для утилизации тепла. Можно показать, что установка по сжиганию отходов, утилизирующая, например, 18 % энергии сжигаемых материалов в форме электроэнергии, эквивалентна установке, утилизирующей 42,5 % энергии в форме централизованно распределяемого тепла или пара, пригодного для коммерческого использования [2].

Принципиальное решение об использовании когенерации и выбор конкретного метода определяются рядом факторов; даже предприятия с аналогичными потребностями в энергии не могут считаться абсолютно одинаковыми в этом отношении. Во многих случаях принципиальное решение о внедрении когенерации определяется следующими факторами:

- 1). принципиальным является наличие достаточных потребностей в тепле, отвечающих возможностям когенерации с точки зрения количества, температуры и т.п.;
- 2). наличие у предприятия базисной нагрузки, т.е. уровня, ниже которого потребление электроэнергии опускается редко;
- 3). сходный характер графиков потребностей в тепловой и электрической энергии;
- 4). соотношение цен на топливо и тарифов на электроэнергию, обеспечивающее экономическую эффективность когенерации;



5).высокий ожидаемый уровень загрузки (желательно более 4 – 5 тыс. час. работы при полной нагрузке в год).

Паровые турбины могут быть адекватным вариантом при выполнении следующих условий:

- базисная электрическая нагрузка превышает 3 – 5 МВт_э;
- существует применение для низкопотенциального пара, и требуемое соотношение электрической и тепловой энергии превышает 1:4;
- доступность недорогого топлива с невысокой торговой наценкой;
- доступность адекватной площади для размещения системы;
- наличие высокопотенциального тепла, отходящего от технологических процессов (например, от печей или мусоросжигательных установок);
- необходимость замены существующей котельной;
- необходимо сведение к минимуму соотношения электрической и тепловой энергии к минимуму. В когенерационных системах максимизация соотношения электрической и тепловой энергии требует минимизации уровня противодавления и максимизации уровня высокого давления.

Использование газовых турбин может быть целесообразно при выполнении следующих условий:

- 1).предполагается довести до максимума отношение производимой электрической энергии к тепловой;
- 2).потребность в электроэнергии является постоянной и превышает 3 МВт_э (на момент подготовки данного документа газовые турбины меньшей мощности лишь начинают выходить на рынок);
- 3).доступность природного газа (однако его отсутствие не является лимитирующим фактором);
- 4) существует значительная потребность в паре среднего/высокого давления или в горячей воде, в частности, с температурой, превышающей 500 °С.

В газотурбинных системах с утилизацией тепла тепловая энергия производится за счет энергии горячих дымовых газов турбины в котле-утилизаторе (Рис. 2). В качестве топлива для таких установок, как правило, используются природный газ, нефть или сочетание этих видов топлива. Кроме того, в качестве топлива для газовых турбин могут использоваться продукты газификации твердого или жидкого топлива [2].

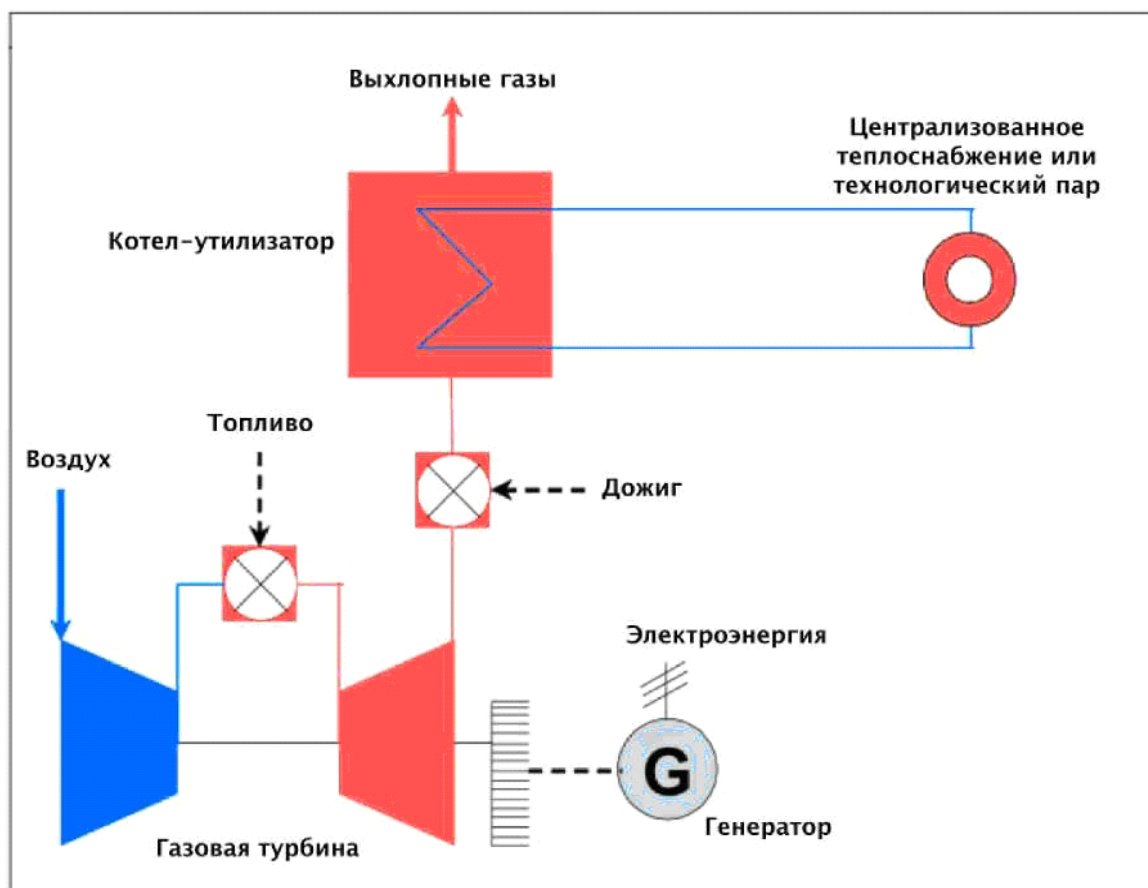


Рис. 2. Газотурбинная когенерационная установка с утилизацией тепла

Высокий КПД процессов когенерации обеспечивает значительные объемы энергосбережения и сокращения выбросов. На рис. 3 показаны характерные значения для когенерационной электростанции в сравнении с отдельными электростанцией и котельной для производства тепла. Данные, выраженные в условных единицах энергии, приведены для угольного топлива, однако аналогичная ситуация имеет место и при использовании других видов топлива. В этом примере когенерационная установка производит то же количество полезной энергии (электричества и тепла), что и отдельные установки. Однако при отдельном производстве общие потери энергии достигают 98 единиц, тогда как в случае когенерации потери составляют всего 33 единицы. При раздельном производстве тепла и энергии КПД (эффективность использования топлива) составляет 55 %, тогда как в случае когенерации величина КПД достигает 78 %. Поэтому когенерация требует на 30 % меньше топлива для производства тех же количеств полезной энергии. Это означает, что при использовании когенерации выбросы загрязняющих веществ сокращаются на ту же величину. Однако точная величина снижения выбросов зависит от местной структуры топливного баланса при производстве электроэнергии и/или тепла (пара).

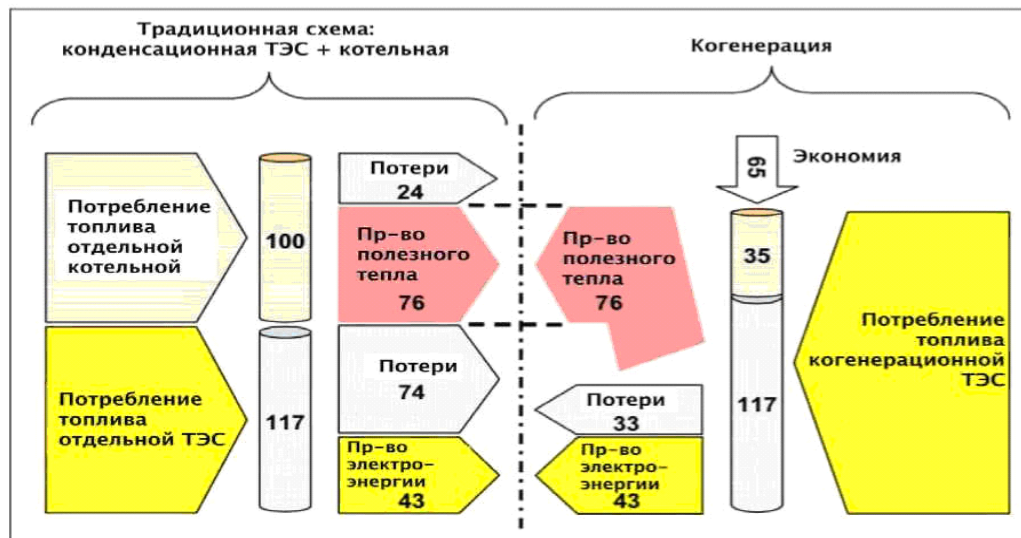


Рис. 3. Сравнение эффективности когенерации и отдельного производства электроэнергии и тепла

Принципиальное решение об использовании когенерации и выбор конкретного метода определяются рядом факторов; даже предприятия с аналогичными потребностями в энергии не могут считаться абсолютно одинаковыми в этом отношении. Во многих случаях принципиальное решение о внедрении когенерации определяется следующими факторами:

- 1) принципиальным является наличие достаточных потребностей в тепле, отвечающих возможностям когенерации с точки зрения количества, температуры и т.п.;
- 2) наличие у предприятия базисной нагрузки, т.е. уровня, ниже которого потребление электроэнергии опускается редко;
- 3) исходный характер графиков потребностей в тепловой и электрической энергии;
- 4) соотношение цен на топливо и тарифов на электроэнергию, обеспечивающее экономическую эффективность когенерации;
- 5) высокий ожидаемый уровень загрузки (желательно более 4 – 5 тыс. час. работы при полной нагрузке в год).

IV. Вывод

В целом, применение когенерации оправдано на тех предприятиях, где имеются значительные потребности в тепле при температурах, соответствующих низкому или среднему давлению пара. При оценке потенциала производства с точки зрения когенерации важно убедиться в том, что нет оснований ожидать существенного сокращения потребностей в тепле. В противном случае эксплуатация системы, рассчитанной на производство избыточного тепла, окажется неэффективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности
- [2] Шубенко А. Л., Маляренко В. А., Сенцкий А. В., Бабак Н. Ю. Когенерационные технологии в энергетике на основе применения паровых турбин малой мощности. – Х. : Институт проблем машиностроения НАН Украины, 2014. – 320 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Р. А. Лапин, магистр e-mail: gorobei.florist@yandex.ru
С. С. Горобей, магистр e-mail: gorobei.florist@yandex.ru



УДК 620.96

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

С. С. Горобей

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия

Аннотация – в статье представлено состояние малой энергетики в России, основные перспективы и преимущества ее развития. Произведен сравнительный анализ ее текущего состояния. Рассмотрены плюсы и минусы, а также проблемы невостребованности данного вида энергетики в России.

Ключевые слова – Мини-ТЭЦ, строительство, энергетика, электростанция.

I. Введение

В России единая энергетическая система (ЕЭС) является централизованной и обеспечивает электроэнергией и теплом – это основа и гарант энергоснабжения государства, ее энергетической безопасности. Безусловно, нельзя не учитывать роль малой энергетики. Поскольку малые электростанции (ЭС) в порядке случаев способны успешно находить решение к тем же задачам, что и крупные, но в большинстве случаев с минимальными затратами и с высокой производительностью. Следовательно, малая энергетика играет важную роль: для обеспечения в чрезвычайные периоды, для автономного энергоснабжения, а также в удаленных, труднодоступных и малоизученных районах страны. По различным оценкам от 50 до 70 % территории России не имеет централизованного электроснабжения. Обеспечить этих потребителей электроэнергией и теплом допустимо только с поддержкой малой энергетики. Например: там, где строительство крупных ЭС нецелесообразно или нежелательно с экономической точки зрения [1].

Одной из важных причин свертывания строительства малых ЭС в 60 — 80-е годы XX века явилась односторонняя ориентация в развитии энергетики на строительство крупных ТЭС, ГЭС и АЭС. Это привело к тому, что развитие малой энергетики, в том числе и на базе возобновляемых источников энергии, сначала замедлилось, затем и вовсе приостановилось. Многие из остановленных и законсервированных малых и мини-электростанций очень быстро пришли в негодность [2].

II. Теория

В XXI веке, Единая энергетическая система охватывает немногим более 30 % территории страны, остальные 70 % – обеспечивают электроэнергией электростанции, работающие в автономном режиме или локальные энергосистемы, такие как Камчатская, Магаданская и Сахалинская. Поэтому перспективы развития малой энергетики, видимо, следует рассматривать с учётом этих обстоятельств, то есть в зоне ЕЭС и вне её, так как эти проблемы в каждой из этих зон решаются по-разному.

На территории страны, которую не охватывает ЕЭС, мы должны обеспечивать развитие малой и возобновляемой энергетики, в основном, за счёт создания комбинированных (гибридных) электростанций, на базе 2-х, 3-х и более источников энергии. Например, ветро-дизельных, ветро-солнечных, ветро-гидравлических или солнечно-теплонасосных станций.

При развитии малой энергетики в зоне ЕЭС, надо исходить из того, что она не предназначена решать проблемы обеспечения надёжности и живучести Единой



энергетической системы в условиях быстрого роста энергопотребления. Но в период плавного, постепенного роста энергопотребления, на этапе реформирования энергетики, адаптации её к рыночным отношениям, малая энергетика, безусловно, может сыграть важную роль [2].

В настоящее время, оценивая место и роль большой и малой энергетики, видны их положительные и отрицательные стороны. Например, в централизованных системах энергоснабжения значительная доля тепла и электроэнергии теряется безвозвратно: сначала на самих станциях из-за их низкого КПД, затем при передаче электроэнергии в электрических сетях, а тепла – в теплоцентралях. Если проанализировать состояние энергетики России, то результат покажет, что износ линий электропередачи в ЕЭС превосходит 25 %, подстанций – 45 %; в районе теплоснабжения: 40 % тепловых сетей требуют ремонта, 15 % находятся в аварийном состоянии, тепловые потери в сетях превышают 16 % годового расхода топлива на теплоснабжение [3].

Выходит, что решить такую проблему можно именно с помощью малой энергетики. Мини-ТЭЦ, наиболее приближенные к потребителям, сводят потери энергии в процессе ее передачи к минимуму. У современных ЭС КПД составляет около 80 %. Таким образом, малые местные источники энергии чаще всего называют энергетикой будущего.

Анализируя роль малой энергетики, следует сказать, что она не может решать проблемы снабжения надежности и постоянства ЕЭС. Но с развитием стабильного роста энергопотребления, на стадии реформирования энергетики, большей ее адаптации к рыночным отношениям, при отсутствии крупных инвесторов, росте малого и среднего предпринимательства, малая энергетика, весьма значима [4].

На сегодняшний день рынок малой энергетики формируется в основном в Европейской части страны, где благополучно работает ЕЭС

Благодаря, современным системам малой энергетики можно получить абсолютную автономность и независимость от перебоев централизованного энергоснабжения предприятий 351 индустрии с постоянным технологическим циклом. Например: дизельные, малые газовые и другие автономные электростанции крайне необходимы на буровых вышках и в передвижных поселках топливной индустрии, а также в дачных поселках и удаленных деревнях. В свою очередь как автономные ЭС и котельные малой мощности должны обеспечивать потребителей энергией в полном объеме в режиме нормального функционирования и в минимально гарантированном объеме в критических и чрезвычайных ситуациях. А для малых электростанций все аспекты обеспечения энергобезопасности (наличие на рынке необходимых энергоресурсов, их цена, качество, способ транспортировки, создание запасов топлива, технико-экономические характеристики, ресурс и состояние энергетического оборудования, возможность его замены и модернизации и т.п.) имеют значение не меньшее, чем для объектов большой энергетики [4].

В данный момент, значительное применение в малой энергетике находят газотурбинные электроустановки (ГТУ), которые обладают высокими массогабаритными показателями, однако они требуют большой расход топлива и нуждаются в большем количестве воздуха для охлаждения, а также обладают высокой шумностью. Поэтому ГТУ используют, главным образом, на передвижных, резервных и автономных электростанциях.

Возрастающая зависимость российской энергетики от поставок зарубежного оборудования должна рассматриваться, как одна из опаснейших угроз энергетической безопасности страны. В связи с этим, одной из важных задач российских специалистов научных и проектных организаций, научно-технической общественности должно быть всемерное содействие освоению и обобщению лучшего зарубежного опыта, активному



внедрению в практику промышленности с целью переориентировки малой энергетики на поставки современной отечественной энергетической техники.[5]

Но для развития малой энергетики и, особенно, для внедрения в практику ее современных достижений исключительно большое значение имеет экономическая сторона вопроса. Опыт показывает, что применение новых решений и технологий требует во всех случаях тщательных и объективных технико-экономических обоснований. Поэтому развитие методов оценки экономической эффективности проектов при различных условиях их финансирования должно стать важнейшим направлением работы по развитию малой энергетики. Надо отметить особую роль малой и нетрадиционной энергетики в решении проблемы энергоснабжения северных территорий России [1].

III. Выводы и заключение

Таким образом, малая энергетика на современном этапе нуждается в экономической и правовой поддержке: льготных условиях для инвестирования в малые энергетические объекты, привлечении различных источников инвестиций и создании благоприятной налоговой и кредитной среды, поддерживаемой законодательно. Перечисленные меры способны обеспечить 352 благоприятные условия для работы независимых производителей электроэнергии и реализацию механизмов конкуренции в электроэнергетике

Следовательно, малая энергетика должна значительно активнее развиваться в России, так как она позволяет решать многие проблемы энергоснабжения страны и является: важным конкретным направлением энергосбережения у производителей тепла и электроэнергии; одним из путей энергосбережения у потребителя; средством решения проблем энергоснабжения для многих проблемных с точки зрения энергетики регионов страны;

Источником экологически чистой энергии, позволяющим снизить вредные выбросы энергетики и улучшить экологическую обстановку в регионах; привлекательной сферой инвестирования разных программ, в том числе и за счет “квот по выбросам”; одним из путей коммерциализации отрасли электроэнергетики; важным средством поддержки мелкого и среднего предпринимательства и независимых производителей энергии. Кроме того, она позволяет иметь в энергосистемах дополнительные мощности и оптимизировать графики загрузки оборудования на электростанциях с учетом их сезонного использования.

Список литературы

- [1] Безруких П. П. Малая и возобновляемая энергетика России сегодня. // Возобновляемая энергия. М., Интерсоларцентр, 1997, № 1, С. 15-17.
- [2] Ильин А. А. Роль малой энергетики в обеспечении энергетической безопасности России. Тезисы // Малая энергетика, 2004. №1. С 11–14.
- [3] Воропай Н. И. Малая энергетика в рыночной среде: анализ требований и условий развития, г. Москва 2002 г.
- [4] Фахразиев И. З., Зацаринная Ю. Н. «Малая энергетика России. Перспективы развития». 2015
- [5] Зацаринная Ю.Н., Фахразиев И. З. Экономические и технологические преимущества использования газотурбинных установок на ТЭС // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. Т. 16 № 3. С. 291

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

С. С. Горобей, магистр e-mail: gorobei.florist@yandex.ru



УДК 621.311.1:519.2

О МЕХАНИЗМАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПТОВОГО РЫНКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Д. Д. Дугин¹, В. А. Самусь¹, Д. К. Габбасов¹, А. С. Грицай¹, В. И. Потапов¹,
Г. Э. Синицин²

¹ Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

² ООО «Омская энергосбытовая компания», г. Омск, Россия

Аннотация – Актуальность работы обусловлена действующей моделью оптового рынка электроэнергии и мощности (ОРЭМ) в Российской Федерации. Проведен анализ текущего этапа развития, рассмотрены механизмы рынка, особенности их функционирования при взаимодействии участников и субъектов. Обоснованы основные направления развития на среднесрочную перспективу.

Ключевые слова – оптовый рынок электроэнергии РФ, ОРЭМ, субъекты оптового рынка электроэнергии.

И. ВВЕДЕНИЕ

С 2003 года в Российской Федерации начал работу Оптовый рынок электроэнергии и мощности. Законодательно была определена структура рынка, которая состояла из двух основных сторон – субъектов рынка и участников рынка. Под субъектами рынка законодатель определил производителей электроэнергии – энергогенерирующие предприятия и энергосбытовые предприятия с потребителями. К участникам рынка относятся предприятия, обеспечивающие непосредственную работу рынка – ЗАО «Администратор торговой системы» [1], АО «Системный оператор» [2], ЗАО «Центр финансовых расчетов» [3], и Сетевые предприятия. Между ними поделена зона ответственности, – ЗАО «Администратор торговой системы» обеспечивает функционирование оптового рынка электроэнергии, проработку законодательных и юридических аспектов, предоставляет доступ к специализированному программному обеспечению для участников и субъектов рынка. АО Системный оператор обеспечивает надежное функционирование рынка электроэнергии и актуальные параметры рабочей схемы энергоснабжения, при взаимодействии всех участников и субъектов рынка. ЗАО «Центр финансовых расчетов» обеспечивает схему финансовых взаиморасчетов между субъектами рынка и его участниками.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является анализ механизмов Оптового рынка электроэнергии Российской Федерации, структура рынка, и особенности его функционирования.

III. ТЕОРИЯ

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 года [4] одним из целевых направлений является – энергоэффективность. Кроме того, международный опыт функционирования рынков электроэнергии в Европейских странах показывает, что фундаментом целевой модели является конкуренция, при обеспечении надежного энергоснабжения потребителей. Этот же принцип лег в основу организации ОРЭМ в РФ. На рис. 1 представлена карта распределения ценовых/неценовых зон и

изолированных районов на территории РФ. В первую ценовую зону входят территории Центрального, Южного, Северо-Западного Северо-Кавказского, Уральского федеральных округов, во вторую – Сибирского федерального округа. В неценовые зоны входят территория Архангельской и Калининградской области, регионы Дальнего Востока, Республика Коми),



Рис. 1. Ценовые и неценовые зоны ОРЭМ в РФ

где организация рыночных отношений не возможна по технологическим причинам – территориальной замкнутости, наличия одного или нескольких поставщиков электроэнергии). По этой причине применяется государственное регулирование с помощью установленных тарифов на транспортировку и продажу электроэнергии. Действующая модель ОРЭМ в РФ состоит из следующих сегментов:

- рынок долгосрочных двусторонних договоров;
- рынок на сутки вперед;
- балансирующий рынок.

С момента запуска оптового рынка, основной объем электроэнергии приобретался/торговался на рынке долгосрочных двусторонних договоров. При этом, в контрактах на поставку электрической энергии между производителями был определена стоимость электроэнергии, т.е. электроэнергия приобреталась по фиксированной цене. Объемы электроэнергии, вырабатываемые/приобретаемые на этом рынке с каждым годом, уменьшались и торговля переходила в либерализованный сектор рынка – «рынок на сутки вперед». Заявки на приобретение/продажу электроэнергии формируются ежедневно на следующие сутки. В настоящее время, на рынке «на сутки вперед» торгуется весь объем электроэнергии, за исключением объемов, приобретаемых для тарифной группы «население». Тариф на эту группу устанавливается в каждой Региональной энергетической комиссии и контролируется Федеральной службой по тарифам [5]. Необходимый объем электроэнергии для тарифной группы «население» приобретается субъектом рынка (энергосбытовой



компаний) на рынке долгосрочных двусторонних договоров, а возможных поставщиков и потребителей по таким договорам определяет АО «Администратор торговой системы». Заключая свободные двусторонние договоры, поставщики и покупатели сами определяют необходимые объемы электроэнергии, сроки поставки и цены. Поставщики, в этом случае, обязаны обеспечить поставку необходимого объема электроэнергии, производя его на собственных генерирующих мощностях, либо приобрести, в случае нехватки, у других поставщиков на рынке «на сутки вперед». Наибольшие объемы электроэнергии приобретаются на рынке «на сутки вперед». Процесс отбора ценовых заявок на этом рынке состоит из трех этапов.

На первом этапе АО «Администратор торговой системы» получает от системного оператора актуализированную расчетную модель [6, 7], которая включает в себя состав работающего оборудования и имеющихся, либо возможных ограничений. На втором этапе производители электроэнергии формируют ценовые заявки в формате каждого часа и операционных суток. В том случае, если производители электроэнергии не указывают цену, считается, что они соглашаются с фактическими ценами, которые сложатся на рынке «на сутки вперед» в результате конкурсного отбора. Заявки покупателей также формируются по каждому часу суток с указанием необходимых объемов электроэнергии. У покупателей также имеется возможность формирования «ценопринимающих заявок», в этом случае они согласятся с фактически сложившейся равновесной ценой, сформированной механизмами рынка [8]. На основании полученных заявок от субъектов рынка с одной стороны, и данных АО «Системный оператор», – ЗАО «Администратор торговой системы» формирует равновесные почасовые цены для каждой из ценовых зон. В первую очередь выбираются генерирующие предприятия, предложившие наименьшую стоимость за выработку электроэнергии и ценовые заявки покупателей, которые предложили наивысшую цену за приобретаемую электроэнергию по каждому часу суток.

Равновесная цена (рис.1.2) определяется как максимальное ценовое предложение электростанции, объемы выработки электроэнергии которой еще востребованы рынком. Производители электроэнергии, ценовое предложение которых получилось больше равновесной цены, сформированной на рынке, в торговый график не включаются.

На третьем этапе обеспечивается формирование планового графика. После его формирования АО «Администратор торговой системы» передает его Системному оператору. Основной задачей Системного оператора является – обеспечение контроля и целостностного режима работы энергосистемы. В том случае, если в результате конкурентного отбора объем торгового производства/потребления не вошел в плановый график, поставщик электроэнергии может ограничить свое производство/потребление электроэнергии, либо выработать/потребить необходимые объемы электроэнергии на балансирующем рынке. Порядок цен и плановые объемы выработки/продажи электроэнергии публикуются ежедневно, в реальном режиме времени, на официальном сайте АО «АТС».

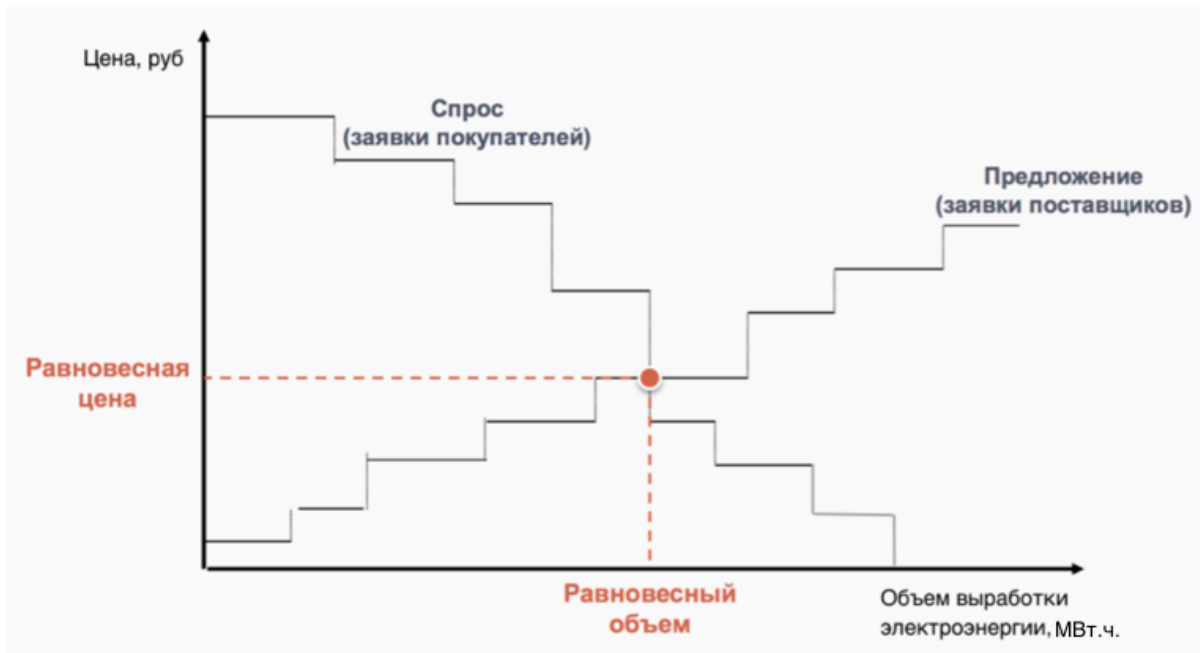


Рис. 2. График формирования равновесной цены

Балансирующий рынок обеспечивает потребителей дополнительными объемами электроэнергии, при этом стоимость электроэнергии будет значительно выше (при покупке) нежели стоимость на рынке «на сутки вперед». С другой стороны, поставщики электроэнергии, снизившие выработку электроэнергии по своей инициативе и потребители, увеличившие нагрузку, – получают штрафные санкции в виде повышенных цен на требуемый объем выработки/потребления электроэнергии. Производители электроэнергии подают заявки системному оператору на загрузку и разгрузку своих мощностей (отклонения вверх/вниз). В заявках указываются цены и возможные объемы выработки, а также цены на отклонение «вниз» по инициативе Системного оператора. При этом, в случае каких-либо аварийных ситуаций, и как следствие того, разбалансировка системы, Системный оператор ограничивает потребителей / увеличивает производство электроэнергии, начиная с заявок с минимальными ценами.

Выводы и заключения

Для поддержания определённой выше схемы взаимодействия участников оптового рынка электроэнергии все более актуальным становится вопрос о создании методологической базы данных и апробированных на практике методов краткосрочного прогнозирования электропотребления [9, 10] для субъектов оптового рынка электроэнергии – потребителей, а также методов оценки работоспособности оборудования для энергогенерирующих компаний и переход к новым современным технологиями выработки электроэнергии [11]. Опыт зарубежных предприятий показывает [12], что затраты на выработку электроэнергии с использованием неэкологичных видов топлива, могут значительно уменьшить экономический эффект генерирующих предприятий, поскольку стоимость на «бурые» экологические сертификаты растет с каждым годом.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] АТС: Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atsenergo.ru/> (Дата обращения: 12.04.2017).
- [2] СО ЕЭС: Системный оператор единой энергетической системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://so-ops.ru> (Дата обращения: 12.04.2017).
- [3] АО ЦФР: Центр финансовых расчетов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cfrenergo.ru> (Дата обращения: 12.04.2017).
- [4] Энергетическая стратегия России на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minenergo.gov.ru/node/1026> (Дата обращения: 12.04.2017).
- [5] ФСТ России: Федеральная служба по тарифам России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fstrf.ru/tariffs> (Дата обращения: 12.04.2017)
- [6] Булатов Б. Г., Каркунов В. О. Упрощенная модель определения узловых цен на рынке электроэнергии / Вестник ЮУрГУ. Серия. Энергетика, 2009. № 34 (167). С. 23–31.
- [7] Годлевский М. Д., Запара Е. В. Математическая модель составления согласованного графика работы энергосистемы в конкурентной модели оптового рынка электроэнергии / ВЕЖПТ, 2009, № 3 (42). С. 48 – 52.
- [8] Давыдовский, Ф. Н. Проблемы развития оптового рынка электроэнергии и мощности: формирование тарифов и оценка качества товара на основе системы показателей / Экономика, предпринимательство и право, 2012. № 1. С. 15–21.
- [9] Грицай А. С. Хамитов Р.Н., Тюньков Д.А., Сеницин Г.Э. Краткосрочное прогнозирование электропотребления на сутки вперед для энергосбытовой компании методом аппроксимации. / Промышленная энергетика. 2017. № 3. С.2 – 8.
- [10] Грицай, А.С. Хамитов Р.Н., Сеницин Г.Э., Червенчук И.В. Исследование методов аппроксимации для решения задач краткосрочного прогнозирования суточного электропотребления / Вестник СамГТУ. Сер. техн. науки, 2016. №4(52). С.91 – 97.
- [11] Осорин М. Распределение и сбыт электроэнергии по стандартам XXI век / Энергорынок, 2005. № 10 (23). С.19–21.
- [12] Сорокин, М. А. «Зеленые» сертификаты как инструмент перекрестного субсидирования в электроэнергетике / Проблемы учета и финансов, 2015. №1(17). С. 56–66.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Потапов В. И., д.т.н., профессор, Заведующий кафедры «Информатика и вычислительная техника» E-mail: apple_27@mail.ru

Грицай А. С., ст. преподаватель кафедры «Информатика и вычислительная техника». E-mail: aleksandr.gritsay@gmail.com

Самусь В. А. магистрант кафедры «Информатика и вычислительная техника» E-mail: sva.1994@yandex.ru

Габбасов Д. К., магистрант E-mail: sva.1994@yandex.ru

Дугин Д. Д. Инженер-программист E-mail: xp.denis@mail.com

Сеницин Г. Э., начальник «Управления по работе на рынках электроэнергии и мощности» E-mail: sinitzin@yandex.ru



УДК 662.61.502.36

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ГОРЕЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОТЛОАГРЕГАТОВ МАЛОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ⁴

П. А. Яковлев, П. А. Батраков, Д. В. Баженов, Д. Г. Мумладзе
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Разработать котел универсального использования, как бы ни стремились производители, вряд ли возможно в условиях современного рынка. Разнообразие условий эксплуатации и технических требований систем вынуждает производителей изготавливать товары с разными техническими характеристиками, что значительно расширяет производственный ассортимент. Одной из основных составляющих котла является горелка, которая обладает широким спектром конструктивных особенностей, позволяющих классифицировать их по тому или иному признаку.

Ключевые слова – горелка, котел, процесс горения

1. ВВЕДЕНИЕ

Российский рынок за годы перехода к рыночной экономике претерпел серьезные изменения в сфере энергетики, которые выразились в следующем: сократилось производство больших котлов на отечественных предприятиях (5 МВт и более), возрос объем производства отечественных котлов средней мощности (0,25 – 1 МВт) на 30 %, появились тенденции к росту производства бытовых газовых котлов (10 – 40 кВт) в стране (требуется ежегодно до 30 – 40 тыс.), возрос импорт котлов во всех классах мощности [1].

К числу основных факторов, определяющих перспективы развития теплоснабжения в России, следует отнести:

1. Курс на реструктуризацию единой энергетической системы с формированием 3-х уровневой системы предприятий: производители, поставщики и продавцы энергии. В данном случае реструктуризация затронет «большую энергетику».
2. Жилищно-коммунальная реформа, ориентированная на сокращение и снятие дотаций населению в оплате, в том числе тепловой энергии.
3. Стабильный рост экономики в строительном комплексе.
4. Интеграция в экономику страны передовых теплоэнергетических технологий западных стран.
5. Пересмотр нормативно-правовой базы теплоэнергетики в пользу крупных инвесторов. Лоббирование в федеральных и региональных надзорно-разрешительных органах продукции крупных поставщиков.
6. Приближение внутренних цен на топливно-энергетические ресурсы к мировым. Формирование на внутреннем рынке «дефицита» топливных ресурсов экспортного потенциала, и в первую очередь, природного газа и нефти. Увеличение доли угля и торфа в топливном балансе страны [1].

⁴ Работа выполнена в рамках НИР № 17059В «Молодой ученый ОмГТУ»



На данный период система теплоснабжения подразумевает наличие источника теплоты – теплогенератора (котла). На современном рынке предлагается большой выбор моделей котлов и их модификаций. Одной из основных частей котла является горелка, которая обеспечивает устойчивое сгорание топлива и возможность регулирования процесса горения.

III. ТЕОРИЯ

В настоящее время выпускается достаточно большое число горелочных устройств, таких как [2]:

- вихревые горелки ГМВИ производства ОАО «ЗиО-Подольск», которые уже установлены на котлах ПТВМ Шатурской ГРЭС и на КВГМ на ГЭС-1;
- горелки ГДС-100 производства ОАО «Башкир-энерго», применяемые на котлах ПТВМ-100,
- ОАО «Дорогобуж-котломаш» для котлов ПТВМ-60э (модернизированные ПТВМ-50) были установлены горелки ГГРУ-1000 (8 горелок);
- ОАО «Мосэнерго» применяют горелки ГПС (ЗАО «ИглДайнемикс», Россия) ГПС-8, ГПС-12, ГПС-50, (в 2005 г. – ГПС-20 и 24) ГПС-8 ставят на ПТВМ-100 и 180; ГПС-50 – на ТГМП-314;
- на НПО ЦКТИ были разработаны три типа газомазутных низкотоксичных горелок для энергетических котлов: газомазутные горелки ГМУ-м тепловой мощностью 5, 7, 10,15,20,30,45 и 60 МВт; горелки тепловой мощностью 20, 30, 40 и 45 МВт с регулируемой трубчатой подачей газа; трехсекционные прямоточно-вихревые горелки тепловой мощностью 20, 30, 40 и 50 МВт., горелки были установлены на котлы: БКЗ-79-35ФБ, ЦКТИ-79-35ФБ, ТП-87, ТП-230, ТГМП-314Ц.

Импортные горелочные устройства так же широко представлены производителями на рынке котельного оборудования:

- АО Tallinna Soojus – доля рынка тепловой энергии в Таллине составляет 68%. Применяют горелки «Pillard» (Франция);
- ЗААКЕ ГмбХ энд КоКГ (Германия) немецкая фирма специализируется на разработке, производстве и поставке промышленных горелочных устройств 0,3 – 134 МВт на стандартных и нестандартных жидких и газообразных топливах для паровых и водогрейных котлов в коммунальной и промышленной энергетике;
- «BALTUR» (Италия) производит горелки, работающие на газе, легком, среднем и тяжелом топливе и комбинированные (газ/жидкое топливо) как для бытового, так и для промышленного использования. В том числе, моноблочные – от 17 кВт до 10 МВт и промышленной серии, с выносным вентилятором – от 3 до 40 МВт. Комбинированные горелки: газ/солярка – мощностью от 39 кВт, газ/тяжелое топливо – от 348 кВт.

Часто встречаются горелки фирмы «DREIZLER» (Германия), а так же многие другие фирмы занятые производством горелочного оборудования.

Для более качественного подбора топливоподающего оборудования необходимо привести классификацию его основного компонента горелок [3].

Для эффективного сжигания топлива горелочное устройство выполняет следующие функции:

- подготавливает топливо и воздух для горения, придавая им требуемые направления и скорости движения (в некоторых случаях в горелке происходит предварительный подогрев газа или воздуха);
- подготавливает горючую смесь (смешивает газовое топливо и воздух или распыляет жидкое топливо и смешивает его с воздухом);



- осуществляет подачу подготовленной горючей смеси в рабочее пространство или топку;

- стабилизирует воспламенение.

В основу классификации горелочных устройств положены степень развития в них процесса смешения топлива с воздухом для горения, способы подачи топлива и воздуха, характер истекающих потоков и другие технологические особенности.

Классификационные признаки горелок и их характеристики, регламентированные стандартом, можно представить в следующем виде.

Горелки делятся по способу подачи воздуха и топлива:

- инжекционные горелки, в которых струи газа инжектируют воздух;
- дутьевые (или напорные), в которых воздух подается принудительно, при помощи автономного дутьевого вентилятора или встроенного вентилятора (в так называемых блочных горелках);

- встречаются горелки, в которых воздух подается за счет разрежения в рабочем объеме (в барабанной сушилке).

Однако в отопительных и промышленных котлах используют, как правило, дутьевые или инжекционные (атмосферные) горелки.

По степени подготовки горючей смеси все горелочные устройства можно разделить:

- на горелки без предварительного смешения (воздух смешивается с топливом после выхода из горелки, в объеме топочной камеры; в Европе они называются горелками типа jet), с неполным предварительным смешением (в горелке с топливом смешивается только часть воздуха, называемого первичным);
- на горелки с полным предварительным смешением (в топку поступает уже перемешанная газозоодушная смесь; premix).

Понятно, что в последнем случае речь идет только о газовых горелках, а все виды жидкого топлива предполагают использование горелок без предварительного смешения.

Горелки различаются по характеру потока, вытекающего в топочную камеру:

- прямоточные;
- закрученные, в которых различают неразомкнутый и разомкнутый факел, имеющий приосевую зону рециркулирующих продуктов сгорания.

Кроме того, вихревые горелки отличаются по типу размещения сопловых отверстий:

- горелки с центральной подачей газа;
- периферийной подачей газа;
- комбинированной подачей газа.

Классификационным признаком горелки можно считать также возможность (или отсутствие возможности) регулировать характеристики факела (его протяженность, крутку и т. д.).

Большинство конструкций крупных горелок для промышленных котлов допускают возможность изменения коэффициента избытка воздуха (т. е. соотношения воздух–топливо). Этот параметр (т. е. возможность или невозможность регулировать избыток воздуха) также является важным классификационным признаком горелочных устройств. Сюда же можно отнести еще один классификационный признак – степень автоматизации горелки [3].

Главный классификационный признак любой горелки – это вид топлива, на который она рассчитана. Небольшие отопительные котлы оборудуют чаще всего газовыми или дизельными горелочными устройствами. На более крупные отопительные и



промышленные котлы устанавливают мазутные горелки. Часто встречаются двухтопливные горелки (например, солярка – газ или мазут – газ). Крупные промышленные и энергетические котлы оборудуют не только газовыми или мазутными горелками, но и пылеугольными, через которые в топку поступает измельченное твердое топливо (уголь, торф, сланцы).

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие устойчивого пламени является важнейшим условием надежной и безопасной работы агрегата. При неустойчивом горении пламя может проскочить внутрь горелки или оторваться от нее, что приведет к загазованности топки и газоходов, и взрыву газозвушной смеси при последующем повторном розжиге. Скорость распространения пламени для различных газов неодинакова: наибольшая 2,1 м/с – для смеси водорода с воздухом, а наименьшая 0,37 м/с – смеси метана с воздухом. Если скорость газозвушного потока окажется меньше скорости распространения пламени, произойдет проскок пламени в горелке, а если больше – отрыв пламени. Поэтому при производстве котельного оборудования является важным не только с экономической точки зрения, но и безопасности правильный подбор топливоподающего оборудования, основной частью которого является горелка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мухаметкулов В. А.. Тенденции развития рынка котлов малой мощности в России // Новости теплоснабжения, 2001. № 9 (13). С. 30 – 39.
- [2] Обзор малотоксичных горелочных устройств, применяемых при модернизации котлов/ НП "Российское теплоснабжение" // Портал по теплоснабжению, РосТепло.ру, – Режим доступа: www.rosteplo.ru (Дата обращения: 18.04.2017)
- [3] Ведрученко В. Р., Жданов Н. В., Жданова Е. Е., Лазарев Е. С.. Особенности выбора горелочных устройств для котлоагрегатов малой производительности // Омский научный вестник. 2009. № 3 (83). С. 162 – 168

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

П. А. Яковлев, магистр, e-mail: pavlikyavlik@mail.ru

П. А. Батраков, к.т.н., доцент кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: peter_1cool@mail.ru

Д. В. Баженов, магистр, e-mail: peter_1cool@mail.ru

Д. Г. Мумладзе, магистр e-mail: daniel_mumladze@mail.ru.

СЕКЦИЯ 2



УДК 621.314.57

ВЫБОР ПРИБЛИЖЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЗВЕНА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

М. Ю. Пустоветов

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация – В работе предложены эмпирические выражения для выбора в функции мощности питаемого двигателя переменного тока значений параметров звена постоянного напряжения (емкости и индуктивности) трехфазного преобразователя частоты, состоящего из входного выпрямителя и выходного автономного инвертора напряжения. Такая информация актуальна для математического моделирования процессов в электроприводе, когда точные параметры преобразователя частоты не известны. Эмпирические зависимости получены на основании анализа данных открытых публикаций, а также известных автору из практики. Приведенные рекомендации могут быть дополнены при наличии дополнительной информации.

Ключевые слова – Преобразователь частоты, звено постоянного напряжения, емкость, индуктивность.

I. ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является предложить читателям обоснованные данные для выбора в первом приближении параметров звена постоянного напряжения преобразователя частоты (ПЧ), питаемого от трехфазной сети с линейным напряжением 380 В и частотой 50 Гц. В свою очередь, ПЧ питает трехфазный двигатель переменного тока, рассчитанный на линейное напряжение 380 В.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ПЧ в настоящее время является массово используемым устройством в системах автоматизации разнообразных технологических процессов. Наиболее часто встречаются ПЧ с явно выраженным звеном постоянного напряжения, имеющие в своем составе диодный выпрямитель, выполненный по 6-пульсной мостовой схеме; Г-образный фильтр нижних частот, имеющий в продольной ветви индуктивность L_d , а в поперечной – емкость C_d ; транзисторный автономный инвертор напряжения (АИН), выполненный по мостовой схеме [1, 2]. Случается, что к автору обращаются сотрудники предприятий, эксплуатирующих электроприводы переменного тока с ПЧ, с просьбами провести математическое моделирование на ЭВМ того или иного процесса, режима работы оборудования. При этом далеко не всегда имеются достаточные данные о параметрах устройств, подлежащих моделированию. Например, ставится задача смоделировать ток, потребляемый ПЧ от источника питающего напряжения в процессе первоначального заряда емкости C_d . При этом известна мощность двигателя, питаемого от ПЧ, но нет данных о величине C_d и L_d . Конечно, в такой ситуации невозможно предоставить заказчику вполне достоверные результаты моделирования, но, зная ориентировочные значения C_d и L_d , можно получить приближенные результаты, не противоречащие физике процессов и здравому смыслу.



III. ТЕОРИЯ

Существуют публикации по вопросам выбора значения C_d [2 – 4]. Но зачастую их авторы руководствуются взаимоисключающими целевыми установками: одному нужно минимизировать емкость с целью снижения массогабаритных показателей, другому требуется, чтобы C_d могла принять всю энергию торможения двигателя, для чего нужна ее большая величина. Кроме того, конденсаторы могут быть изготовлены из различных материалов, что существенно влияет на их емкости [5, 6]. Известен ряд формул для расчета C_d [3]. Важной отправной точкой для расчетов является допустимая величина пульсаций постоянного напряжения на емкости. Считается, что приемлемой величиной пульсаций напряжения являются 1..2 % [3, 4, 6]. Связь токов и напряжений выпрямителя и АИН в составе ПЧ описана, например в [7].

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Тем не менее, в первом приближении для выбора C_d и L_d удобно было бы иметь простые математические выражения, увязывающие их значения, например, с мощностью двигателя, кВт, питаемого от ПЧ. Получить такие выражения можно, опираясь на известные данные о параметрах звена постоянного напряжения конкретных ПЧ. Автор предпринял попытку обобщения некоторого количества известных ему из практики, а также из публикаций [8, 9] данных. Результаты представлены на Рис.1. в виде значений L_d , мГн и удельных значений C_d , мкФ/кВт.

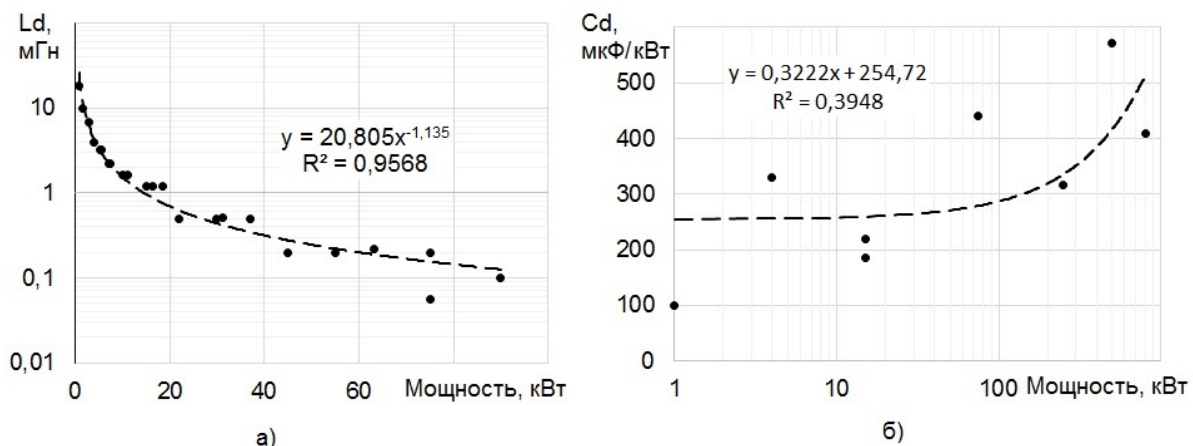


Рис. 1. Приближенные зависимости параметров звена постоянного напряжения ПЧ от мощности питаемого двигателя переменного тока: а) значение L_d ; б) удельное значение C_d .

Согласно Рис.1. б) среднее арифметическое удельное значение C_d составляет 322 мкФ/кВт. На Рис.1. приведены уравнения линий трендов (пунктирных линий), являющихся искомыми математическими выражениями, а также величина достоверности аппроксимации линией тренда заданных удельных значений параметров (точки-маркеры) R^2 – коэффициент детерминации, говорящий о том, в какой мере данный тренд объясняет расположение исходных точек.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены эмпирические зависимости, пригодные для приближенного выбора параметров звена постоянного напряжения трехфазных ПЧ различной мощности,



питаемых от трехфазной сети с линейным напряжением 380 В и частотой 50 Гц, основанные на известных данных эксплуатируемых образцов техники. Приведенные рекомендации могут быть дополнены при наличии дополнительной информации. Полученные результаты могут быть полезны при анализе различных режимов работы электроприводов с ПЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Москаленко В. В. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник. – М. : ИНФРА-М, 2007. – 208 с.
- [2] Микитченко А. Я., Могучёв М. В., Шевченко А. Н. Выбор емкости силовых конденсаторов в двухзвенных преобразователях частоты с рекуперацией // Электричество, 2008. №6. С. 63 – 66.
- [3] Новожилов Н. Г. Сравнительный расчет емкости конденсатора звена постоянного тока частотного преобразователя // Современная наука и практика, 2015. №1 (1). С. 20–24.
- [4] Колесниченко Д. А. Выбор емкости конденсатора преобразователя частоты для асинхронного электропривода // Электротехнические системы и комплексы, 2012. №20. С. 67–71.
- [5] Колпаков А. Инверторная платформа SEMIKUBE – вопросы выбора // Силовая электроника, 2009. №1. С. 14 – 19.
- [6] Salcone M., Bond J. Selecting film bus link capacitors for high performance inverter applications // Electric Machines and Drives Conference, 2009. IEMDC '09. IEEE International, 3-6 May 2009. DOI: 10.1109/IEMDC.2009.5075431
- [7] Бурков А. Т. Электронная техника и преобразователи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М. : Транспорт, 1999. – 464 с.
- [8] Преобразователи частоты транзисторные мощностью от 5,5 до 315 кВт. Руководство по эксплуатации РДЦБ.435321.001 РЭ версия 5.5 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://etx-in.ru/files/ETX-IN-FCseries04-5.5-315kW-user-manual_v5.5_web.pdf
- [9] Преобразователи частоты Altivar 71 для трехфазных асинхронных двигателей мощностью от 0,37 до 500 кВт. Каталог 07 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.is-com.ru/files/katalog_atv71.pdf

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М.. Ю. Пустоветов, кандидат технических наук, доцент Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону, доцент кафедры «Энергетика, автоматика и системы коммуникаций», e-mail mgsn2006@yandex.ru.



УДК 621.3

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, ИХ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

С. Г. Конесев, Р. Т. Хазиева

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Россия

Аннотация – Применение индуктивно-емкостных преобразователей (ИЕП) в системах стабилизированного тока (ССТ), используемых в электротехнологиях, определяет требования к их параметрам и характеристикам. Авторами выполнены анализ и классификация основных параметров и характеристик ИЕП. Рассмотрены параметры наиболее важные для применения ИЕП в ССТ. Расширить диапазон изменения нагрузки, в котором сохраняется высокий коэффициент стабилизации выходного тока нагрузки, повысить надежность, снизить массу и габариты ИЕП позволяет функциональная интеграция, которая привела к созданию электромагнитных элементов (ЭМЭ).

Ключевые слова – Индуктивно-емкостные преобразователи, системы стабилизации тока, параметры, характеристики, тенденции развития.

I. ВВЕДЕНИЕ

Применение индуктивно-емкостных преобразователей (ИЕП) в системах стабилизированного тока (ССТ), используемых в электротехнологиях, определяет требования к их параметрам и характеристикам, которые, в свою очередь, зависят от схем ИЕП, соотношений индуктивного и емкостного сопротивлений, частоты источника питания и т.д. [1, 2]. Расширить диапазон изменения нагрузки, в котором сохраняется высокий коэффициент стабилизации выходного тока нагрузки, повысить надежность, снизить массу и габариты ИЕП позволяют такие технические средства, как использование более современных материалов и элементной базы, повышение частоты преобразования электроэнергии, функциональная (физическая, конструктивная и технологическая) интеграция электромагнитных элементов (ЭМЭ) [3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Функциональная интеграция привела к созданию гибридных ЭМЭ [4, 5]. Авторами рассматривается задача определения основных параметров и характеристик ИЕП, построенных на основе гибридных ЭМЭ в случае применения в ССТ.

III. ТЕОРИЯ

Каждый класс схем ИЕП решает определенные задачи. Преимущества Г-образной схемы: простота, относительно малая масса, малое воздействие на первичный источник (малая модуляция питающего напряжения) и практическое отсутствие передачи нелинейных искажений в сеть; недостатки – низкий коэффициент мощности и более низкий КПД. Г-образная схема с предвключенной индуктивностью является единственной из однофазных схем ИЕП пригодной для работы от автономных



инверторов с прямоугольной формой выходного напряжения. Т-образная и мостовая схемы имеют существенно более высокие коэффициент мощности и КПД, но при этом характеризуются большей массой и отрицательным влиянием на качество первичного напряжения. Особенно высокими энергетическими показателями обладает мостовая схема [2]. Для снижения массы ИЕП, входящего в состав источника вторичного электропитания, объединяют повышающий трансформатор и дроссели ИЕП на одном сердечнике с воздушным зазором. Введение магнитной связи между катушками индуктивности ИЕП позволяет улучшить стабилизирующие, энергетические и частотные характеристики преобразователя, уменьшить массу, габариты и стоимость ИЕП [1].

В некоторых областях применений ИЕП более рациональным с точки зрения снижения массы и габаритов, повышения надежности, улучшения энергетических и стабилизационных показателей ИЕП представляется использование гибридных ЭМЭ для создания ИЕП на их основе.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В статье [6] авторами рассмотрены характеристики, показатели и параметры ИЕП, проведен частичный анализ требований, предъявляемым к ним, в зависимости от областей применения ИЕП. Дальнейшие работы по структуризации параметров и характеристик ИЕП привели к их классификации, обобщенному представлению, представленному на Рис.1.

К ИЕП, применяемым в ССТ, предъявляются следующие требования: простота конструкции (не более четырех элементов), обеспечивающая высокую надежность, малые габариты и масса, высокий коэффициент мощности ($0,98 - 1$) и КПД, среднюю добротность колебательного контура ($20 - 100$), компенсация реактивной мощности, наибольший коэффициент усиления по напряжению ($20 - 100$), коэффициент стабилизации по току в широком диапазоне изменения тока нагрузки при изменении частоты (от $0,7 \cdot f_{рез.}$ до $1,3 \cdot f_{рез.}$), стабилизация тока большой амплитуды (единицы-десятки ампер), уменьшение входного и переходного сопротивлений с ростом частоты [8, 9]. Выполнение всех требований нельзя обеспечить в полной мере. Например, ИЕП, который стабилизирует ток нагрузки в широком диапазоне изменения частоты, имеет при этом стабилизирует ток меньшей амплитуды [10, 11].

Интегрированное исполнение компонента приводит к снижению интенсивности потока отказов в 1,5 раза, увеличению среднего времени работы компонента и времени безотказной работы с заданной вероятностью в 1,5 раза, увеличению вероятности безотказной работы на 9 % для односекционного МИЭК, на 20 % – для двухсекционного МИЭК, на 17 % – для трехсекционного МИЭК. Надежность трехсекционного гораздо ниже, чем одно- и двухсекционного структуры (29 % и 24 % соответственно), что обусловлено значительным расширением функциональных возможностей: трехсекционный МИЭК, выполняет дополнительную составную функцию генератора импульсов напряжений. Наиболее оптимальным для применения с точки зрения функционального и элементного подходов является двухсекционная структура МИЭК. Повышение надежности МИЭК обеспечивается уменьшением числа элементов, отсутствием дополнительных межэлементных и монтажных соединений, паек [7].



Рис. 1. Основные параметры и характеристики ИЕП

Авторами предложена программа для ЭВМ для построения частотных характеристик МИЭК и расчета коэффициента стабилизации тока нагрузки ИЕП, выполненного на его основе. С помощью разработанной программы произведен расчет коэффициентов усиления по напряжению и по току, входного и переходного сопротивлений МИЭК [12]. Полученные данные позволили определить ширину диапазона изменения частоты в зависимости заданной точности стабилизации тока нагрузки [13].

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ основных параметров и характеристик ИЕП, построенных на основе гибридных ЭМЭ в случае применения в ССТ, показал, что важными являются следующие параметры и характеристики: энергетические показатели и параметры надежности, параметры стабилизации.

Перспективным является применение гибридных ЭМЭ в ИЕП для ССТ, поскольку позволяет регулировать работу ИЕП в широком диапазоне настроек (стабилизировать ток нагрузки в широком диапазоне изменения сопротивления нагрузки), появляется возможность трансформации электрической энергии, изменения и настройки параметров резонансного контура при изменении сопротивления нагрузки.



VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены основные параметры и характеристики ИЕП, которые необходимо учитывать при проектировании и разработке ССТ на основе ИЕП, пути улучшения их параметров и характеристик и основные тенденции развития ИЕП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хазиева Р. Т. Система стабилизации тока на основе гибридного электромагнитного элемента // Севергеоэкотех-2016: сборник XVII Международной молодежной научной конференции молодых учёных. Ухта: Изд-во УГТУ, 23 – 25 марта 2016. Часть 1. С. 79 – 81.
- [2] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Индуктивно-емкостные преобразователи. Применение в электротехнике и обзор схмотехнических решений // Ресурсо-энергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов: сб. тр. 3-й Всерос. науч.-практ. конф. Филиал ГОУ ВПО МЭИ (ТУ). Волжский, 2010. С. 120 – 125.
- [3] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Функциональная интеграция как техническое средство развития электромагнитных элементов // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвуз. сб. науч. тр. с междунар. уч. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. С. 135 – 138.
- [4] Конесев С. Г. Многофункциональный интегрированный электромагнитный компонент. Пат. № 2585248. Заявл. 13.04.2012. Опубл. 27.05.2016. Бюл. №15.
- [5] Хазиева Р.Т. Анализ динамики патентования индуктивно-емкостных преобразователей для систем стабилизации тока // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2016. – т. 12. – №4. – С. 55 – 61.
- [6] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Анализ основных характеристик, показателей и параметров индуктивно-емкостных преобразователей // Электропривод, электротехнологии и электрооборудование предприятий: сб. науч. тр. III Междунар. (VI Всерос.) науч.-техн. конф. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. С.
- [7] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Оценка показателей надежности многофункциональных интегрированных электромагнитных компонентов [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал.– №1. URL: <http://www.science-education.ru/121-18445> (дата обращения: 09.04.2015).
- [8] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т., Кириллов Р. В. The research of stabilization properties of inductive-capacitive converters based on the two-sections hybrid electromagnetic elements // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics): collection of X International IEEE Scientific and Technical Conference, in IEEE Xplore Digital Library. Омск: Изд-во ОГТУ, 2016. С. 1–7. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819030.
URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7819030&isnumber=7818960>.
- [9] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Анализ стабилизационных свойств индуктивно-емкостных преобразователей при различных способах подключения гибридного электромагнитного элемента // Электротехнические системы и комплексы, 2017. №1. С.
- [10] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т., Кириллов Р. В., Конев А. А. The research of stabilization properties of inductive-capacitive converters which are based on hybrid electromagnetic elements // Journal of Physics: Conference Series, 2017. vol. 803.
- [11] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Анализ режимов стабилизации индуктивно-емкостного преобразователя на основе гибридного электромагнитного элемента // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвуз. сб. науч. тр. с междунар. уч. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. С. 461 – 467.
- [12] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Расчет коэффициента стабилизации тока нагрузки индуктивно-емкостного преобразователя по частотным характеристикам многофункционального интегрированного электромагнитного компонента // Свидетельство о регистрации программы №2017611392 от 02.02.2017.
- [13] Конесев С. Г., Хазиева Р. Т. Анализ динамики патентования индуктивно-емкостных преобразователей для систем стабилизации тока // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2016. Т. 12. №4. С. 55 – 61.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

С. Г. Конесев, к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭЭП ФГБОУ ВО УГНТУ, e-mail KonesevSG@yandex.ru.
Р. Т. Хазиева, аспирант кафедры ЭЭП ФГБОУ ВО УГНТУ, e-mail khazievart@mail.ru.



УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ НА ЯВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА, ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

Е. В. Птицына, Д. В. Птицын

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Совершенствование электрического режима одно из перспективных направлений повышения эффективности электротехнических устройств, работающих на явлении электрического разряда. Для разработки эффективных режимов подобных устройств необходимо исследовать изменение физических и энергетических параметров при различных электрических режимах. В работе излагаются результаты исследований газоразрядных излучателей низкого давления (НД) в следующих электрических режимах: обычном – при питании током (напряжением) частотой 50 Гц, нового с питанием выпрямленным током, нового с питанием током сложной формы (ТСФ) с постоянной составляющей, ТСФ без постоянной составляющей. Использованы методы физического моделирования. Экспериментально установлено, за счет изменения электромагнитной составляющей при том же значении цветовой температуры изменяется выход фотонов с поверхности диффузора, что обусловлено увеличением подвижности заряженных частиц в электрическом разряде низкого давления при использовании тока сложной формы, и проявляется в увеличении интегральных показателей – освещенности, светового потока при снижении мощности, потребляемой из сети и повышении коэффициента мощности.

Ключевые слова – Электротехническое устройство, электрический разряд, ток сложной формы, мощность, коэффициент мощности.

1. ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности электротехнических устройств, работающих на явлении электрического разряда в газах (или парах металлов) является актуальным и в настоящее время и возможно различными способами: за счет применения новых материалов, изменения физических параметров и др. [1]. Перспективным направлением является совершенствование электрического режима на основе применения ТСФ с постоянной составляющей или без нее. Влияние параметров электрических режимов с питанием ТСФ на интегральные характеристики темных и светлых инфракрасных излучателей рассмотрены в [2 – 4]. В данной работе исследованы устройства, работающие на явлении электрического разряда в газах или парах металлов.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы: исследование влияния электрических режимов на параметры электротехнических устройств, работающих на явлении электрического разряда в газах (или парах металлов) для разработки эффективных режимов работы. Опыты выполнены на физической модели установки с газоразрядным излучателем низкого давления: мощность излучателя 20 Вт. В обычном режиме в качестве источника питания использован однофазный трансформатор 220/130 В. Во втором режиме дополнительно подключали выпрямительный блок, собранный по мостовой схеме выпрямления. В третьем режиме, для регулирования формы питающего напряжения, предусматривался дроссель (нелинейная индуктивность), а в четвертом режиме в схеме источника питания не подключали выпрямительный блок. Используемые приборы:



оптоволоконный спектрометр типа AvaSpec-ULS 2048-USB2, в комплекте – программное обеспечение AvaSoft-ALL; для измерения электрических параметров применялся анализатор качества электрической энергии типа ANALYST 2060.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты экспериментов, выполненных на физической модели электротехнического устройства, работающего на явлении электрического разряда (излучателе мощностью 20 Вт) для четырех электрических режимов представлены в табл. 1. На рис.1 в качестве примера представлен спектр излучения для нового режима с питанием ТСФ без постоянной составляющей. На рис. 2 дана соответствующая ему цветовая диаграмма с интегральными показателями: поверхностной плотностью потока излучения, освещенностью, световым потоком, цветовой температурой, числом фотонов на поверхности диффузора. Экспериментально установлено, что при регулировании спектра частот питающего напряжения (тока) изменяются интегральные характеристики излучателя, увеличивается подвижность частиц (число фотонов) при том же значении цветовой температуры (см. обычный режим и новый с питанием ТСФ без постоянной составляющей). Это проявляется в увеличении интенсивности линий в спектре излучения. Например, при длинах волн 430, 550, 610 нм: 22000, 31000, 33000 в обычном режиме и 22000, 32000, 34000 в новом режиме с питанием ТСФ без постоянной составляющей. Значение цветовой температуры в указанных режимах было равно 3019 °К.

ТАБЛИЦА I
ИССЛЕДУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА,
РАБОТАЮЩЕГО НА ЯВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

Наименование электрического режима	Мощность из сети			Коэффициент мощности	Освещенность, лк	Цветовая температура °К	Число фотонов на поверхности диффузора, мкмоль
	Активная, P, кВт	Реактивная, Q, квар	Полная, S, кВА				
1. Обычный режим: переменный ток, 50 Гц	0,022	0,102	0,105	0,22	268,5÷267,2	3019,7	2,72 e ⁻⁵ ÷2,92 e ⁻⁵
2. Новый режим: постоянный ток (выпрямленный)	0,021	0,092	0,095	0,22	246,0÷253,7	3011,5	3,159 e ⁻⁵ ÷3,51 e ⁻⁵
3. Новый режим: ТСФ с постоянной составляющей	0,012	0,014	0,020	0,63	268,7÷272,1	3016,9	3,36 e ⁻⁵ ÷3,72 e ⁻⁵
4. Новый режим: ТСФ без пост-й составляющей	0,012	0,014	0,019	0,65	276,9÷277,6	3019,4	3,25 e ⁻⁵ ÷3,52 e ⁻⁵

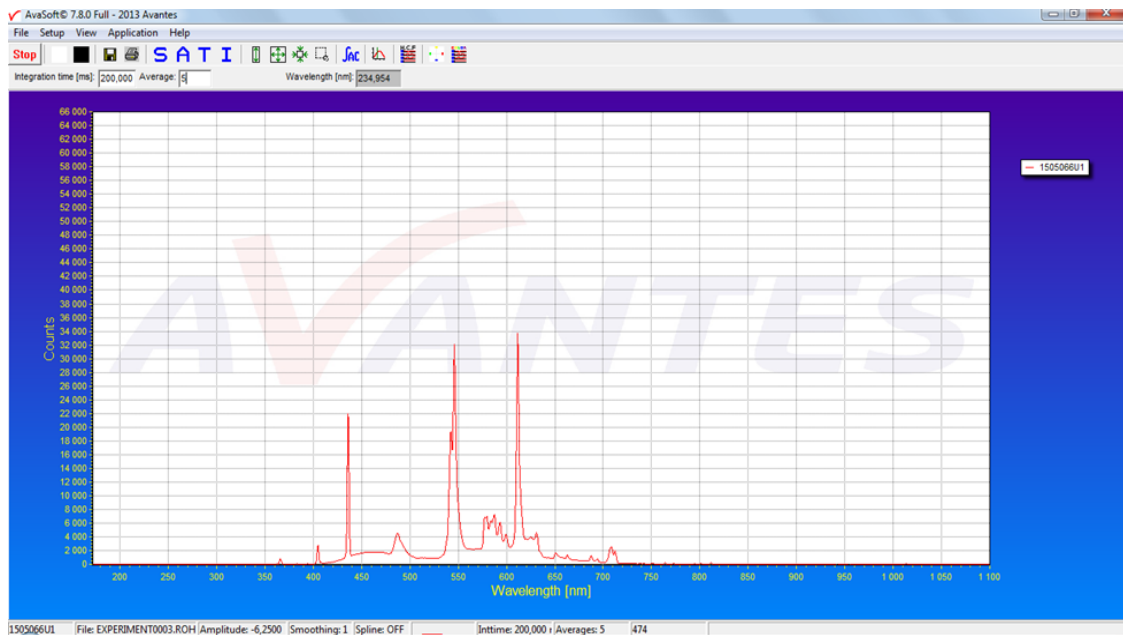


Рис. 1. Окно спектра излучения газоразрядного источника НД мощностью 20 Вт (режим новый с питанием ТСФ без постоянной составляющей)

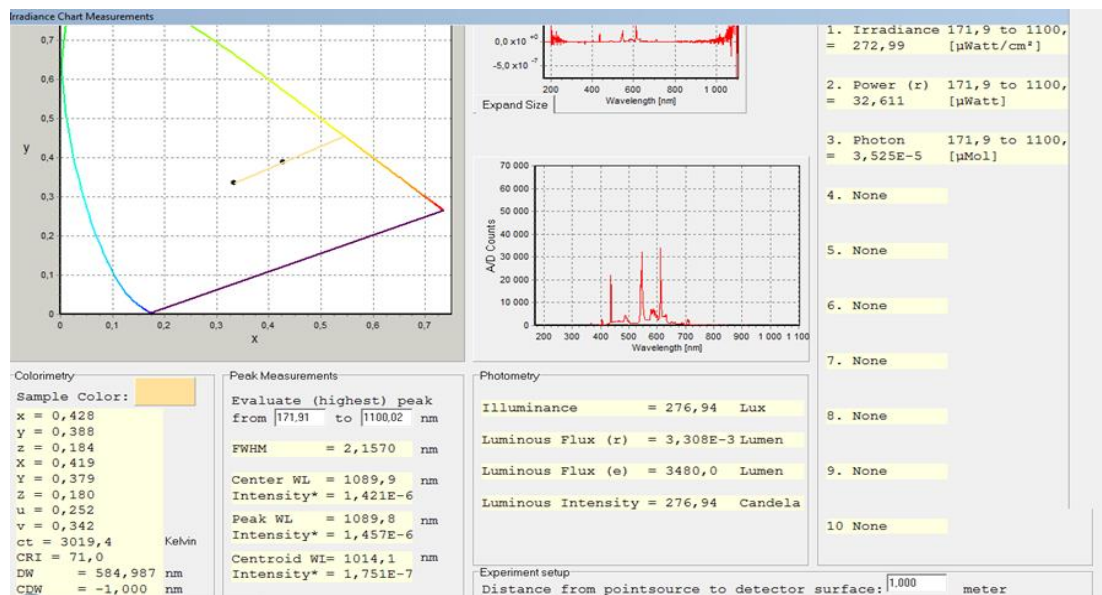


Рис. 2. Окно интегральных параметров газоразрядного излучателя НД (новый режим с питанием ТСФ без постоянной составляющей)

Аналогичные результаты получены при напряжении на излучателе 220 В [3]. В качестве источника питания был использован ЛАТР типа SUNTEK с цифровым дисплеем мощностью 2000 ВА, диапазон изменения напряжения 0 – 300 В. Анализ спектров показал, что в обычном режиме при напряжении на излучателе 220 В наибольшая интенсивность излучения также имела место при длинах волн 430, 550, 610 нм: 40 000, 63 000, 55 000 (при значении поверхностной плотности потока излучения $235,87 \text{ мкВт/см}^2$, цветовой температуры $3235,9 \text{ °К}$ и числе фотонов на поверхности диффузора $3,36 \cdot 10^{-5} \div 3,88 \cdot 10^{-5}$). При ТСФ с постоянной составляющей при напряжении на



излучателе 200 В – 30 000, 56 000, 45 000 (поверхностная плотность потока излучения 293,38 мкВт/см², цветовая температура 3192,5 °К, число фотонов на поверхности диффузора $3,349 \cdot 10^{-5} \div 3,67 \cdot 10^{-5}$). При ТСФ без постоянной составляющей при напряжении на излучателе 200 В – 32 000, 56 000, 47 000 (поверхностная плотность потока излучения 424,6 мкВт/см², цветовая температура 3172,9 °К, число фотонов на поверхности диффузора $3,78 \cdot 10^{-5} \div 3,826 \cdot 10^{-5}$).

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, за счет изменения электромагнитной составляющей при том же значении цветовой температуры изменяются физические, энергетические параметры электротехнического устройства, работающего на явлении электрического разряда. Это проявляется в изменении интегральных характеристик излучателя, повышении коэффициента мощности, снижении мощности, потребляемой из сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Евтюкова И. П., Кацевич Л. С., Некрасова Н. М., Свенчанский А. Д. Электротехнологические промышленные установки: Учебник для вузов / Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергоиздат. 1982. – 400 с.
- [2] Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б., Кислов А. П. Тепловизионные исследования температурных полей светлых инфракрасных излучателей // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век : материалы международной научно-практической интернет конференции (15 марта- 30 июня 2016 г.). – Орел : ОГУ им. И.С. Тургенева. 2016. – С. 128 – 133.
- [3] Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. К вопросу о совершенствовании электрического режима в электротехнологических установках, работающих на явлении электрического разряда // автоматизация в электроэнергетике и электротехнике : материалы II Международной научно-технической конференции. – Пермь, ПНИПУ, 2016. – С. 230 – 235.
- [4] Птицына Е. В., Птицын Д. В., Кувалдин А. Б. Процессы в темных излучателях при питании током сложной формы // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. – Воронеж, ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2015. №8, часть 2 (19 – 2). – С.344 – 348.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. В. Птицына, д.т.н., профессор кафедры ТиОЭ, e-mail evptitsyna@yandex.ru
Д. В. Птицын, ассистент кафедры ТиОЭ, e-mail fdimon@ostu



УДК 621.313.17

ЧИСЛЕННОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НЕЗАМКНУТОГО ТИПА

Е. Г. Андреева, И. А. Семина, Е. А. Новиков

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье приводятся результаты численного и экспериментального расчета магнитных систем незамкнутого типа различных конфигураций и назначений: железоотделителя с концентрирующей насадкой в виде усеченного конуса и гибридной магнитной системы в виде П-образного электромагнитного железоотделителя с концентрирующими насадками седловидной формы. Цель: сравнить результаты численного и натурального экспериментов; задача: оценить погрешности вычислений, проведенных с помощью программного пакета ELCUT профессиональная версия и измерений, полученных на экспериментальной стенде. Как показали исследования гибридной магнитной системы незамкнутого типа погрешность результатов расчета от измеренных значений составляет не более 10 %.

Ключевые слова – гибридная магнитная система незамкнутого типа, вектор магнитной индукции, программный пакет, П-образный железоотделитель, концентрирующая насадка.

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные методики расчета энергоэффективности тех или иных электротехнических устройств (ЭУ) постоянно совершенствуются, при этом предлагая новую или модернизируя существующую методику расчета ЭУ, высказывается суждение о ее применимости, оперируя параметром «Точность расчетной модели ЭУ». При построении численных моделей ЭУ, необходимо стремиться к максимальному повышению точности. Главным требованием является критерий практики, т. е. результат экспериментального исследования ЭУ.

Точность измерений и расчетов принято характеризовать абсолютными ошибками (погрешностями):

$$\Delta = |P - \bar{P}|$$

и относительными ошибками (погрешностями):

$$\delta = \frac{|P - \bar{P}|}{P},$$

где P и \bar{P} – результаты натурального (физического) и численного экспериментов [1], в нашем случае – это для значений вектора магнитной индукции.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей статье представлен расчет относительной ошибки между расчетными численными значениями магнитной индукции (мТл и Тл) в программе ELCUT и значениями магнитной индукции (мТл и Тл), полученных в ходе натурального эксперимента для железоотделителей различных конструкций.

Опытный образец представляет собой железоотделитель с концентрирующей насадкой в виде усеченного конуса (Рис. 1, б), изготовленного из электротехнической стали диаметром 90 мм и высотой 25 мм с медной обмоткой. Число ампер-витков обмотки опытного образца составляет $I_w = 2225$ А. Насадка в виде усеченного конуса изготовлена из электротехнической стали, имеет диаметр нижней части 40 мм, диаметр верхней части 20 мм и высоту 45 мм. При экспериментальном исследовании опытного образца измерительные приборы фиксировали следующие показания: напряжение на зажимах обмотки $U = 14,26$ В, ток $I = 0,089$ А, активное сопротивление $R = 160$ Ом. Физический эксперимент выполнен на экспериментальном стенде с применением цифрового миллитесламетра ТПУ (Рис. 2), предназначенного для исследований магнитных систем различного назначения и контроля уровней параметров магнитных полей различных объектов на соответствие требованиям СанПиН 2.2.4.3359-16, для измерений магнитной индукции вблизи поверхности образцов и деталей. Пределы основной относительной погрешности δ_0 при измерении постоянного магнитного поля $\delta_0 = \pm 2,0$ %.

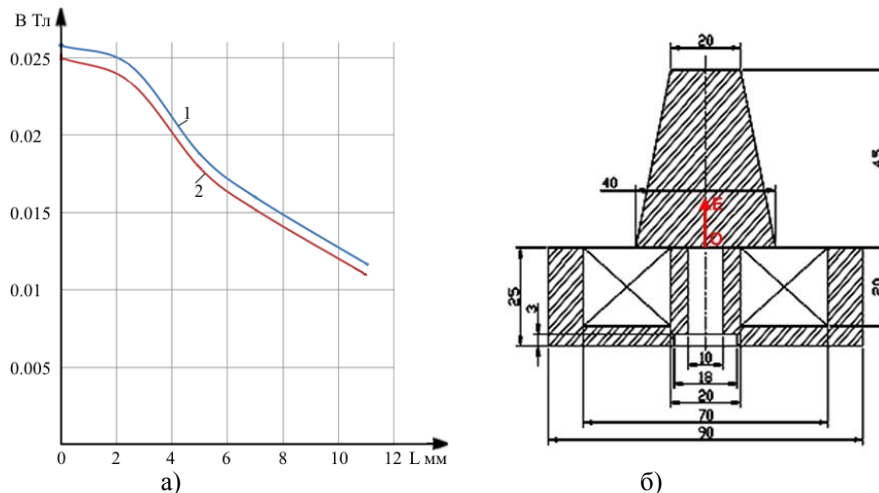


Рис. 1. Зависимость магнитной индукции (Тл) по направлению L (ОЕ) железоотделителя с концентрирующей насадкой в виде усеченного конуса 1 – натурный эксперимент, 2 – численный расчет в ELCUT (а); чертеж железоотделителя с концентрирующей насадкой в виде усеченного конуса (б)



Рис. 2. Цифровой миллитесламетр ТПУ

По зависимостям магнитной индукции B от L (Рис.1, б) была выполнена оценка погрешности магнитной индукции, полученной в результате проведения численного и натурального экспериментов железоотделителя с концентрирующей насадкой в виде усеченного конуса (Табл. I).

Далее исследовался образец гибридной магнитной системы незамкнутого типа – железоотделитель, состоящий из П-образного электромагнитного железоотделителя и двух концентрирующих насадок седловидной формы (Рис. 3). П-образный электромагнитный железоотделитель представляет собой сердечник, изготовленный из электротехнической стали высотой 160 мм и длиной 440 мм, состоящий из двух полюсов и двух обмоток возбуждения, подключенных к источнику постоянного тока. Расстояние между полюсными наконечниками составляет 120 мм [2]. Концентрирующие насадки железоотделителя представляют собой сердечник, изготовленный из электротехнической стали седловидной формы: диаметр нижней части – 40 мм, диаметр верхней части – 20 мм, высота 60 мм. По верхней части насадок выполнена выемка радиусом 2,5 мм на глубину 3 мм, а также имеются два прямых участка шириной 2,9 мм.

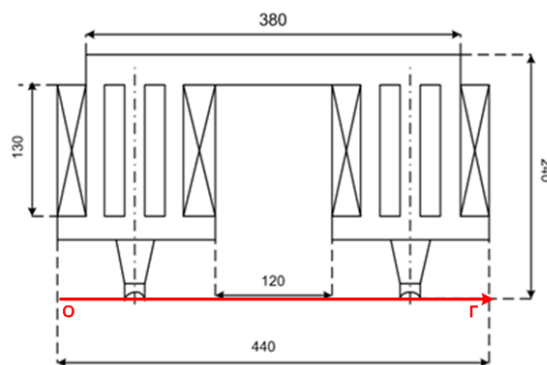


Рис. 3. Чертеж гибридной магнитной системы незамкнутого типа – железоотделитель, состоящий из П-образного электромагнитного железоотделителя и двух концентрирующих насадок седловидной формы

Графики для расчета погрешности магнитной индукции, полученной в результате численного и натурального экспериментов гибридной магнитной системы, представлены на рис. 4.

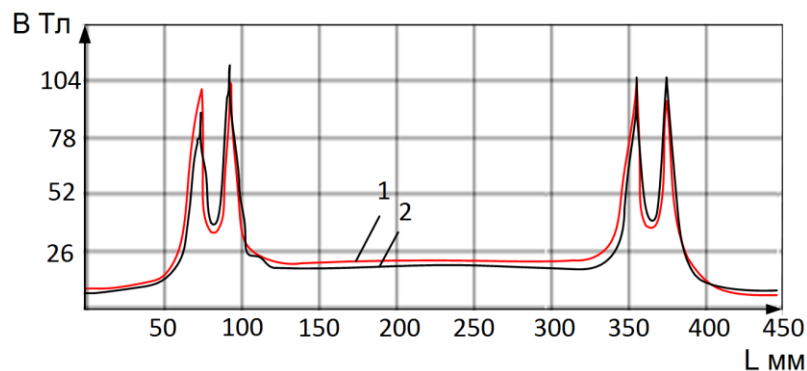


Рис. 4. График вектора магнитной индукции B гибридной магнитной системы, состоящей из П-образного электромагнитного железоотделителя с концентрирующими насадками седловидной формы; 1 – натуральный эксперимент; 2 – численный расчет в ELCUT.

III. ТЕОРИЯ

Оценка погрешности проведена критерием Фишера, который в основном применяется для сравнения малых выборок. Для этого есть две причины. Во-первых, вычисления критерия довольно громоздки и могут занимать много времени или требовать мощных вычислительных ресурсов. Во-вторых, критерий довольно точен, что позволяет его использовать в исследованиях с небольшим числом наблюдений. Вследствие этого оценка погрешности между экспериментальными и расчетными



значениями магнитной индукции проводится в пределах доверительного интервала. Для первой конструкции железотделителя L изменяется от 0 до 11 мм по контуру ОЕ (рис 1,б) при общей длине 45 мм.

Для оценки погрешности выбран доверительный интервал, который показывает с какой вероятностью случайный ответ попадет в доверительный интервал, можно понимать её как точность выборки. Как правило, используется 95 %, но в условиях требования малых затрат и для небольших выборок, когда высокая точность не нужна, вероятность можно понизить до 90 % и даже до 85 % (главное не забыть учесть это в процессе анализа и в выводах). И наоборот, чем большая выборка исследуется, тем выше можно получить точность исследуемых данных. Более 10 графиков строилось при проведении экспериментов. Брался небольшой интервал с шагом 2,5 мм с наиболее встречающимися значениями индукции для данной конструкции.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Значения параметров расчета погрешности магнитной индукции в зависимости от расстояния от магнитопровода до насадки по конструкции и графикам железотделителя с концентрирующей насадкой в виде усеченного конуса (рис. 1) приведены в Табл. I.

ТАБЛИЦА I
ЗНАЧЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ КОНЦЕНТРАТОРА С НАСАДКОЙ
В ВИДЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА, ПОЛУЧЕННЫЕ ЧИСЛЕННЫМ И НАТУРНЫМ
ЭКСПЕРИМЕНТАМИ ДЛЯ РАСЧЕТА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

L, мм	В,Тл натуральный эксперимент	В,Тл численный расчет	Относительная погрешность Δ%
0	0,0258	0,025	3,101
2.5	0,0245	0,0234	4.408
5	0,0188	0,0179	4,787
7	0,016	0,0152	5,000
11	0,0117	0,011	5,983

Средняя относительная погрешность составляет 4,656 %.

Выполнен расчет относительной погрешности магнитной индукции (Табл. II), полученной в результате численного и натурального экспериментов гибридной магнитной системы незамкнутого типа (рис. 3, 4).

$$\delta_1 = \frac{1}{11} \cdot 100\% = 9,091\% ,$$

$$\delta_2 = \frac{1}{14,5} * 100\% = 6,897\% ,$$

$$\delta_3 = \frac{1,5}{24} * 100\% = 6,25\% ,$$

$$\delta_4 = \frac{1,3}{65} * 100\% = 2\% ,$$

$$\delta_{cp} = \frac{9,091 + 6,897 + 6,25 + 2}{4} * 100\% = 6,059\% .$$

Средняя относительная погрешность составляет 6,059 %.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



ТАБЛИЦА II
ЗНАЧЕНИЯ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ П-ОБРАЗНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ЖЕЛЕЗОТДЕЛИТЕЛЯ С КОНЦЕНТРИРУЮЩИМИ НАСАДКАМИ СЕДЛОВИДНОЙ ФОРМЫ,
ПОЛУЧЕННЫЕ ЧИСЛЕННЫМ И НАТУРНЫМ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ ДЛЯ РАСЧЕТА
ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

L, мм	B, мТл натуральный эксперимент	B, мТл Численный эксперимент	Относительная погрешность $\Delta\%$
0	11	12	9,091
54	14,5	15,5	6,897
62,5	24	25,5	6,25
87,5	65	66,3	2

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При проведении измерений на стенде магнитных систем железоотделителей (незамкнутого типа), выявлено совпадение результатов расчета в программе ELCUT с результатами измерений на экспериментальном стенде с точностью до 10 %, что объясняется использованием плоскопараллельной двумерной модели для моделирования железоотделителей: потоки рассеивания, существующие в устройстве имеют z-составляющую вектора магнитной индукции, которая в двумерной плоскопараллельной модели не учитывается.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку точность расчета гибридной магнитной системы незамкнутого типа, представляющей П-образный электромагнитный железоотделитель с концентрирующими насадками седловидной формы на каждом полюсном наконечнике, составляет не более 10 %, одной из причин может быть использование для расчета плоскопараллельной модели данной конструкции магнитной системы, следовательно следующий шаг в ее исследовании – использование трехмерной гибридной модели магнитной системы незамкнутого типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Корн Г, Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Под общей ред. И.Г. Абрамовича. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
- [2] Demin A.V., Andreeva E.G., Semina I.A., "The Study of Electromagnetic Processes and Characteristics Systems with Open Magnetic Core," 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings 2015, pp. 7146974. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7146974

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. Г. Андреева, д. т. н., профессор, профессор кафедры «Электрическая техника», e-mail: lenandr02@yandex.ru
И. А. Семина, к. т. н., доцент кафедры «Электрическая техника», e-mail: semina_ia@mail.ru.
Е. А. Новиков, студент группы Э-134, кафедра «Электрическая техника», e-mail: semina_ia@mail.ru



УДК 621.313.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ РАССЕЙЯНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

О. А. Лысенко, А. В. Симаков, Л. Ю. Шелехина

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье рассматривается моделирование синхронного магнитоэлектрического генератора ветроэнергетической установки. Расчет модели проводится с использованием метода конечных элементов. Целью работы является построение геометрической модели поперечного сечения рассматриваемого объекта и оценка ее адекватности. После определения геометрии модели проводится расчет магнитного поля в сечении, определение плотности поля, направления и величины магнитных потоков. По результатам расчетов проводится визуальная оценка и измерение потоков рассеяния. Полученные результаты, с учетом погрешности и принятых допущений, соответствуют теоретическим ожиданиям.

Ключевые слова – синхронный генератор, постоянные магниты, потоки рассеяния, ветроэнергетика, метод конечных элементов.

I. ВВЕДЕНИЕ

Анализ основных тенденций в энергетике за последние годы показывает, что в мире растет интерес к возобновляемым источникам энергии [1].

Одной из наиболее динамично развивающихся отраслей нетрадиционной энергетики в России является ветроэнергетика [2]. Ветроэнергетические станции (ВЭС) преобразуют энергию воздушных масс в механическую энергию движения вала электрического генератора. Устройство для подобного преобразования называется ветроэнергетической установкой (ВЭУ).

В последнее время в качестве ветрогенераторов большой популярностью пользуются синхронные машины с постоянными магнитами на роторе [3]. Они обладают меньшими габаритами, большей надежностью и лучшими технико-экономическими показателями, чем синхронные машины с классической обмоткой возбуждения.

Поскольку именно генератор определяет основные энергетические характеристики ВЭУ, рассмотрим его более подробно.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При рассмотрении синхронной машины интерес представляют магнитные потоки рассеяния ротора. Они, являясь частью общей магнитодвижущей силы машины, создают ЭДС рассеяния, определяют магнитные потери, влияют на КПД машины.

Для подробного рассмотрения потоков рассеяния необходимо построить модель поперечного сечения магнитоэлектрической синхронной машины. Для построения воспользуемся программным продуктом Elcut 6.2. Это интегрированная диалоговая система программ, позволяющая решать плоские и осесимметричные задачи различных типов. С помощью ELCUT можно решать сложные задачи расчета полей и теории упругости на персональных компьютерах, не прибегая к помощи больших ЭВМ или рабочих станций [4]. Основным методом решения задач в Elcut является метод конечных элементов.

Модель состоит из статора с медной обмоткой и явнополюсного ротора с постоянными магнитами на основе сплава Ne-Fe-B. Ротор и статор набраны из листов электротехнической стали СТ 2013. Плотность тока в обмотке статора не превышает 7 А/мм^2 , что соответствует статору асинхронной машины мощностью 5,5 кВт [5].

III. ТЕОРИЯ

Картина поля магнитоэлектрической синхронной машины выглядит следующим образом: силовые линии поля начинаются на полюсе магнита, переходят воздушный зазор и через магнитопровод статора замыкаются на противоположном полюсе магнита (рис. 1).

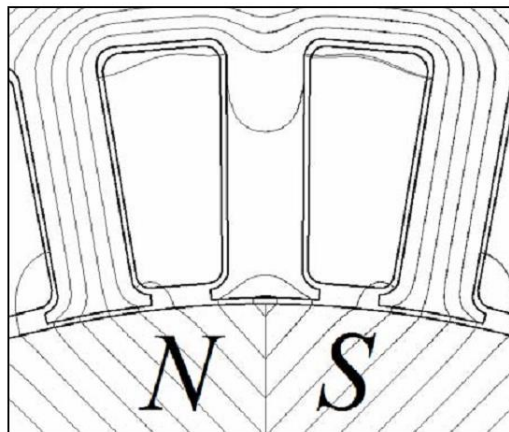


Рис. 1. Картина магнитного поля участка электрической машины от постоянных магнитов [6]

Магнитный поток в полюсах ротора несколько больше, чем основной магнитный поток в воздушном зазоре на величину потоков рассеяния. Разницу этих магнитных потоков можно охарактеризовать коэффициентом магнитного рассеяния полюсов ротора, представляющего собой отношение магнитного потока в полюсах ротора к основному магнитному потоку в воздушном зазоре.

Для синхронных явнополюсных машин коэффициент магнитного рассеяния полюсов ротора $\delta_r = 1,1 - 1,4$ в зависимости от степени магнитного насыщения магнитопровода машины и числа полюсов [7].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

После полного определения блоков модели и проведения расчета получаем картину силовых линий магнитного поля машины с цветовой картиной, характеризующей плотность магнитного потока (Рис.2). Для того, чтобы визуальным образом определить наличие потоков рассеяния, необходимо увеличить густоту силовых линий и более подробно рассмотреть область вблизи ферромагнитных концентраторов. Силовые линии потоков рассеяния не переходят в зубцы статора через воздушный зазор, а замыкаются в воздушном зазоре с соседними концентраторами.

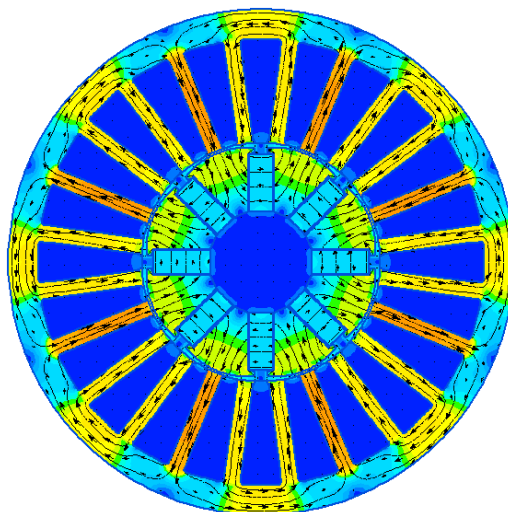


Рис. 2. Модель магнитоэлектрического синхронного генератора

Для определения начального магнитного потока проводим контур внутри ферромагнитного концентратора и с помощью встроенного интегрального калькулятора просчитаем магнитный поток через этот контур (рис. 3). В данном случае его значение $\Phi_1=0,04427$ Вб.

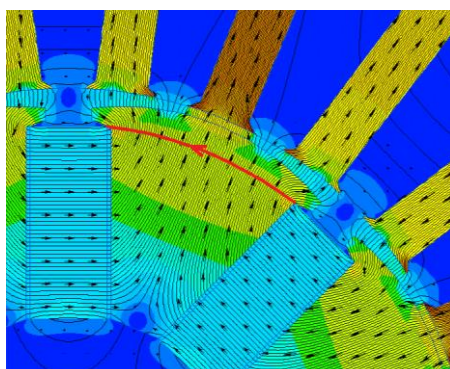


Рис. 3. Определение магнитного потока через контур внутри ферромагнитного концентратора

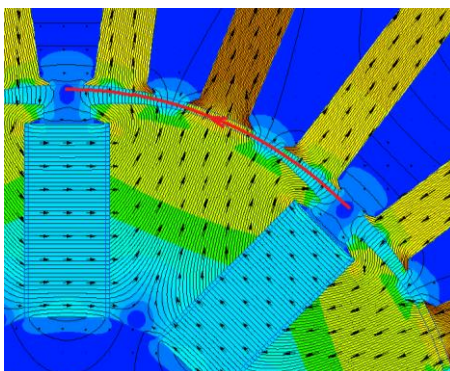


Рис. 4. Определение магнитного потока через контур в воздушном зазоре

Для определения конечного магнитного потока проводим контур в воздушном зазоре над концентратором и с помощью интегрального калькулятора, просчитываем магнитный поток через этот контур (рис. 4). В данном случае его значение



$\Phi_2 = 0,04009$ Вб. Разностью потоков на рассматриваемом участке определяем поток рассеяния.

$$\Phi_{РАС} = \Phi_1 - \Phi_2 = 0,04427 - 0,04009 = 0,00418 \text{ Вб} \quad (1)$$

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученная в результате расчета модель имеет корректное распределение плотности магнитного потока, картина поля симметрична. На основании этого можно утверждать, что построенная модель является адекватной.

При измерении магнитных потоков был определен поток рассеяния, вычисленная величина которого составила 0,00418 Вб, что составляет 9,4% от магнитного потока в ферромагнитном концентраторе, что является несколько меньше ожидаемого значения (от 10 до 40 %). Это обосновано тем, что мы рассматриваем идеализированную модель, а также погрешностями при проведении контура, выбранного метода расчета и средства реализации.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования была построена геометрическая модель поперечного сечения магнитоэлектрического синхронного генератора ветроэнергетической установки. Распределение плотности магнитного потока, густота, форма и взаимное расположение силовых линий поля соответствуют теоретическим ожиданиям, что позволяет сделать вывод о корректности построенной модели. С помощью встроенных модулей программы Elcut 6.2 было осуществлено измерение потока рассеяния на участке в пределах одного ферромагнитного концентратора. Полученное значение, с учетом допущений и погрешностей, соответствует теоретическому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ковалев Л. К. и др. Многополюсные синхронные генераторы с постоянными магнитами для ветроэнергетических установок // Электричество, 2013. № 8. С. 2 – 8.
- [2] Бубенчиков А. А., Айдосов Д. С., Коломеец Н. А. Использование магнитных подвесов при проектировании ВЭУ с вертикальной и горизонтальной осью вращения // Молодой ученый., 2016. № 22–3. С. 7 – 11.
- [3] Бубенчикова Т. В., Молодых В. О., Руденок А. И., Данилов Д. И., Шевченко Д. Ю. Выбор электрогенераторов для ВЭУ // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 12–3 (54). С. 43–50.
- [4] Руководство пользователя ELCUT. – СПб. : ПК TOP, 2016. – 292 с.
- [5] Проектирование электрических машин : учеб. для ВУЗов / И. П. Копылов [и др.]. – М. : Юрайт, 2011. – 767 с.
- [6] Голубев А.Н., Мартынов В.А., Алейников А.В. Математическая модель для расчета электромагнитных сил в синхронном электроприводе с постоянными магнитами // Вестник Ивановского государственного энергетического университета, 2015. № 1. С. 10 – 13.
- [7] Зубков Ю.В., Кузнецова Ю.Н. Определение параметров и коэффициента рассеяния магнитной системы синхронного генератора с магнитоэлектрическим возбуждением // В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии Материалы международной научно-технической конференции : (XVIII Бенардосовские чтения), 2015. С. 128 – 131.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

О. А. Лысенко канд. техн. наук, доцент, зам. зав. каф. «Электрическая техника», e-mail deolas@mail.ru.

А. В. Симаков, магистрант, e-mail simak_off94@mail.ru.

Л. Ю. Шелехина, магистрант, e-mail shelekhina.lubov@yandex.ru.



УДК 621.314

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БЛОКОМ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

А. Е. Белодедов, П. В. Беляев, О. А. Лысенко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье рассматривается вопрос создания модели частотно-регулируемого электропривода, с подключенным к нему через DC-DC преобразователь блоком суперконденсаторов. Описывается действие схемы данного вида электрического привода в тормозном и двигательном режимах работы. В результате моделирования было получено, что использование суперконденсаторов в частотно-регулируемом электроприводе позволяет сберечь значительную часть энергии за счет накопления рекуперативной энергии привода в блоке суперконденсаторов.

Ключевые слова – Суперконденсатор, частотно-регулируемый электропривод, энергосбережение.

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные регулируемые электроприводы, применяемые в таких установках, как лифты, промышленные и портовые краны, металлорежущие станки и т.д., характеризуются низким уровнем баланса между средней и пиковой мощностями. Помимо этого, такие установки часто выполняют торможение при полной номинальной мощности. В стандартных регулируемых приводах, механическая энергия торможения обычно рассеивается на тормозном резисторе. Потери энергии при этом составляют от 30 % до 50 % потребляемой энергии. Сегодня, в условиях энергетического кризиса, эффективность электрического привода стала проблемой, которой необходимо срочное решение. Современные электроприводы чувствительны к нарушениям основного питания. Наиболее распространенным нарушением являются провалы напряжения, которые определяются мгновенным снижением действующего значения напряжения в диапазоне от 10 % до 90 % от номинального напряжения, а продолжительность провала составляет от половины цикла до минуты. Такие обрывы питания могут привести к остановке всей системы. Перебои в работе систем очень дороги и непозволительны, если привод применяется в важных производствах, системах добычи нефти или производстве стекла.

Регенеративные электрические приводы с суперконденсаторами в качестве устройств запаса энергии, обсуждались в различных статьях. Особое внимание эта концепция обратила на себя недавно с увеличением возможностей применения новых электрохимических двухслойных конденсаторов – суперконденсаторов [1]. Энергия торможения запасается в суперконденсаторе во время режим торможения. В течение следующего двигательного режима эта энергия отдается суперконденсатором. Электроприводы общего назначения с таким устройством запаса энергии могут быть использованы в лифтах, металлорежущих станках с частыми включениями и других устройствах с частыми торможениями [2]. Кроме того, суперконденсаторы могут предоставить энергию для непрерывной подачи энергии или увеличения устойчивости электропривода к провалам напряжения в важных промышленных установках, перерыв питания которых очень дорог.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей данного исследования является создание модели частотно-регулируемого электропривода с блоком суперконденсаторов и двунаправленным DC-DC преобразователем при помощи программного обеспечения MATLAB Simulink для изучения возможности сбережения энергии суперконденсаторами.

III. ТЕОРИЯ

Простейшим способом подключения суперконденсатора к электроприводу является его прямое включение в звено постоянного тока преобразователя частоты. Однако, этот вариант не позволяет полностью использовать энергию суперконденсатора. Поэтому наиболее распространенным способом является подключение суперконденсатора к звену постоянного тока преобразователя частоты через DC-DC преобразователь [3].

В данной работе рассматривается схема привода переменного тока с использованием блока суперконденсаторов и двунаправленного DC-DC преобразователя.

В тормозном режиме работы двигателя на преобразователь поступает ток i_{CON} , за счет чего происходит заряд суперконденсатора C_S и увеличение напряжения U_{CS} . В этом режиме активны транзистор VT1 и диод VD2, в то время как через транзистор VT2 и диод VD1 токи не протекают. В момент, когда транзистор VT1 открыт, за счет наличия в цепи суперконденсатора индуктивности L_{CS} , ток i_{CS} увеличивается постепенно и происходит заряд суперконденсатора. При этом ток транзистора i_{VT1} равен току i_{CON} . Когда VT1 закрыт, ток i_{CS} замыкается через диод VD2.

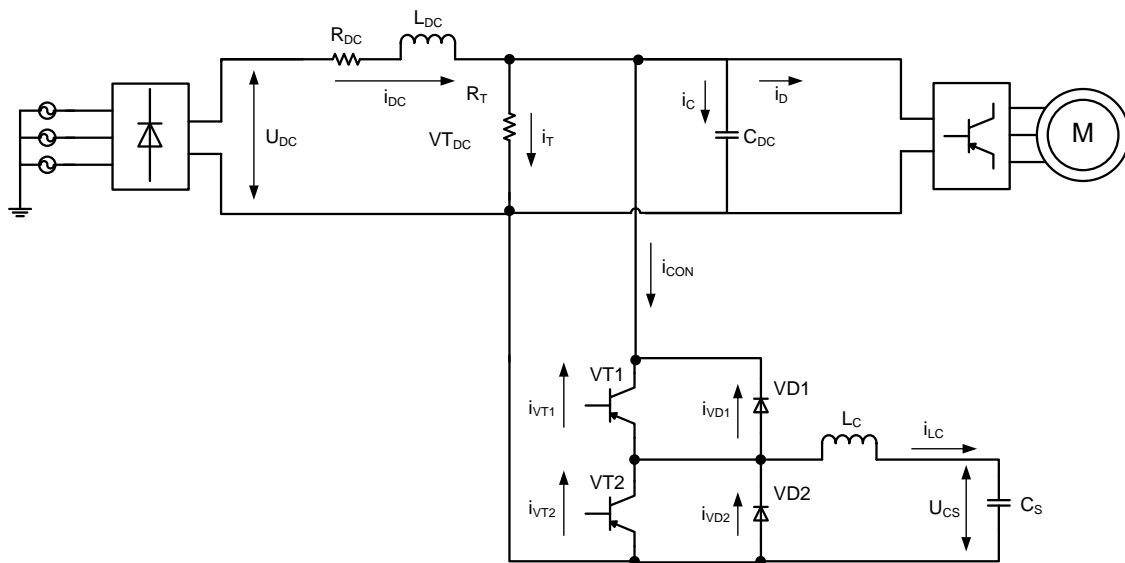


Рис. 1. Схема частотно-регулируемого электропривода с блоком суперконденсаторов и двунаправленным DC-DC преобразователем

При работе привода в двигательном режиме энергия, запасенная суперконденсатором, может быть использована для питания двигателя в моменты пуска, а также для совершения полезной работы. В этом режиме активны транзистор VT2 и диод VD1, в то время как транзистор VT1 и диод VD2 постоянно находятся в закрытом состоянии. В момент, когда транзистор VT2 открыт, ток i_{CS} постепенно увеличивается. Когда VT2 закрыт, ток i_{CS} замыкается через диод VD1. При этом ток диода i_{VD1} равен току i_{CON} .



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На основании данной схемы была составлена модель частотно-регулируемого электропривода с блоком суперконденсаторов в пакете программ MATLAB Simulink, представленная на рис. 2.

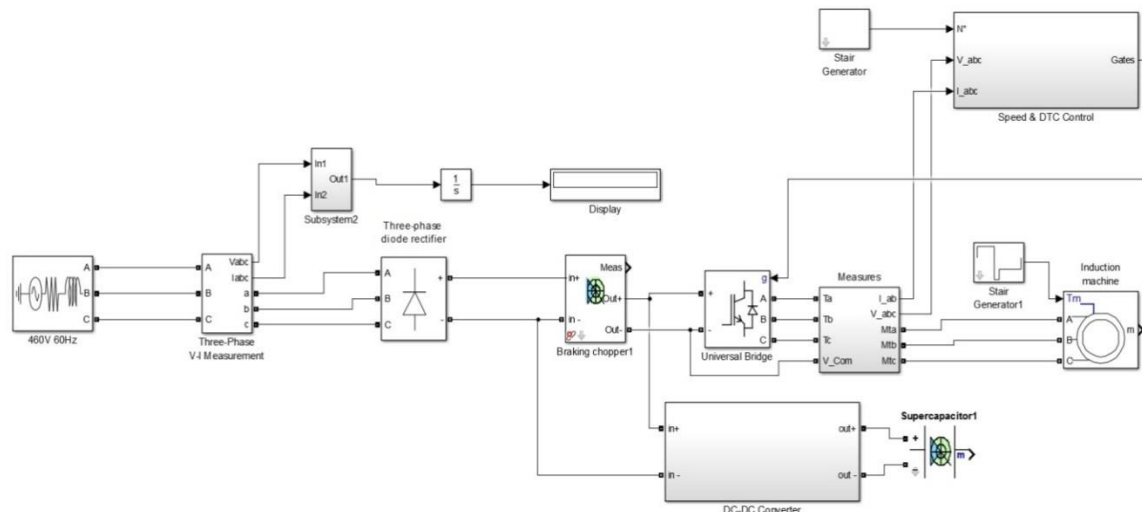


Рис. 2. Модель частотно-регулируемого электропривода с блоком суперконденсаторов в MATLAB Simulink

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате моделирования было получено, что при использовании блока суперконденсаторов в электроприводе с повторно-кратковременным режимом работы и циклом работы, равным 6 с, эффект энергосбережения составил около 15 кДж активной энергии при мощности двигателя 150 кВт.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была создана модель частотно-регулируемого электропривода с блоком суперконденсаторов, позволяющая рассчитывать режимы работы данных преобразователей в частотно-регулируемом электроприводе и оценивать их эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белодедов А. Е., Лысенко О. А. Возможности применения суперконденсаторов в силовой преобразовательной технике [Текст] // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность, 2015. №1. С. 118 – 123.
- [2] Ramesh G.P., Gowrishankar K.S., “Enhancement of Power Quality and Energy Storage Using A Three-Terminal Ultracapacitor and CCM Converter for Regenerative controlled Electric Drives”, International Journal of Emerging Research in Management & Technology, 2012, pp. 56 – 61.
- [3] Alexander E. Belodedov, Oleg A. Lysenko Model design of a controlled dc drive with a supercapacitor unit // X International IEEE Scientific and Technical Conference "Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines" (Dynamics) Conference Dates: 15–17 November, 2016, Omsk.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

О. А. Лысенко канд. техн. наук, доцент, зам. зав. каф. «Электрическая техника», e-mail deolas@mail.ru.
А. Е. Белодедов, магистр, e-mail funkyabe@gmail.com
П. В. Беляев, к. т. н., доцент кафедры «Электрическая техника», e-mail: polly110@yandex.ru



УДК 621.31

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Е. М. Приходько, К. В. Хацевский

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Электроприводы потребляют до 70 % вырабатываемой электроэнергии, поэтому наиболее существенная экономия электроэнергии может быть достигнута при использовании регулируемых электроприводов для управления технологическими процессами, что в сочетании с возможностями автоматизации может обеспечить оптимальное использование электроэнергии и других ресурсов. В статье анализируются и представляются основные решения и способы, направленные на улучшения энергосберегающих технологий в автоматизированном электроприводе.

Ключевые слова – энергосбережение, автоматизированный электропривод, регулирование напряжения

I. ВВЕДЕНИЕ

Внедрение энергосберегающих технологий является одной из важнейшей и приоритетной задачи в мире, а также не последнюю роль играет и в повышении российской экономики, что ставят этот вопрос на широкое обсуждение, и внедрение в современную энергетику.

В настоящее время технологии в области энергетики настолько быстро развиваются, появляется множество технических решений по энергосбережению и автоматизации электропривода, что задачи, связанные с этим необходимо внедрять в государственные программы, и поддерживать производителями энергосбытовых компаний.

Рост цен на энергоносители с одной стороны, и ограниченные возможности увеличения мощности электрогенерирующих установок – с другой, делают проблему энергосбережения, в том числе снижения электропотребления, актуальнейшей задачей современности. Энергосбережение стало одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира [1]. Связано это, во-первых, с ограниченностью основных энергоресурсов (нефти, газа, угля), во-вторых, с непрерывно возрастающей сложностью их добычи и стоимостью, в-третьих, с глобальными экологическими проблемами, наиболее остро обозначившимися в последнее время.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Энергосбережение является самым дешевым и безопасным способом удовлетворения потребностей в электроэнергии, так как затраты на мероприятия по экономии одного киловатта мощности обходятся в 4 – 5 раз дешевле, чем стоимость вновь вводимого киловатта мощности генерирующих установок. До 90 % потерь электроэнергии приходится на сферу энергопотребления (остальные 10 % теряются в генерирующих установках и сетях электроснабжения), поэтому очевидно, что основные усилия по энергосбережению должны быть сконцентрированы именно в сфере потребления электроэнергии. Поскольку электроприводы потребляют до 70 % вырабатываемой электроэнергии, работы по энергосбережению должны



концентрироваться именно здесь, а в сочетании с широкими возможностями современных средств автоматизации это может обеспечить оптимальное использование не только электроэнергии, но и других ресурсов [3].

III. ТЕОРИЯ

Из спектра различных решений, применяемых для энергосбережения, одно из наиболее эффективных и быстро окупаемых, требующих относительно небольших капиталовложений – внедрение высокотехнологичной и наукоемкой энергосберегающей техники – частотно-регулируемых асинхронных приводов, позволяющих оптимизировать режимы работы турбо механизмов в широком диапазоне изменения нагрузок.

К таким механизмам относятся питательные, сетевые, циркуляционные, подпиточные насосы, тягодутьевые вентиляторы на электростанциях, а также многие тысячи насосов, обеспечивающих снабжение горячей и холодной водой, отопительные системы и другие объекты коммунального хозяйства. Около 25 % вырабатываемой электроэнергии потребляется электроприводами турбо механизмов.

Традиционные способы регулирования подачи насосных и вентиляторных установок осуществляются дросселированием напорных линий и изменением общего числа работающих агрегатов по одному из технологических параметров.

Эти способы регулирования направлены на решение технологических задач и практически не учитывают энергетических аспектов транспорта воды или газа.

Применение регулируемого электропривода турбомеханизмов позволяет создать новую энергосберегающую технологию, в которой экономится не только электроэнергия, но и сберегается тепловая энергия и сокращается расход воды за счет снижения ее утечек при превышениях давления в магистрали.

Дополнительно новая энергосберегающая технология в вентиляторных установках с большой суммарной мощностью позволяет регулировать мощность в часы максимума нагрузки и тем самым сократить затраты на электроэнергию при двух ставочном тарифе. При частотном регулировании насосов можно в значительной степени избежать аварийных ситуаций за счет предотвращения гидравлических ударов, возникающих при изменении режимов работы и пуске системы при нерегулируемом электроприводе [4].

Частотно регулируемый электропривод включает комплексную систему, состоящую из непосредственно самого электропривода и частотного преобразователя. Преобразователи частоты включают в себя инвертор, который работает по принципу преобразования токов с нужной амплитудой частот, иногда включающему дополнительные входные и выходные фильтры и всевозможные тормозные резисторы [2].

Важнейшим достоинством частотного регулирования является: регулирование во всём диапазоне скоростей двигателя и уменьшение пусковых токов, тем самым пуск происходит более плавно, что благоприятно сказывается на электрооборудовании и энергосбережении, в частности. Ещё одним плюсом частотных преобразователей является их работа со взаимодействием с другими системами автоматического управления, они могут передавать сигналы о возникновении аварии, работать совместно с несколькими двигателями, передавать сигналы по специальному цифровому каналу. При установке приводов с частотным регулированием энергосбережение достигается в отсутствие лишнего регулировочного оборудования такого как дросселя заслоны и всевозможного другого оборудования. Ещё одним моментом в автоматизированном электроприводе является не только регулирование



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



и плавный пуск, но и торможение, такая задача решается проверенным способом, который заключается в тормозном переключателе с тормозным резистором. При таком способе привод при торможении отдаёт энергию в сеть и работает в режиме работы генератора преобразуя механическую энергию в электрическую.

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данной статье рассмотрены возможные методы решения проблемы, однако следует отметить, что анализ статей и диссертационных исследований по тематике диссертационной работы свидетельствует о недостаточном внимании технической науки РФ к изучению данного вопроса и необходимости проведения более углубленного исследования современных устройств и решений направленных на энергосбережение в современном электроприводе в рамках повышения энергоэффективности экономии и надежности электроснабжения.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом автоматизированные электроприводы – это новая ступень не только в энергосбережении, но и в увеличении срока службы электрооборудования в условиях сегодняшней ситуации по энергодефициту. Важно отметить, что при реализации конкретных проектов, выявляется, как правило, несколько возможных путей энергосбережения. Поэтому для получения максимального эффекта необходим комплексный, основанный на анализе различных вариантов, подход к решению задачи энергосбережения в электроприводе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Бирюлин В. И., Хорошилов Н. В., Ларин О. М., Горлов А. Н. Перспективы экономии электроэнергии в осветительных системах // Энергобезопасность и энергосбережение, 2010. № 3. С. 11–13
- [2] Чабанный А. А. Энергосберегающие технологии // Научные исследования, 2016. С. 7 – 11
- [3] Актуальность проблемы энергосбережения в электроприводе [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://media.ls.urfu.ru/573/1574/3732/4844/> (дата обращения 02.04.2017)
- [4] Регулируемый электропривод и его рол в энергосбережении [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energsovet.ru/stat383.html> (дата обращения 02.04.2017)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. М. Приходько, магистрант ОмГТУ, e-mail: kamzina999@gmail.com

К. В. Хацевский, доктор технических наук, профессор кафедры "Электрическая техника",
e-mail: xkv-post@rambler.ru



УДК 62-83

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЧАСТОТНО-ФАЗОВОГО ДИСКРИМИНАТОРА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННО-СИНФАЗНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ⁵

А. В. Бубнов, А. Н. Четверик, А. Н. Чудинов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Синхронно-синфазный электропривод широко используются в тепловизионных и лазерных сканирующих системах благодаря высоким точностным характеристикам в широком диапазоне регулирования угловой скорости. Целью статьи является рассмотрение особенностей применения многофункционального импульсного частотно-фазового дискриминатора при реализации различных способов управления электроприводом с фазовой синхронизацией и синхронно-синфазным электроприводом. Предложена классификация способов управления электроприводом с фазовой синхронизацией и синхронно-синфазным электроприводом и представлены функциональные схемы, при реализации которых используются дополнительные функциональные возможности импульсного частотно-фазового дискриминатора – индикация моментов времени изменения режима работы импульсного частотно-фазового дискриминатора.

Ключевые слова – Электропривод с фазовой синхронизацией, синхронно-синфазный электропривод, импульсный частотно-фазовый дискриминатор

1. ВВЕДЕНИЕ

Синхронно-синфазные электроприводы (ССЭ) находят широкое применение в обзорно-поисковых и сканирующих системах, в том числе системах лазерного сканирования, в системах технического зрения современных робототехнических комплексов, видеозаписывающей аппаратуры, копировальных установках, что обусловлено их высокими точностными показателями и широким диапазоном регулирования угловой скорости [1].

Функциональная схема синхронно-синфазного электропривода (рис. 1) выполнена в виде двухконтурной системы автоматического управления [2], включающей в себя внутренний контур фазовой автоподстройки частоты вращения ФАПЧВ и внешний контур фазирования, управление которыми осуществляется от блока задания частоты БЗЧ, формирующего импульсы опорной частоты f_{on} (задания частоты вращения электропривода) и импульсы угловой привязки (задания начального положения вала электродвигателя) $F_{оп}$.

⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 16-08-00325а «Разработка и исследование способов управления синхронно-синфазным электроприводом, реализованных на основе комплексного подхода к обеспечению высоких показателей качества регулирования в широком диапазоне угловых скоростей в режимах стабилизации и слежения».
Научный руководитель д.т.н., профессор Бубнов Алексей Владимирович.

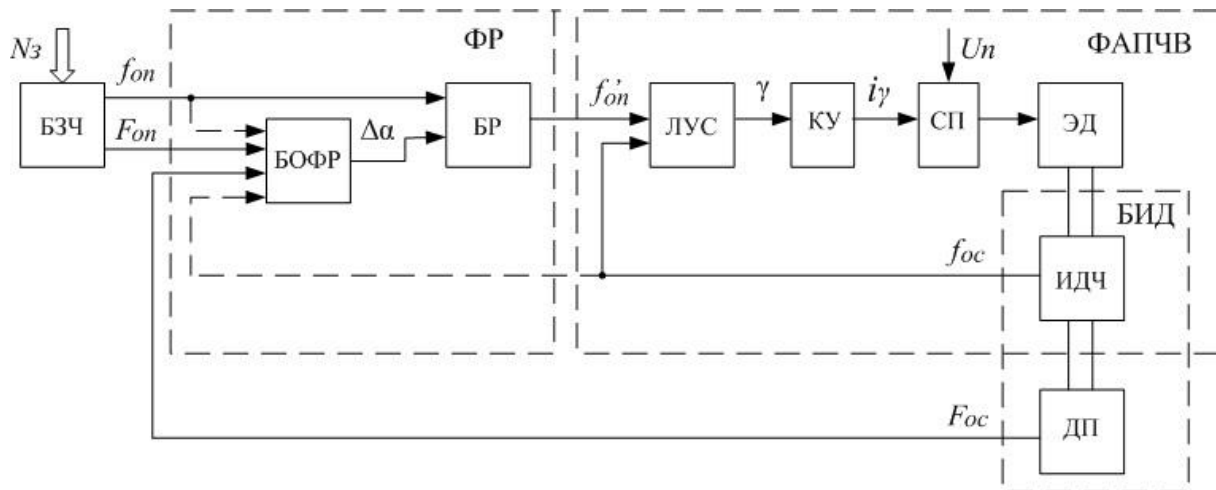


Рис. 1. Функциональная схема синхронно-синфазного электропривода

Контур ФАПЧВ состоит из логического устройства сравнения ЛУС частот и фаз двух импульсных последовательностей: задания f'_{on} и обратной связи f_{oc} ; формируемой на выходе импульсного датчика частоты вращения ИДЧ, корректирующего устройства КУ, силового преобразователя СП и электродвигателя ЭД. Внешний контур фазирования включает в себя датчик положения вала электродвигателя ДП (формирующий импульсы положения вала электродвигателя F_{oc}) и фазирующий регулятор ФР, содержащий блок определения фазового рассогласования БОФР импульсов частот F_{on} и F_{oc} , пропорционального угловой ошибки $\Delta\alpha$ электропривода, и блок регулирования БР угловой ошибки, по определенному закону преобразующий импульсы задающей частоты f_{on} в импульсы входной частоты контура ФАПЧВ f'_{on} . Датчик положения и ИДЧ образуют блок импульсных датчиков БИД, расположенных на валу электродвигателя.

В качестве ЛУС широко используется импульсный частотно-фазовый дискриминатор (ИЧФД) [2]. Алгоритм работы ИЧФД основан на обработке порядка следования импульсов частот f_{on} и f_{oc} , и по результатам анализа дискриминатор устанавливается в требуемый режим работы. Импульсный частотно-фазовый дискриминатор функционирует в трех режимах:

- режим насыщения при разгоне (Р) электропривода ($f_{on} \gg f_{oc}$, $\gamma=1$);
- режим фазового сравнения (П – пропорциональный) дискриминатора ($f_{on} \approx f_{oc}$, $\gamma=\Delta\phi$, где $\Delta\phi$ – фазовое рассогласование импульсов частот f_{on} и f_{oc});
- режим насыщения при торможении (Т) электропривода ($f_{on} \ll f_{oc}$, $\gamma=0$).

Переход из одного режима в другой осуществляется в моменты прихода двух импульсов одной из сравниваемых частот между двумя импульсами другой частоты.

Функциональная схема ИЧФД [3] приведена на рис. 2, где ФД – фазовый дискриминатор, ФИ – формирователь импульсов, ЭЗ – элемент задержки, СЛБ – схема логической блокировки. В данной схеме реализованы дополнительные функциональные возможности ИЧФД – индикация моментов времени изменения режима работы ИЧФД (0/2 – ситуация прохождения нуля импульсов частоты f_{oc} между двумя импульсами частоты f_{on} , 2/2 – ситуация прохождения двух импульсов частоты f_{oc} между двумя импульсами частоты f_{on}).

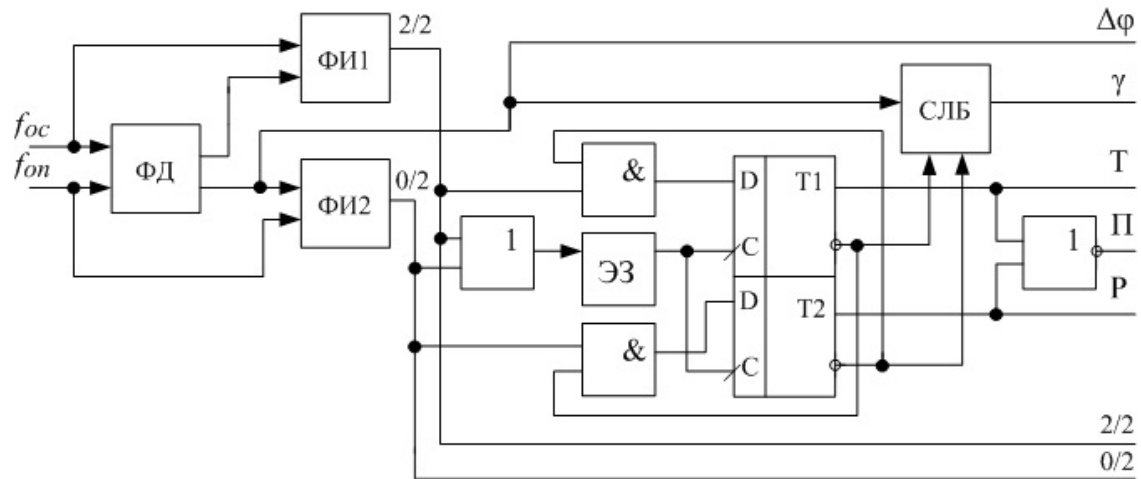


Рис. 2. Функциональная схема ИЧФД

Дополнительные функциональные возможности схемы ИЧФД могут быть эффективно использованы при построении современных систем синхронно-синфазного электропривода [4].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью статьи является рассмотрение особенностей применения ИЧФД с расширенными функциональными возможностями при реализации различных способов управления электроприводом с фазовой синхронизацией (ЭПФС), представляющим собой внутренний контур ССЭ (рис. 1), и синхронно-синфазным электроприводом.

III. ТЕОРИЯ

Классификация вариантов применения дополнительных возможностей ИЧФД приведена на рис. 3.



Рис.3. Классификация вариантов применения ИЧФД с расширенными функциональными возможностями

Рассмотрим варианты использования в системе автоматического управления электропривода сигналов индикации моментов времени (0/2 и 2/2) изменения режимов работы ИЧФД.

В ЭПФС, реализующем способ регулирования с опережающей разблокировкой ИЧФД (рис. 4, где БСИ – блок сравнения частот, ГВЧ – генератор высокой частоты, СС – схема сравнения, ОВ – одновибратор), сигналы индикации моментов времени изменения режимов работы ИЧФД используются для косвенного определения $\Delta\omega$ [5] путем подсчета количества импульсов высокой частоты между двумя соседними импульсами 0/2 или 2/2. По результатам измерения вычисляются значения $\Delta\omega$ в моменты прихода импульсов 0/2 или 2/2, используемые для определения момента времени опережающего перевода ЭПФС в режим замкнутого управления.

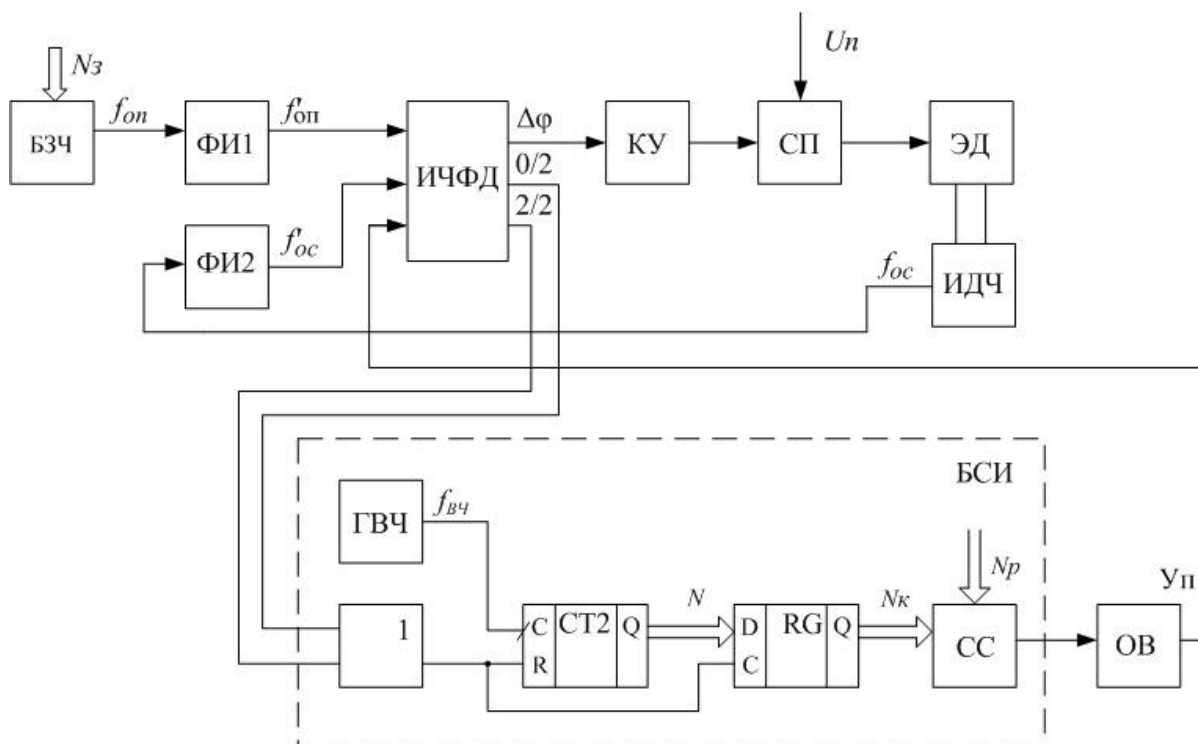


Рис. 4. Функциональная схема ЭПФС с опережающей разблокировкой ИЧФД

При реализации пошагового способа фазирования [6] в САУ ССЭ используются сигналы индикации моментов времени изменения режимов работы ИЧФД для непрерывного косвенного измерения угловой ошибки электропривода $\Delta\alpha$ (рис. 5, где ФДИ – формирователь дополнительных импульсов, БСИ – блок суммирования импульсов, СМ – смеситель). Начальное значение угловой ошибки определяется путем подсчета импульсов f_{on} между импульсом угловой привязки F_{on} и импульсом в цепи обратной связи F_{oc} один раз за оборот вала электродвигателя. В моменты прихода импульсов 0/2 или 2/2 происходит корректировка ранее определенного значения $\Delta\alpha$ на величину $\pm\varphi_0$. Данный косвенный метод измерения угловой ошибки может быть использован при реализации любого способа фазирования ССЭ.

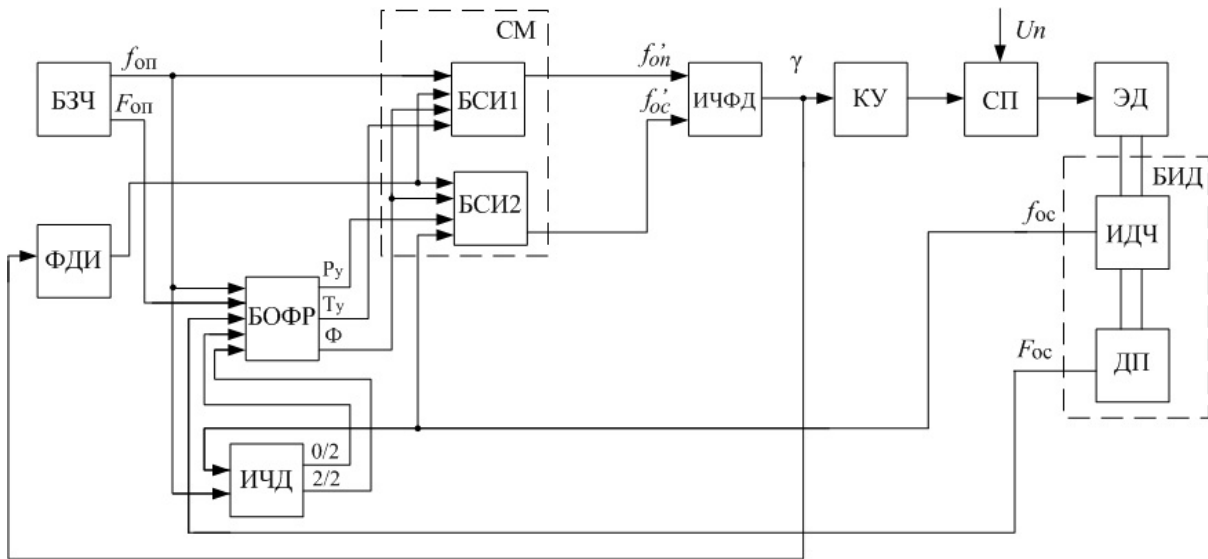


Рис. 5. Функциональная схема ССЭ с пошаговым режимом фазирования

При реализации квазиоптимального по быстродействию способа предварительного фазирования [7, 8] в САУ ССЭ используются сигналы индикации моментов времени изменения режимов работы ИЧФД для косвенного измерения угловой ошибки $\Delta\alpha$ (в БОФР) и ошибки по угловой скорости $\Delta\omega$ [9] электропривода (рис. 6, где ВУ – вычислительное устройство, ПЧК – преобразователь «частота-код») для организации и управления электроприводом в режиме предварительного фазирования.

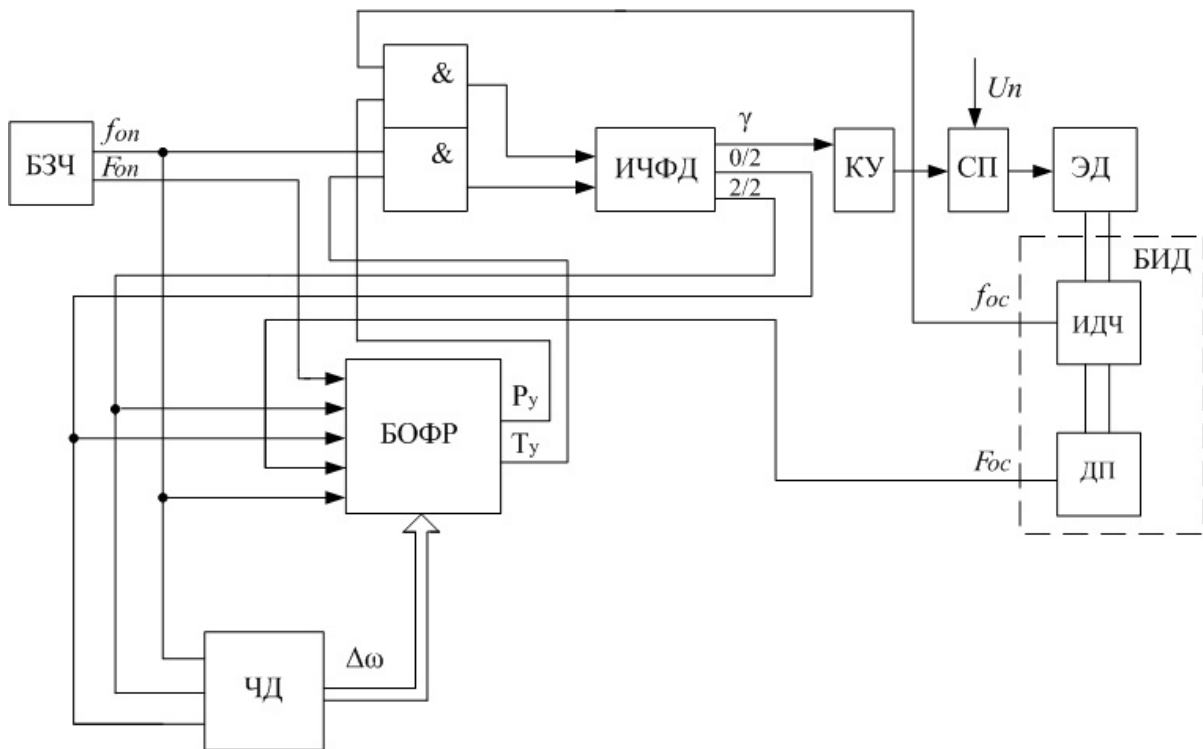


Рис. 6. Функциональная схема ССЭ с предварительным квазиоптимальным по быстродействию режимом фазирования



IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ рассмотренных вариантов применения ИЧФД с расширенными функциональными возможностями в ЭПФС и ССЭ показывает, что сигналы индикации моментов изменения режимов работы ЭПФС целесообразно использовать при реализации косвенных методов измерения угловой ошибки и ошибки по угловой скорости в системах управления электроприводом.

Материалы статьи могут быть использованы при проектировании прецизионных электроприводов для сканирующих систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Трахтенберг, Р. М. Импульсные астатические системы электропривода с дискретным управлением. – М. : Энергоиздат, 1982. – 168 с.
- [2] Бубнов А. В., Бубнова Т. А., Федоров В. Л. Современное состояние и перспективы развития теории синхронно-синфазного электропривода : моногр. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2010. – 104 с.
- [3] Пат. 2469461 РФ, МПК H03D 13/00. Частотно-фазовый компаратор / Бубнов А. В., Чудинов А. Н., Бубнова Т. А. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2011134538/08 ; заявл. 17.08.2011 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 34. – 2 с.
- [4] Бубнов А. В., Бубнова Т. А., Чудинов А. Н. Новые принципы и способы организации управления синхронно-синфазным электроприводом сканирующих систем // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии, 2012. № 1 (107). С. 192–196.
- [5] Пат. 2467465 РФ, МПК H02P 7/14. Стабилизированный электропривод / Бубнов А. В., Бубнова Т. А., Чудинов А. Н. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. университет. – № 2011143084/07 ; заявл. 25.10.2011 ; опубл. 20.11.2012, Бюл. № 32. – 10 с.
- [6] Пат. 163922 РФ, МПК H02P 7/06, H02P 7/14, H02P 7/285 (2006.01). Синхронно-синфазный электропривод / Бубнов А. В., Четверик А. Н., Чудинов А. Н. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2016104585/07 ; заявл. 10.02.2016 ; опубл. 20.08.2016, Бюл. № 23. – 2 с.
- [7] Пат. 145335 РФ, МПК H02P 7/06, H02P 7/285, G05B11/30 (2006.01). Устройство для фазирования вращающегося вала электродвигателя / Бубнов А. В., Емашов В. А., Чудинов А. Н., Гокова М. В. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2014115372/07 ; заявл. 16.04.2014 ; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26. – 2 с.
- [8] Пат. 2475932 РФ, МПК H02P 5/52, G05D 13/62 (2006.01). Способ фазирования вращающегося вала электродвигателя и устройство для его осуществления / Бубнов А. В., Чудинов А. Н., Емашов В. А. ; заявитель и патентообладатель Омский гос. техн. ун-т. – № 2011137915/07 ; заявл. 14.09.2011 ; опубл. 20.02.2013, Бюл. № 5. – 2 с.
- [9] Bubnov, A. V. Measurement methods for angular acceleration and errors for angular velocity of synchrophase electric drive / A. V. Bubnov, V. A. Emashov, A. N. Chudinov, A. N. Alpysova // Measurement Techniques, Vol. 57, № 8, USA, New York, Springer US, 2014. – P. 860–865.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. В. Бубнов, д.т.н., профессор, зав. каф. ЭТ, e-mail bubnov-av@bk.ru

А. Н. Четверик, ст. преподаватель каф. ЭТ, e-mail alina.an@mail.ru

А. Н. Чудинов, к.т.н., доцент каф. ЭТ, e-mail chudinov_al@mail.ru



УДК 62-567/629.113.012.8

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СУЩЕСТВУЮЩИХ АМОРТИЗИРУЮЩИХ СИСТЕМ

А. С. Матюх, А. В. Демин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В настоящее время активно разрабатываются управляемые амортизаторы различных конструкций для повышения безопасности и скорости передвижения транспортных средств при перевозке людей и грузов. В настоящей статье рассмотрены основные типы активных и пассивных виброзащитных устройств, произведен сравнительный анализ плюсов и минусов конструкций виброзащитных систем, произведена оценка стоимости различных типов управляемых виброзащитных систем. Комбинация пассивного пневматического и активного виброизолирующего элементов в силу надежности и относительно низкой стоимости признана оптимальной и выбрана для дальнейших исследований.

Ключевые слова – виброзащита, активная система, пассивная система, электромагнитная система подпрессоривания

1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что в природе все действия сопровождаются колебаниями, так как согласно закону Ньютона: действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе – взаимодействия двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны.

В следствие развития техники человек столкнулся с рядом проблем в сфере гашения колебаний, так-как из-за колебаний происходит повышенный износ и неточности в работе и расчетах, поэтому это снижение уровня колебаний составляет одну из важнейших задач при проектирование технических устройств.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данного исследования является выбор оптимальной конструкции активной системы амортизации для транспортных средств.

III. ВИДЫ АМОРТИЗИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ОБЗОР

В настоящее время наиболее широкое применение нашли методы пассивной и активной виброзащиты. Рассмотрим каждый из них более подробно.

Пассивные способы виброзащиты, связаны с применением инерциальных, упругих, диссипативных и иных пассивных составляющих. Характерной чертой элементарных пассивных виброзащитных систем считается то, что в своей резонансной частоте амплитуда колебаний и связанные с ней ускорения существенно превосходят уровень возмущающих воздействий на основании [1]. Как правило высокоэффективность виброзащиты пассивных систем выражается при частотах возмущающего воздействия, немного превышающих резонансную частоту.

Активные виброзащитные системы предполагают собою следящие системы, которые реализовывают перемещение каркаса и объекта виброзащиты в противофазе относительно вибрирующего основания.

Данные системы стремятся создать условия абсолютной в вертикальном направлении неподвижности объекта виброзащиты при наличии вертикальных перемещений основания.

Как и всякие следящие системы, активные виброзащитные системы требуют для функционирования электропитание энергией. Данная отличительная черта и объясняет, отчего подобные системы называют активными. Помимо этого, активность системы сопряжена также с принудительным перемещением объекта виброзащиты относительно вибрирующего основания на основе информации либо сигналов управления, снимаемых с определенных измерителей [2].

Невзирая на сравнительную сложность и наиболее большую цену согласно сравнению с пассивными системами, активные системы виброзащиты обладают группой качеств, которые позволяют прогнозировать их обширное использование в тех случаях, когда пассивные подвески никак не могут гарантировать эффективной виброзащиты, в особенности низкочастотной [3].

Применение активных систем дает возможность получить:

- небольшую жесткость при колебательном возбуждении (с своей частотой, существенно наименьшей, нежели у простых бездейственных концепций);
- значительную жесткость по отношению к непрерывно действующей нагрузке;
- нулевые статические смещения;
- возврат изолируемой массы в начальное состояние при неподвижной и случайной нагрузках;
- автономность работы системы от изменения изолируемой массы;
- одно- и двухстороннюю характеристики жесткости;
- необходимые формы амплитудно-частотных характеристик;
- вероятность адаптационного управления посредством применения упреждающей обратной связи.

На рис. 1 приведена структурная схема активной виброзащитной системы.

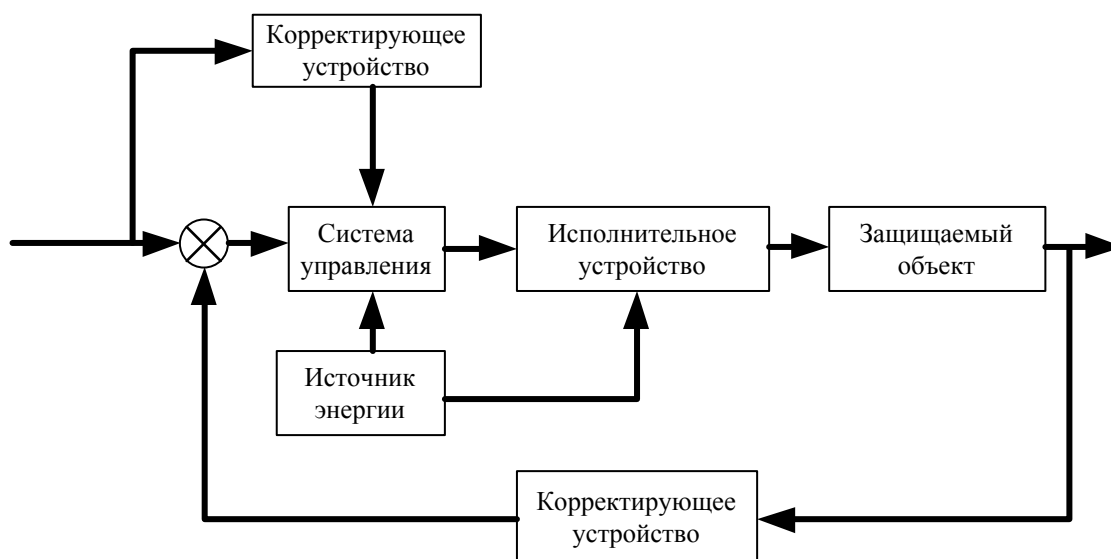


Рис. 1. Структурная схема активной виброзащитной системы.



Активные системы могут быть с управлением 3-х типов: по обратной связи; по внешнему воздействию; комбинированным.

В зависимости от физической природы исполнительного аппарата активные системы могут являться механического, гидравлического, пневматического, электромагнитного видов либо их сочетаниями.

К плюсам электрогидравлической системы активной виброизоляции относятся: возможность формирования активных электрогидравлических виброзащитных систем из готовых стандартных компонентов, применяющихся в иных подобных системах. Данное обстоятельство стало, наверное, одной с главных факторов формирования 1-ых активных гидравлических систем виброзащиты в варианте электрогидравлических, возможность обычного и оперативного изменения характеристик электрогидравлических виброзащитных систем в процессе настройки изменения характеристик электрической системы управления, возможность гибкого формирования амплитудно-частотной характеристики виброзащитной системы, возможность результативного гашения низкочастотных колебаний, образующихся в скелете (основе) механизмов. С данной точки зрения определенные схемы электрогидравлических активных виброзащитных систем считаются более действенными из числа иных активных систем низкочастотной виброзащиты.

Недостатком гидравлических устройств считается непостоянность качеств рабочей жидкости, зависящих от температуры и от эмульсирования жидкости воздухом. Заключительный факт резко увеличивает уплотняемость жидкости и значительно оказывает большое влияние на динамическую характеристику системы.

Пневматические исполнительные аппараты могут иметь разнообразную устройство. В одних вариантах исполнительным органом может быть цилиндр двойного действия, давление в камерах которого регулируется золотниковым либо струйным распределительным механизмом; в иных вариантах используются проточные камеры, давление в которых меняется с помощью разных дроссельных устройств (к примеру, типа «сопло - заслонка»). Помимо рабочих камер, объем которых ограничен с одной стороны подвижным компонентом (поршнем или же мембраной), в пневматических системах применяются еще камеры постоянного объема, соединяющиеся дросселями с рабочими камерами.

Пневматические системы нужны с целью гашения низкочастотных вибраций и компенсации медленно изменяющихся нагрузок. Они характеризуются значительной рабочей надежностью, крупными усилиями, а кроме того обширными перспективами управления, обеспечиваемые электромеханическими датчиками.

В отличии от пневматических систем, позволяющих получать небольшие величины статической жесткости электромагнитные системы располагают малой инерционностью и дают возможность в обширных границах вносить изменения в амплитудно-частотные характеристики.

Зачастую применяется сочетание пассивных и активных амортизаторов. Пассивные амортизаторы хорошо компенсируют возмущения на низких частотах, а действующие – на высоких. Данный факт дает возможность применять электромагнитную системы в широкополосном спектре частот.

Достоинством электромагнитной системы активной виброзащиты считаются: высокая устойчивость характеристик; существенное быстроедействие (в сопоставлении с гидравлической и пневматической системами); оптимальная совместимость с упругими амортизаторами и возможность значительных боковых смещений подвижной платформы касательно виброизолируемого основания. Заключительное качество,



обусловленное конструктивной особенностью электромагнитных систем, значительно расширяет сферу их использования.

Адаптивные амортизаторы с магнитореологической жидкостью – регулируемые амортизаторы данного типа заполнены жидкостью с включением металлических частиц. Такое масло меняет структуру под воздействием магнитного поля, которое создается при помощи катушек, встроенных в поршень амортизатора. Благодаря магнитореологической жидкости магнитные амортизаторы изменяют характеристики жесткости за доли секунды. Преимущество адаптивных амортизаторов заключается в возможности изменения характеристики подвески в соответствии с текущими условиями движения: более жесткая подвеска улучшит управляемость и устойчивость автомобиля, а более мягкая повысит комфорт передвижения. Основным недостатком адаптивного амортизатора: высокая стоимость его изготовления (порядка 50 тыс. рублей за единицу), однако за данную цену покупатель приобретёт ряд плюсов присущие только данному типу амортизаторов: очень высокую скорость реагирования, более большую плавность хода в сравнении с другими типами активных амортизаторов, к тому же большое количество градаций работы.

Следующий тип применяемых активных амортизаторов, незначительно отличающихся между собой по конструкции и функциональности – газовые (масляные, газо-масляные) с системой электронно-управляемых клапанов. Наиболее простым вариантом выступает однотрубный или двухтрубный амортизатор с двумя режимами работы клапана, позволяющий выбрать для подвески «комфортный» или «спортивный» режим. Это может быть сделано как вручную переключением кнопки в салоне, либо автоматически, такие амортизаторы являются более дешевыми в сравнении с амортизаторами, сделанными с магнитореологической жидкостью (порядка 30 тыс. рублей за единицу), но и более надежен в эксплуатации и более прост в обслуживании. Отличительным минусом данной модели является малое количество ступеней регулирования.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейший шаг в развитии активных виброзащитных систем – электромагнитный амортизатор [4], который сочетает в себе плюсы предыдущих типов. Как пример – электромагнитный амортизатор, в котором несущую роль выполняет пневмобаллон, а электромагнитный элемент регулирует жесткость [ссылка на патенты]. Вся система получает данные (от датчиков перемещения и ускорения), которые затем централизованно обрабатываются и дается команда на включение/отключение того или иного компонента системы [5, 6].

Несомненными плюсами данного типа активных амортизирующих систем являются быстроедействие и надежность, а также относительно низкая стоимость (порядка 10 тыс. рублей за единицу). По скорости реакции электромагнитные комбинированные системы превышают скорость реакции многотрубных амортизаторов и превышают либо равны скорости действия амортизаторов на основе магнитореологической жидкости. По надежности электромагнитные амортизаторы несомненные лидеры, так как не имеют в своем составе физически взаимодействующих частей (за исключением подшипников).

Минусами данной системы является энергозависимость от системы электропитания транспортного средства, высокая, потребляемая одномоментно, мощность и массогабаритные параметры. Однако с проблемами энергопотребления и массы (объема) электромагнитных амортизирующих систем возможно справиться,



изготавливая магнитопроводящие части силовых элементов из современных аморфных сплавов, которые легче, прочнее и имеют выдающиеся электромагнитные характеристики по сравнению с традиционно применяемой электротехнической сталью, благодаря чему достигается выигрыш по массе порядка 42 % [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Божко А. Пассивная и активная виброзащита судовых механизмов // Судостроение, 1987. – 176 с.
- [2] Лысенко А. В., Таньков Г. В., Рындин Д. А. Анализ особенностей применения современных активных систем виброзащиты для нестационарных РЭС // Надежность и качество – 2013 : тр. Междунар. симп. : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – 2 т. – С. 155 – 158.
- [3] Хамитов, Р. Н., Аверьянов Г.С. Системы амортизации крупногабаритных объектов с активными упругими и демпфирующими элементами: монография Омск: ОмГТУ, 2010. 123 с.
- [4] Демин А. В., Хамитов Р. Н. Исследование конструкций электропневматического виброзащитного устройства соленоидного типа // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 2 – 2. С. 112.
- [5] Электропневматический демпфирующий амортизатор: пат. 157196 Рос. Федерация : МПК F16F9/04, F16F6/00/ Р.Н. Хамитов, А.В. Демин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» – № 2015122537/11; заявл. 10.06.2015; опубл. 27.11.2015.
- [6] Электропневматический упругий амортизатор: пат. 157211 Рос. Федерация : МПК F16F9/04, F16F6/00/ Р.Н. Хамитов, А.В. Демин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» – № 2015130220/11; заявл. 21.07.2015; опубл. 27.11.2015.
- [7] Демин А. В., Хамитов Р. Н. Исследование изменения усилия, развиваемого электромагнитным компенсатором жесткости в зависимости от конструкции // Омский научный вестник, 2016. №4 (148). С 94 – 98.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. С. Матюх, студент 4 курса (бакалавр) кафедры "Электрическая техника", e-mail d.matux@ya.ru
А. В. Демин, старший преподаватель кафедры "Электрическая техника" ОмГТУ,
e-mail deminksander@gmail.com



УДК 621.313

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

А. А. Татевосян, В. С. Мищенко, М. М. Сангов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – На современном этапе развития электрических машин большое внимание уделяется созданию высокоэффективных магнитных систем, содержащих в своем составе постоянные магниты. Это обстоятельство обусловлено появлением на рынке высококоэрцитивных постоянных магнитов на основе неодимовых сплавов типа NdFeB. Особый интерес, ввиду технологичности разработки, представляют технические решения проектирования магнитоэлектрических машин на базе магнитных систем традиционных асинхронных двигателей переменного тока, в которых короткозамкнутый ротор заменен на цилиндрический ротор с размещенными на нем постоянными магнитами. Высокая технологичность сборки этого типа машин делает их привлекательным для создания энергетических установок малой мощности. Однако вопросы создания и исследования характеристик магнитоэлектрических машин являются недостаточно изученными. В предлагаемой статье рассматривается магнитоэлектрическая машина, выполненная на базе асинхронного двигателя, проведен расчет её магнитной системы и получены результаты моделирования, характеризующие основной магнитный поток, реакцию якоря и индуцированное напряжение генератора на холостом ходу (при отсутствии тока нагрузки).

Ключевые слова – постоянные магниты, обмотка якоря, генератор, индукция, напряжение холостого хода.

1. ВВЕДЕНИЕ

Последние десятилетия характеризуются развитием научно-технических направлений, связанных с разработкой и исследованием основных режимов работы синхронных генераторов с постоянными магнитами (NdFeB), использование которых возможно в качестве нетрадиционных источников энергии [1, 2, 3].

Проблемы, связанные с разработкой магнитоэлектрических машин и оптимизации разнообразных конструкций рассмотрены в работах: Буля Б. К., Демирчяна К. С., Иванова-Смоленского А. В., Кручининой И. Ю., Кулешов Е. В., Макаричева Ю. А., Овчинникова И. Е., Ряшенцева Н. П., Смелягина А. И., Тамма И. Е., Тозони О. В., Хитерера М. Я., Юринова В. М. и других [1, 2].

Большой интерес представляют работы, связанные с разработкой магнитоэлектрических генераторов, магнитная система которых построена на базе асинхронной машины переменного тока, в которой традиционный ротор заменен на ротор с размещенными на нем постоянными магнитами (индуктор). Многообразие форм и способов размещения постоянных магнитов на роторе, поиск оптимального соотношения числа пар полюсов машины и количество зубцов статора, особенности соединения обмоток статора определяет научную новизну, а применение указанных магнитоэлектрических генераторов в автономных системах электроснабжения для нужд малой энергетики определяет практическую значимость исследования [3].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим магнитную систему магнитоэлектрической машины представленной на рис. 1. Магнитоэлектрическая машина содержит корпус 1, статор 2, представляющий

собой магнитопровод 3 с пазами, в которых размещена трехфазная обмотка 4, ротор 5 представляет собой полый цилиндр 6, выполненный из ферромагнитного материала, на внешней боковой поверхности которого расположены постоянные магниты 7 в форме стержней призматической формы. Магниты 7 зафиксированы от перемещений на роторе 5 крышками. Ротор 5 от статора 2 отделён технологическим воздушным зазором δ , число магнитных полюсов ротора 5 должно равняться числу магнитных полюсов трехфазной обмотки с током статора 2.

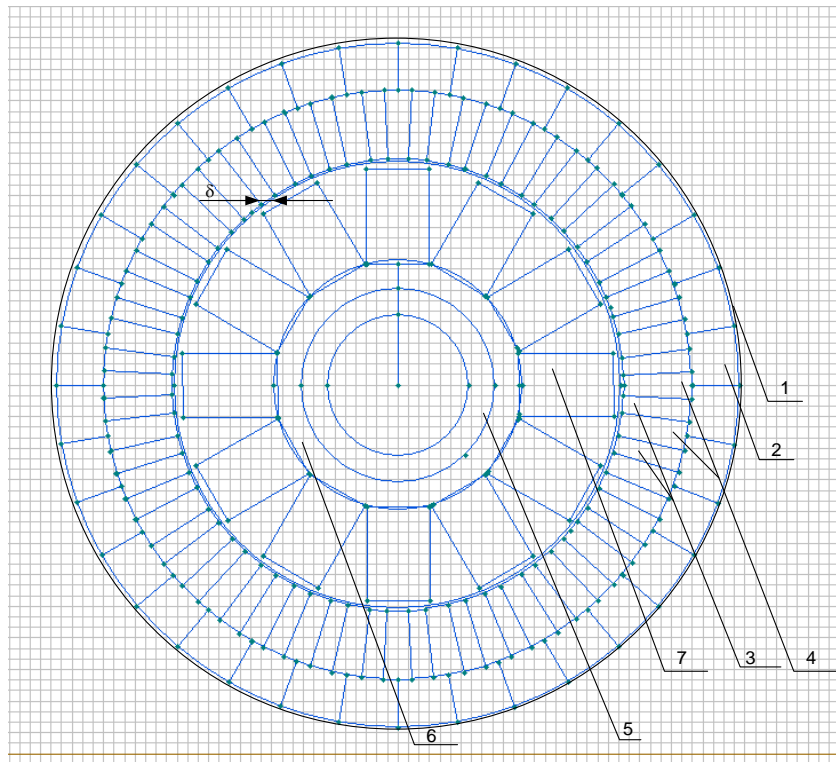


Рис. 1. Конструкция магнитной системы магнитоэлектрической машины

Для расчета индукции и наводимой в обмотке статора ЭДС в режиме холостого хода проведем выполним моделирование магнитной системы в пакетах прикладных программ Elcut 6.0 и Ansys 18.0.

III. ТЕОРИЯ

При вращении ротора с постоянными магнитами изменяется магнитный поток, сцепляющийся с витками трехфазной обмотки статора (якоря). При подключении нагрузки по проводникам трехфазной обмотки будет проходить электрический ток.

Математические выражения, описывающие характер временной зависимости индукции магнитного потока и индуцированной в обмотке якоря ЭДС, подробно рассмотрены в [4]. Методика расчета ЭДС обмотки якоря реализована в программном обеспечении [5].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 2 приведена картина магнитного поля в профессиональной версии программы Elcut 6.0

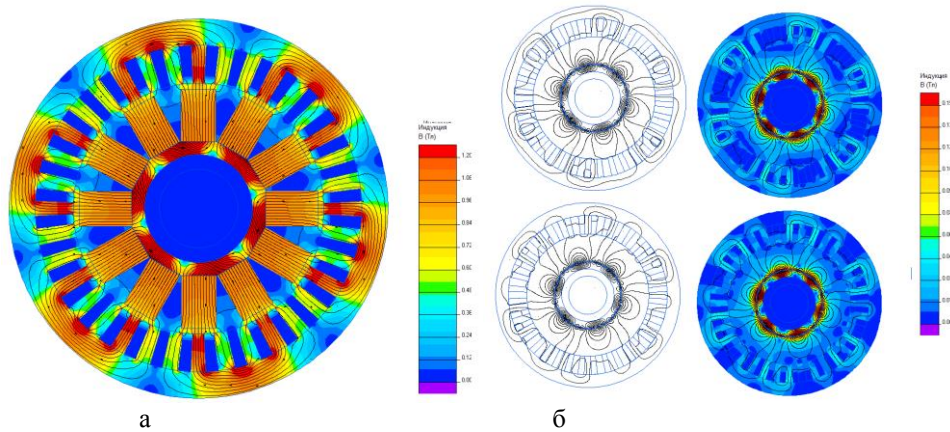


Рис. 2. Картины магнитного поля: а – поле постоянных магнитов; б – поле реакции якоря

На рис. 2, а представлено поле постоянных магнитов при отсутствии тока в обмотке статора. На рис. 2 б представлено электромагнитное поле магнитоэлектрической машины, создаваемое током, протекающим в обмотке статора магнитоэлектрической машины (поток реакции), который приводит к уменьшению рабочего электромагнитного поля (поля полюсов) магнитоэлектрической машины, создаваемого постоянными магнитами (на рисунке магнитное поле постоянных магнитов не показано).

На рис. 3 и 4 представлены трехмерная модель магнитоэлектрической машины с указанием вектора магнитной индукции внутри магнитной системы и временная зависимость индуцированного напряжения в обмотке статора при скорости вращения ротора 400 об/мин. Магнитоэлектрическая машина работает в генераторном режиме на холостом ходу.

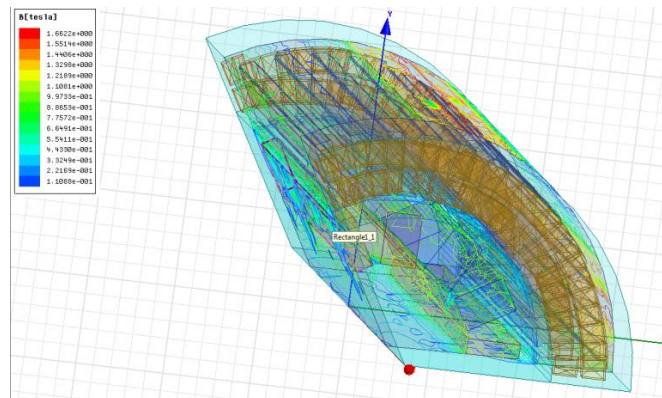


Рис. 3. Модель магнитоэлектрической машины в программе Ansys

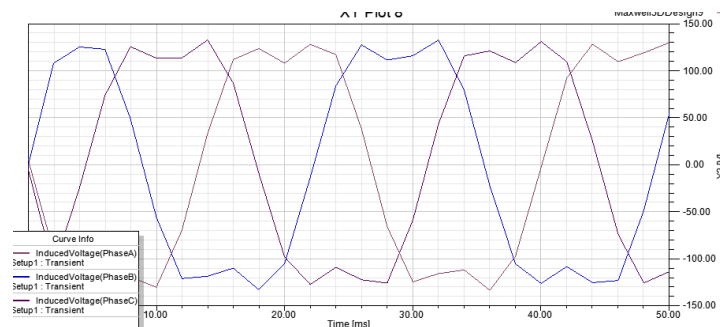


Рис. 4. Временные зависимости индуцированного напряжения в обмотке статора магнитоэлектрической машины



V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Величина индукции магнитного потока, сцепленного с обмоткой статора, достаточно высока и находится в диапазоне 0,5 Тл до 1,2 Тл в зависимости от угла поворота ротора. Большое значение индукции определяется, в том числе, и малым воздушным зазором, что при высокой технологичности сборки является несомненным преимуществом рассматриваемой магнитной системы. При подборе схемы выпрямления и стабилизации индуцированного напряжения в обмотке статора магнитоэлектрическая машина, работающая в генераторном режиме, в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к генераторам электрической энергии малой мощности, а проектирование энергоэффективных опытных образцов является творческой задачей и требует своего дальнейшего рассмотрения.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов расчета магнитного поля синхронного генератора с высококоэрцитивными постоянными магнитами позволяет сделать следующие выводы:

- предлагаемая конструкция обладает пониженным моментом страгивания;
- реакция якоря при расчетной нагрузке 4А слабо выражена;
- в генераторном режиме на холостом ходу индуцированное выпрямленное напряжение составляет 220 В при скорости вращения индуктора 400 об/мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сафьянников И. А. Россамахин И. Н. Проблемы развития малой энергетики Западной Сибири // Современная техника и технологии: матер. IX Междунар. науч-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых – Томск: ТПУ, 2003.– Т.1. С. 242 – 243
- [2] Кулагин Р.Н. Анализ конструкций тихоходных генераторов с постоянными магнитами. Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 13(86) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – 115 с.
- [3] Кулешов Е.В. Магнитоэлектрический синхронный генератор на базе асинхронной машины для автономной ветроэлектрической установки. Автореферат на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Владивосток, ДВГТУ, 2001 – 20 с.
- [4] Татевосян А.А., Огорелков Б. И., Татевосян А. С. Расчет индуктированной эдс в витке при относительном движении постоянного магнита с различной формой поперечного сечения. Омский научный вестник, 2014. № 3 (133). С. 179 – 183.
- [5] Расчет индуктированной электродвижущей силы (ЭДС) синхронного магнитоэлектрического генератора на базе асинхронной электрической машины // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612665 от 24.02.2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. С. Мищенко, магистр по направлению 13.04.03. «Электроэнергетика и электротехника»
А. А. Татевосян, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электрическая техника», e-mail karol@mail.ru
М. М. Сангов, бакалавр по направлению 13.03.03. «Электроэнергетика и электротехника»



УДК 621.317.3

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ СИГНАЛОВ ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ

Д. А. Поляков, И. В. Комаров, К. И. Никитин, В. Н. Пугач

Омский государственный технический университет

Аннотация – одним из актуальных вопросов электроэнергетики является повышение надежности функционирования энергосистем. Известно, что одной из наиболее частых причин коротких замыканий кабельных линий электропередачи является пробой изоляции. В связи с этим, необходимо контролировать состояние изоляции на протяжении всего срока ее эксплуатации. При этом, практически все виды развивающихся повреждений изоляции высоковольтного оборудования связана с частичными разрядами (ЧР). Одной из основных характеристик ЧР является их мощность. Цель статьи – разработать метод определения мощности ЧР в реальном времени. Результатом является разработка алгоритма, который можно использовать для реализации в современных устройствах.

Ключевые слова – частичные разряды, разрушение изоляции, мощность частичных разрядов, фильтр высоких частот

I. ВВЕДЕНИЕ

Разработка методов и устройств контроля состояния изоляции на протяжении всего срока ее эксплуатации является актуальной, особенно для кабельных линий электропередачи, так как пробой изоляции является одной из наиболее частых причин коротких замыканий. Одним из наиболее перспективных способов контроля состояния изоляции является контроль характеристик частичных разрядов (ЧР).

Корни теории о частичных разрядах (ЧР) уходят к 1777 году, когда Г. К. Лихтенберг сообщил о новых экспериментальных результатах на сессии королевского научного сообщества [1]. Частичные разряды возникают в пустотах в твердой изоляции оборудования среднего и высокого классов напряжения и приводят к ее постепенному разрушению. Их длительность составляет от единиц до сотен наносекунд в зависимости от параметров схемы измерения, однако, возникшие частичные разряды со временем вызывают рост дендритов – древовидных каналов, заполненных жидкостью, твердыми примесями или газом) [2]. В области дендритов частичные разряды могут образовываться лавинообразно, в результате чего длительность их электрических сигналов будет увеличиваться. С течением времени дефект увеличивается в размерах, что приводит к пробую изоляции.

Основной характеристикой частичных разрядов является кажущийся заряд – абсолютное значение такого заряда, при мгновенном введении которого на электроды испытуемого объекта напряжение между его электродами кратковременно изменится так же, как изменилось бы при частичном разряде [3]. Практически в любом высоковольтном оборудовании в рабочих режимах существуют ЧР, однако их разрушающая способность может быть различна. ЧР могут служить средством диагностики изоляции. Их измерение позволяет заблаговременно определять места будущих повреждений в энергооборудовании и принять необходимые меры для их предотвращения [4].

Одним из самых распространенных методов измерения ЧР является электрический метод. Он требует непосредственного контакта измерительных приборов с объектом измерения, однако по своей чувствительности этот метод диагностики не имеет себе



равных, естественно, что при этом должна быть обеспечена надежная отстройка от внешних электромагнитных помех. Так же, он не требует подачи на объект измерения напряжений, сильно превосходящих номинальные рабочие значения, что делает его более щадящим относительно других методов. Помимо электрического метода измерения ЧР, существуют также электромагнитный (позволяет обнаружить ЧР с помощью направленного приемного СВЧ антенного устройства), акустический (для нахождения ЧР используются сверхчувствительные микрофоны, которые улавливают звуковые волны) и другие [5].

Широкое применение методов регистрации ЧР сдерживается из-за сложности методики измерения, дороговизны оборудования и малого количества специалистов, умеющих работать на данном оборудовании.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Мощность частичных разрядов является одной из наиболее информативных характеристик, позволяющих определить степень развития дефекта изоляции. Так, в [6] было проведено моделирование зависимости мощности ЧР от размеров дефекта в изоляции. В связи с этим, возникает необходимость создания прибора, производящего измерение мощности частичных разрядов.

Целью работы является разработка алгоритма работы устройства для измерения мощности частичных разрядов и его структурной схемы.

III. ТЕОРИЯ

Известно, что мощность частичных разрядов находится по формуле [3]

$$P = \frac{q_0 \cdot U_0 + q_2 \cdot U_2 + \dots + q_{\max} \cdot U_{\max}}{t_{\text{изм}}} \quad (1)$$

где $U_0, U_1, U_2, \dots, U_{\max}$ – мгновенные значения воздействующего на изоляцию напряжения в момент образования ЧР с кажущимся зарядом $q_0 \dots q_{\max}$, $t_{\text{изм}}$ – время измерения [4].

Исходя из формулы, алгоритм работы устройства, производящего расчет мощности частичных разрядов представлен на рис. 1.

Для определения мощности частичных разрядов требуется определить кажущийся заряд каждого частичного разряда в отдельности. А затем, вычислив энергию одного ЧР, домножив значение кажущегося заряда на напряжение его возникновения и зная время измерения, определить его мощность. Для этого происходит осциллографирование токового сигнала, содержащего ЧР, который может иметь дополнительные составляющие (емкостный ток, помехи внешних электромагнитных полей). В связи с этим, необходимо произвести фильтрацию сигнала с помощью фильтра, однако, прежде чем определить необходимый фильтр, необходимо проанализировать спектральный состав импульса частичного разряда. Для этих целей было произведено осциллографирование импульса с помощью общепринятой мостовой схемы измерения ЧР [7] и установлен его спектральный состав в Matlab (Рис. 2).

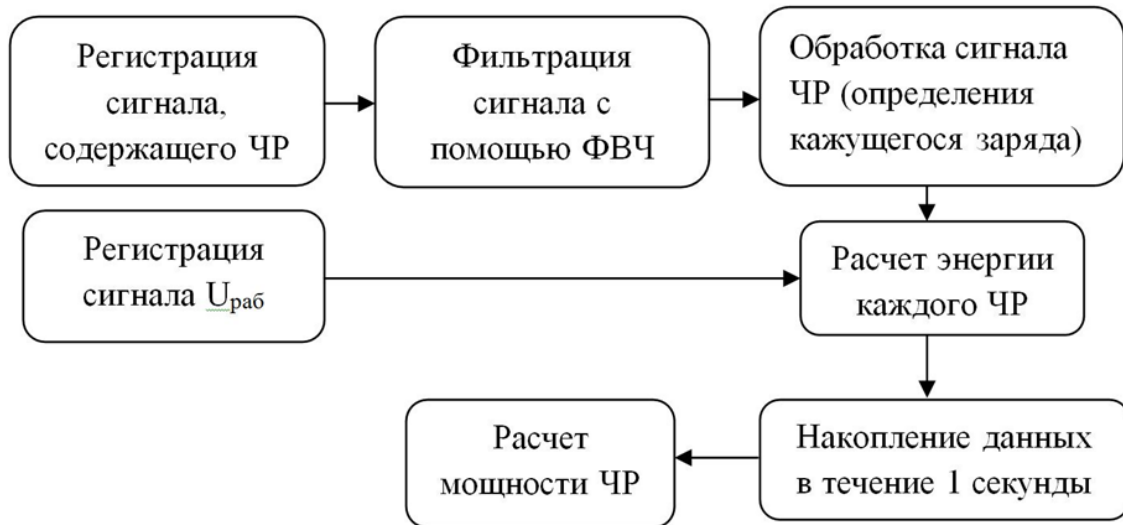


Рис. 1. Алгоритм работы устройства измерения мощности частичных разрядов.

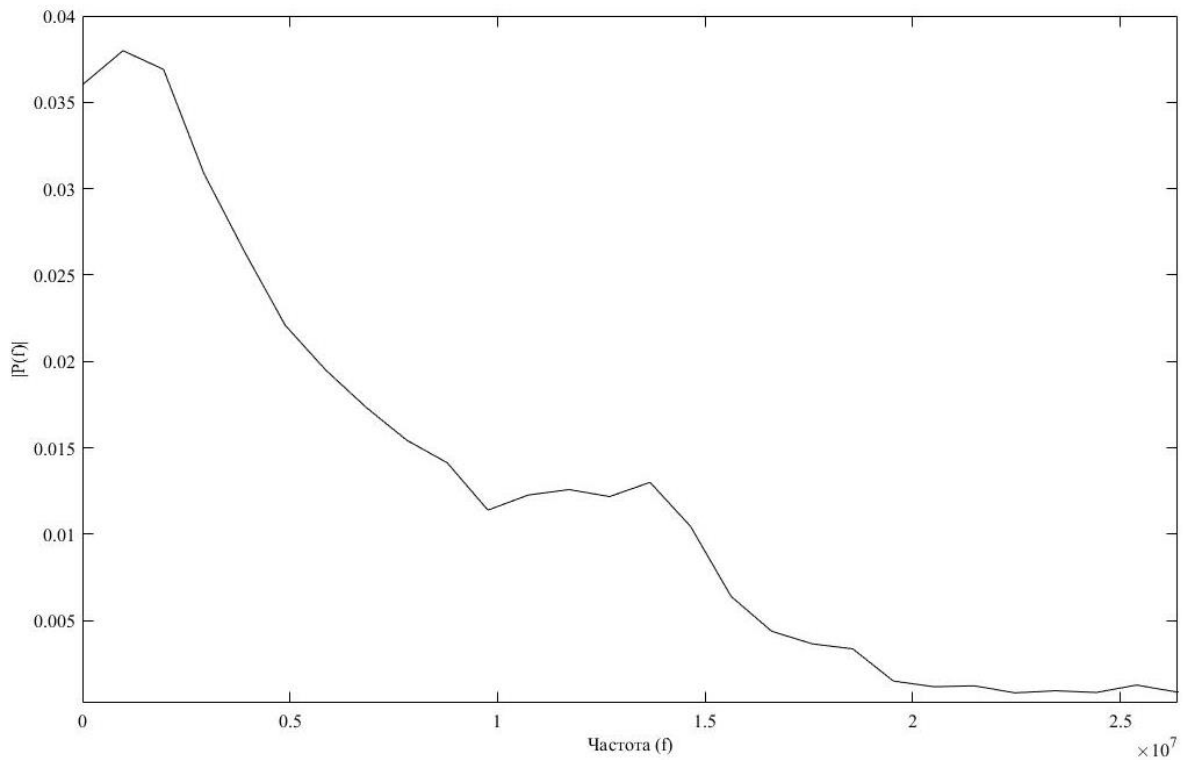


Рис. 2. Спектральный состав импульса частичного разряда

Максимальное значение составляющей спектра приходится на частоту около 1 МГц, исходя из этого, решено использовать фильтр верхних частот с частотой среза 100 кГц. Такая частота срезу не внесет существенных изменений в форму сигнала частичных разрядов, в то же время подавив все низкочастотные составляющие, возникающие в сигнале в связи с наличием емкостной составляющей тока изоляции.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мощность ЧР во многом определяет их разрушительную способность, поэтому ее оценка позволяет своевременно выявить и предотвратить развивающиеся повреждения



изоляции. Представленный алгоритм позволяет определить мощность сигналов ЧР и может быть технически реализован в устройстве. При этом использование в таком устройстве многокаскадного фильтра высоких частот позволяет снизить наводимые помехи. Конечной целью изучения ЧР является создание систем контроля состояния изоляции, которые позволят качественно оценивать состояние высоковольтного оборудования, оценивать остаточный ресурс изоляции и прогнозировать ее пробой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Харламова, Т. Е. История науки и техники. Электроэнергетика. // СПб.: СЗТУ, 2006. – 126 с.
- [2] Электрические свойства полимеров / Б. И. Сажин [и др.] Под ред. Б. И. Сажина – Л.: Химия. – 1986. – 224с.
- [3] Вдовико В. П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования // Новосибирск: Наука, 2007. – 155 с.
- [4] Кучинский Г. С., Кизеветтер В. Е., Пинталь Ю. С. Изоляция установок высокого напряжения: Учебник для вузов / Под общ. Ред. Г. С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 386 с.
- [5] Русов В. А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. — Екатеринбург : УрГУПС. – 2011. – С. 368
- [6] Исмагилов Ф. Р., Максудов Д. В. Математическое моделирование развития частичных разрядов в процессе старения диэлектрика // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2011. Т. 15, № 3 (43). С. 98 – 100.
- [7] Сиялов Н. В., Фоменко Н. А., Словесный С. А. Совершенствование метода регистрации частичных разрядов // Электроэнергетика глазами молодежи: Труды VI Международной науч.-техн. конф. 9-13 ноября 2015, Иваново. – В 2 т. Т. 2. – Иваново: ФГБОУ ВПО: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2015. С. 475 – 478.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. А. Поляков, ст. преподаватель, аспирант, e-mail polyakowdmitry@yandex.ru
И. В. Комаров, студент группы Э-146, бакалавр, e-mail darkterror2308@gmail.com
К. И. Никитин, зав. Каф. ТиОЭ, профессор, e-mail nki@ngs.ru
В. Н. Пугач, аспирант, e-mail pugach-vadim16@mail.ru



УДК 621.314

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ЭФФЕКТА ОЧИСТКИ

А. С. Татевосян, А. А. Лукачева, Б. В. Чижма

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – изложены электротехнические подходы к исследованию физического явления, связанного с высоковольтным разрядом конденсаторной батареи на катушку индуктора, расположенной в непосредственной близости с токопроводящей загрязненной поверхностью. Полезный эффект очистки загрязненной поверхности от сыпучих материалов широко используется на практике. Однако в подавляющем большинстве случаев на промышленных объектах предлагается к использованию дорогостоящее импортное оборудование различных производителей электроимпульсных или магнитоимпульсных установок очистки. При этом вопросам проектирования и создания отечественных электроимпульсных устройств очистки электропроводных поверхностей технологического оборудования от различных веществ уделяется недостаточное внимание. Использование современных электротехнических подходов к рассмотрению данного физического явления является безусловным приоритетом в решении указанных задач. К результатам работы, изложенным в статье, относится выработка электротехнических подходов к изучению высоковольтного электроимпульсного разряда емкостного накопителя на катушку индуктора в непосредственной близости к токопроводящей поверхности.

Ключевые слова – электроимпульсный эффект очистки, высоковольтный разряд, емкостной накопитель, катушка индуктора, вихревые токи, токопроводная немагнитная пластина, упрощенная электрическая схема испытательного стенда

I. ВВЕДЕНИЕ

Электроимпульсный эффект очистки с поверхности промышленного оборудования различных веществ находит применение во многих технологических процессах, показав свою эффективность благодаря созданию ударных волн большой мощности в объекте воздействия (токопроводной поверхности при сравнительно низких показателях электропотребления). Изучение состояния вопроса о промышленном использовании электроимпульсного эффекта очистки поверхности от загрязнений показывает [1, 2, 4], что большая часть задействованных в настоящее время электроимпульсных установок на отечественных предприятиях являются продуктом импортного производства. Несмотря на востребованность этих установок на производстве в России их проектированию уделяется недостаточное внимание, о чем можно судить по количеству научных работ, опубликованных за последнее десятилетие. Проблема повышения эффективности электроимпульсных установок связана с одной стороны сложностью изучения происходящих физических процессов, которая при их моделировании представляет собой многофакторную задачу, а с другой – недостаточностью накопленного опыта их проектирования и подготовки специалистов в этой области.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной статье рассмотрены электротехнические подходы (Рис. 1) к исследованию электроимпульсного эффекта очистки поверхности от загрязнений, которые предусматривают разработку электрической схемы лабораторного стенда, определение

методики проведения испытаний, выбор метода и программного обеспечения для математического моделирования электроимпульсного эффекта очистки. Методологические основы решения любой электротехнической задачи строятся на использовании методов и средств измерительной техники для получения экспериментальных данных и обработки полученной информации, анализа работы электрических цепей и электромагнитного поля.



Рис. 1. Структурная схема электротехнических подходов к исследованию электроимпульсного эффекта очистки: О – Неиспользуемые позиции; ● – Рекомендуемые позиции к использованию

III. ТЕОРИЯ

Электромагнитные процессы преобразования энергии импульсного электрического разряда, происходящие в цепи катушки индуктора и в магнитном поле, индуцирующем вихревые токи в токопроводной немагнитной пластине, сложным образом связаны между собой (Рис. 2).



Рис.2. Структурная схема электроимпульсной установки

В качестве базовой конструкции индуктора электроимпульсной установки (Рис. 3) используется однослойная дисковая катушка с внешним диаметром D , намотанная в виде спирали медной шиной на узкое ребро и круглый изоляционный цилиндр диаметром d . Электропроводная поверхность представляет собой алюминиевый диск диаметром D и толщиной h , расположенный в непосредственной близости к торцевой поверхности индуктора на расстоянии δ , который полностью закрывает собой витки. К дисковой катушке в соответствии со структурной схемой рис 2 через тиристорный коммутатор подключается предварительно заряженный до напряжения U источника питания емкостной накопитель (конденсатор) емкостью C [3].

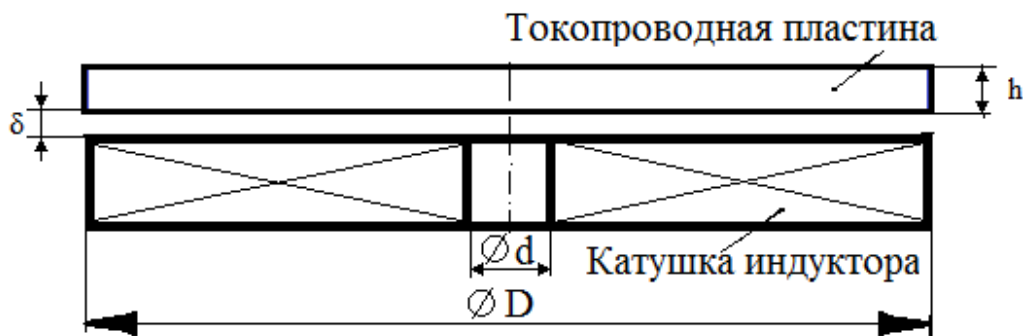


Рис. 3. Система: катушка индуктора – токопроводная пластина

Из разнообразных электротехнических подходов (Рис. 1), имеющих в распоряжении разработчика – исследователя таких систем, следует выбрать основные методы и средства для анализа электрических цепей и электромагнитного поля, а также условия для разработки лабораторного стенда и методики измерений. В теоретическом плане целесообразно объединить задачу анализа физических процессов, происходящих в электрической цепи при разряде конденсаторной батареи на катушку индуктора с задачей расчета вихревых токов, индуцированных переменным магнитным полем в токопроводной пластине при переходном процессе (постановка цепно-полевой задачи). Наличие кусочно-однородных сред расчетной области моделирования с открытыми границами и сложной геометрией выделенных объектов (катушка индуктора, содержащая w витков, алюминиевая пластина, воздушная среда) затрудняет использование аналитических методов расчета нестационарного магнитного поля электроимпульсной установки. Поэтому разумно для ее решения использовать численный метод, основанный на методе конечных элементов, реализованный с помощью комплекса программ Elcut 6.0 (профессиональная версия). Учет переходного процесса при разряде емкостного накопителя на катушку индуктора при этом может быть учтен в расчете нестационарного магнитного поля путем присоединения расчетной схемы замещения электрической цепи (Рис. 4).

Расчётная картина силовых линий магнитного поля системы катушка индуктора – токопроводная пластина в момент прохождения максимума тока через катушку индуктора при разряде конденсатора показана на рис. 5.

Сопоставление результатов расчет нестационарного магнитного поля электроимпульсной установки предусматривает экспериментальное исследование данного физического процесса. На рис. 6 представлена электрическая схема лабораторного стенда для исследования электроимпульсного эффекта.

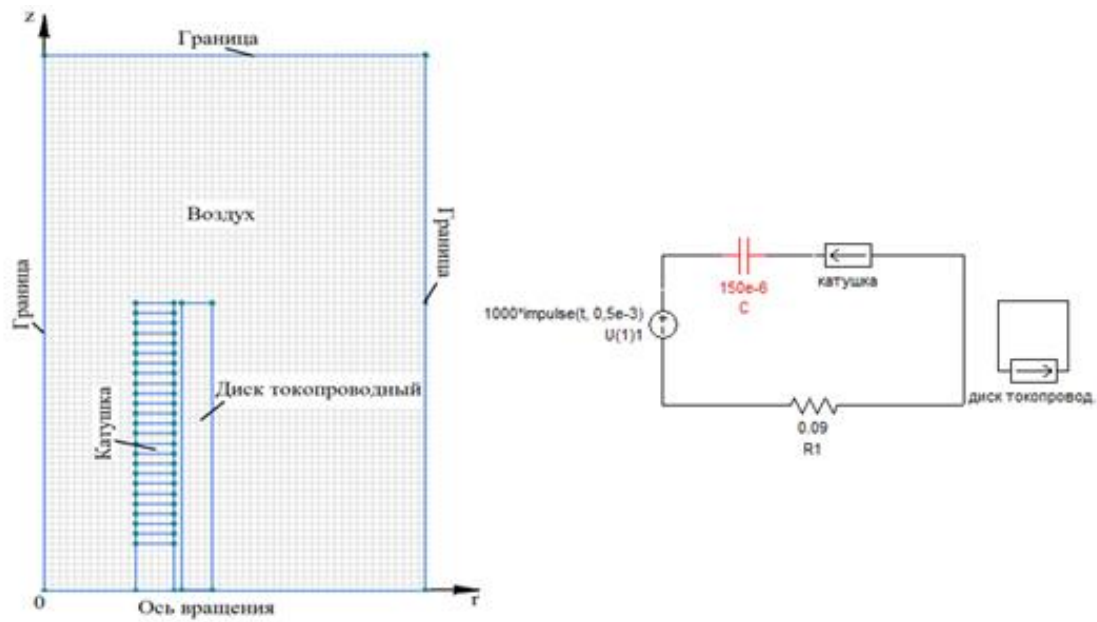


Рис.4. Область моделирования нестационарного магнитного поля электроимпульсного устройства с присоединенной электрической цепью

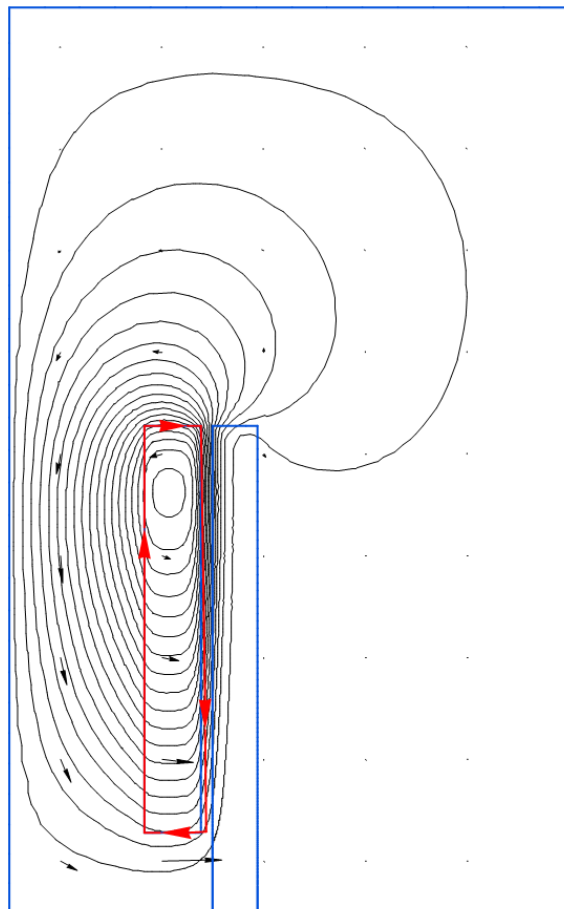


Рис. 5. Расчетная картина нестационарного магнитного поля электроимпульсного устройства в момент прохождения максимума тока

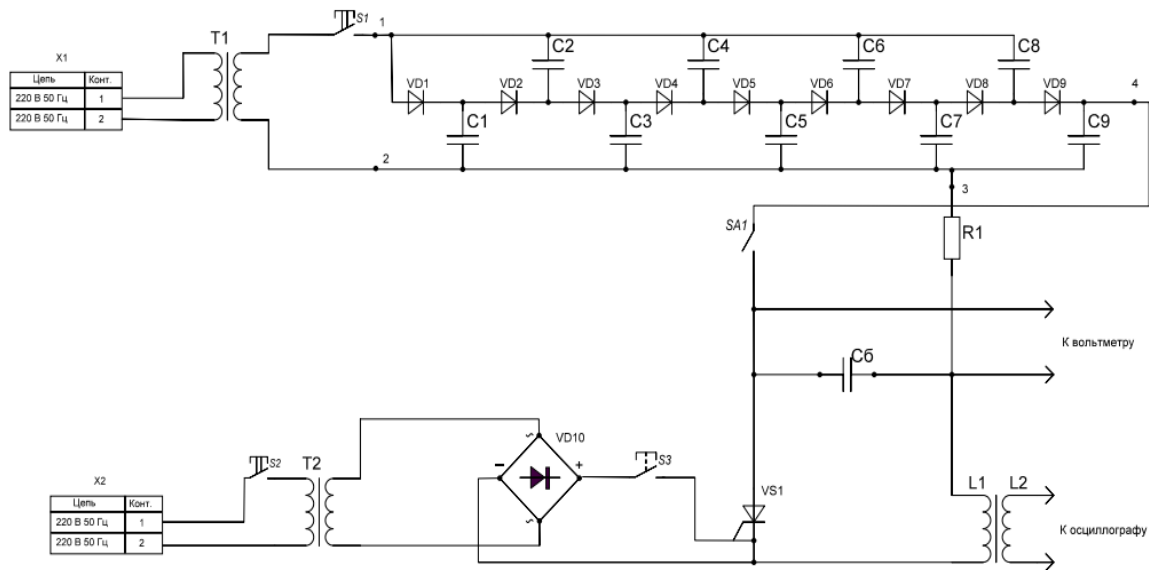


Рис.6. Принципиальная схема электроимпульсной установки

При разработке стенда используются современные информационные технологии получения экспериментальных данных с помощью цифровых регистрирующих приборов и их обработки в пакете MS Excel.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сформулированные электротехнические подходы к исследованию электроимпульсного эффекта очистки токопроводной поверхности технологического оборудования предусматривает решение цепно-полевой задачи расчета нестационарного магнитного поля с присоединенной электрической цепью в комплексе программ Elcut. Для сопоставления результатов расчетов и опыта предложена электрическая схема лабораторного стенда и выбраны методы и средства для обработки получаемых данных с использованием цифровых регистрирующих приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Патент № 2096269. Способ удаления отложений, преимущественно льда, с очищаемой поверхности обшивки и устройство его осуществления/ И.А. Левин - № 4671256/11 Заявл. 13.04.1989; Оpubл. 20.11.1997.
- [2] Patent № US5129598 A. Attachable electro-impulse de-icer/ Lowell J. Adams, Norbert A. Weisend, Jr., Thomas E. Wohlwender - Appl. No: 07/455,129; Filed: December 22, 1989.
- [3] Шильников, П. Ю., Захаренко В.А. Электроимпульсная очистка поверхностей // Россия молодая, 2013. – С. 254 – 255.
- [4] Zhang Z.Q, Shen X.B, Lin G.P. Dynamic response analysis of multi-excitation structure of electro-impulse deicing system, IEEE/CSAA International conference on aircraft utility systems (AUS).-OCT 10 – 12, 2016.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татевосян А.С., к.т.н, доцент, e-mail ast_51@mail.ru
Лукачева А.А., студент, e-mail luckacheva@mail.ru
Чижма Б.В., студент, e-mail chizhma.boris@mail.ru

УДК 62-567/629.113.012.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ АМОРФНОГО ЖЕЛЕЗА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАГНИТОПРОВОДЯЩИХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОРРЕКТОРА ЖЕСТКОСТИ

В. В. Шишкин, А. В. Демин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В настоящее время активно разрабатываются управляемые амортизаторы различных конструкций для повышения безопасности и скорости перемещения транспортных средств. В статье рассматривается электромагнитный корректор жесткости и зависимость его параметров от материала изготовления магнитопровода и сердечника. С помощью программного комплекса Elcut Профессиональный исследуются перспективы применения аморфных сплавов для изготовления магнитопровода и сердечника электромагнитного корректора жесткости с точки зрения развиваемого усилия и массогабаритных параметров. Выявлено, что без изменения габаритных параметров достигается уменьшение веса на 3 % и увеличение усилия на 27 %.

Ключевые слова – электромагнитный корректор жесткости, Elcut, аморфные сплавы

1. ВВЕДЕНИЕ

Усовершенствование электромагнитных характеристик материалов, применяемых для изготовления магнитопроводов точечных изделий, является одним из важнейших и перспективных направлений в современной электротехнике. Одним из способов является создание новых композиционных материалов на основе магнитомягких сплавов, материалы представляют собой сложную многокомпонентную систему. Под магнитомягким сплавом подразумевают аморфный сплав. Аморфные сплавы – особый класс прецизионных сплавов, отличающихся структурой, способом изготовления и комплексом физических свойств. Одним из основных отличий аморфного сплава от электротехнической стали является отсутствие периодичности в расположении атомов (Рис.1).

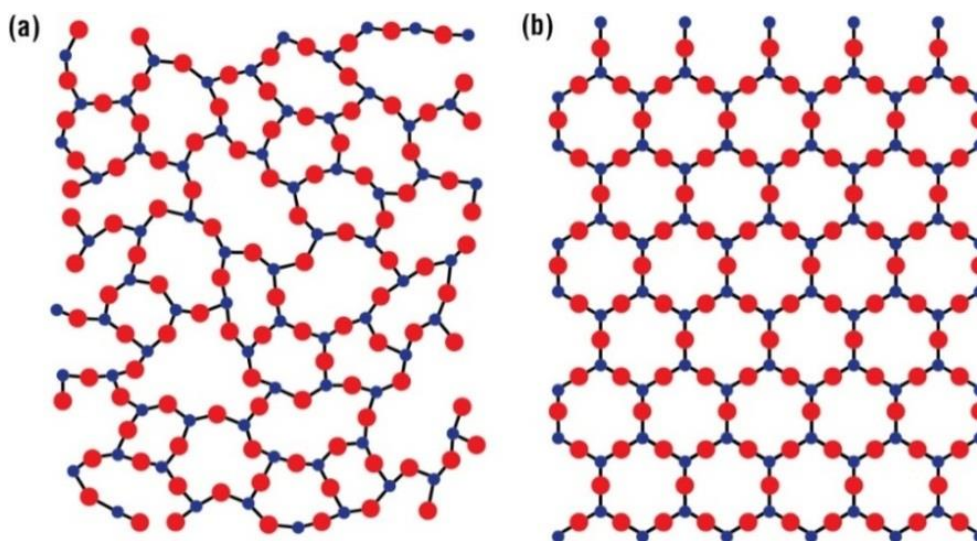


Рис. 1. Виды структуры кристаллической решётки:
а) аморфная структура, б) кристаллическая структура



II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Учитывая свойства аморфных сплавов их целесообразно применять при изготовлении магнитопроводящих частей электромагнитных машин [1]. При применении аморфных сплавов в конструкции электромагнитного корректора жесткости [2] позволяет снизить вес устройства без изменения габаритов, а так же увеличить развиваемое усилие. Независимо от варианта применения, при использовании аморфных сердечников при проектировании индуктивных компонентов обычно обеспечиваются следующие преимущества:

- Уменьшенный вес
- Уменьшенные потери в меди благодаря сокращению числа витков
- Расширенный температурный диапазон от -60 до 125 °С
- Повышенная стабильность свойств и надёжность
- Высокая точность для измерительных устройств
- Повышение КПД устройства.

Задачей является исследование изменения характеристик электромагнитного демпфера [3, 4] при изготовлении его магнитопроводящих частей из аморфных сплавов вместо электротехнической стали.

III. ТЕОРИЯ

Аморфные сплавы обладают большим (около 20 %) содержанием таких элементов, как бор, углерод, фосфор и проч., необходимых для сохранения аморфной структуры. Наличие этих элементов снижает максимальные значения индукции насыщения в аморфных сплавах по сравнению с кристаллическими и увеличивает температурный коэффициент магнитных свойств. Эти же элементы увеличивают электросопротивление, повышают твёрдость и прочность аморфных сплавов, а также их коррозионную стойкость. Магнитопроводы из аморфных сплавов имеют значительно меньшие удельные магнитные потери по сравнению с электротехнической сталью. Они обладают высокой начальной и максимальной относительной магнитной проницаемостью. Плотность аморфного железа на 7 – 8% ниже плотности электротехнической стали.

ТАБЛИЦА I
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМОРФНЫХ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ
ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Свойства материала	Электротехническая сталь (Э31)	Аморфное железо (ММ-11Н)
Амплитуда магн. идукции, B_m (Т)	2,0	1,56
Коэрцитивная сила, H_c (Э)	0,5	0,5...0,7
Начальная проницаемость, μ_i	250	30000
Максимальная проницаемость, μ_m	4500	450000
Удельное сопротивление, ρ ($\mu\Omega/\text{см}$)	50	130
Предельная рабочая температура, T (°С)	250	120

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Исследование материалов и характеристик электромагнитного демпфера производилось с помощью программного комплекса Elcut Профессиональный [5]. Параметры задачи: осесимметричная модель, задача магнитостатики, количество

витков 330, ток в обмотке 30 Ампер, 9900 Ампер-витков. Модель окружена воздухом, граничные условия: магнитный потенциал равен нулю. Общий вид модели и картина поля представлены на рис.2. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

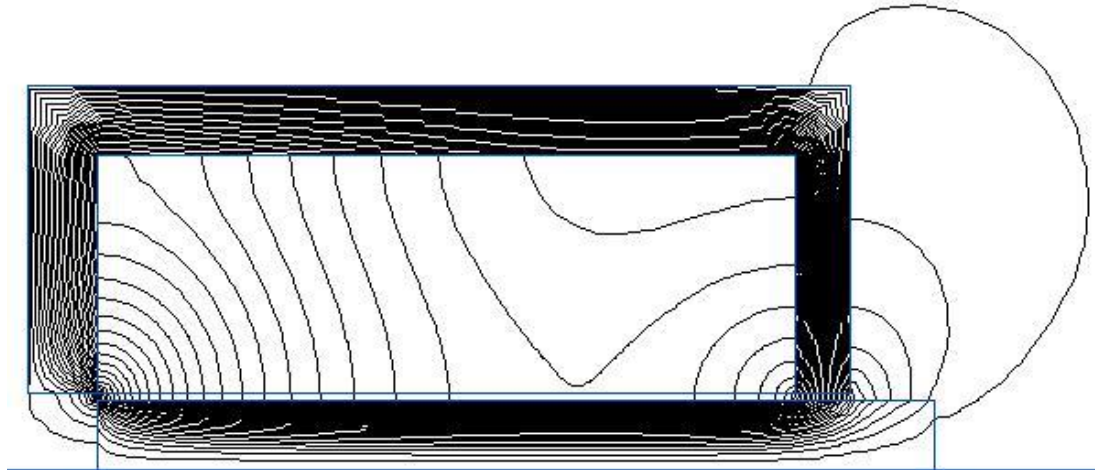


Рис. 2. Картина поля и общий вид устройства

ТАБЛИЦА II
РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

Материал	Относительная магнитная проницаемость μ/μ_0	Развиваемое усилие F, Н	Масса устройства, кг
Электротехническая сталь (Э31)	4000	1505	10,81
Аморфное железо (ММ-11Н)	60000	1913	10,49

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При изготовлении магнитопроводящих частей электромагнитного демпфера из аморфной стали развиваемое усилие увеличивается на 27% по сравнению с усилием, развиваемым при изготовлении сердечника и магнитопровода из электротехнической стали. При этом масса устройства сократилась на 3% без изменения габаритов. Учитывая гораздо большую относительную магнитную проницаемость аморфного железа по сравнению с электротехнической сталью возможно уменьшение габаритов устройства при сохранении его параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хамитов, Р. Н., Аверьянов Г. С. Системы амортизации крупногабаритных объектов с активными упругими и демпфирующими элементами: монография. – Омск: ОмГТУ, 2010. – 123 с.
- [2] Демин А. В., Хамитов Р. Н. Исследование конструкций электропневматического виброзащитного устройства соленоидного типа // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 2–2. С. 112.
- [3] Электропневматический демпфирующий амортизатор: пат. 157196 Рос. Федерация : МПК F16F9/04, F16F6/00/ Р.Н. Хамитов, А.В. Демин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» – № 2015122537/11; заявл. 10.06.2015; опубл. 27.11.2015.
- [4] Электропневматический упругий амортизатор: пат. 157211 Рос. Федерация : МПК F16F9/04, F16F6/00/ Р.Н. Хамитов, А.В. Демин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» – № 2015130220/11; заявл. 21.07.2015; опубл. 27.11.2015.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- [5] Демин А. В., Хамитов Р. Н. Исследование изменения усилия, развиваемого электромагнитным компенсатором жесткости в зависимости от конструкции // Омский научный вестник. 2016. №4 (148). С 94 – 98.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. В. Шишкин, студент 4 курса (бакалавр) e-mail arustokpat86@gmail.com.

А. В. Демин, старший преподаватель кафедры «Электрическая техника», e-mail deminksander@gmail.com.



УДК 621.3

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОГРУЖНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Ф. А. Лосев¹, А. С. Мартьянов¹, В. В. Сушков²¹Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия²Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия

Аннотация – Данная статья посвящена вопросам моделирования установок добычи нефти с погружными асинхронными электродвигателями с целью определения границы динамической устойчивости по напряжению. Разработана математическая модель в перпендикулярных d-q осях, вращающихся со синхронной скоростью. В результате моделирования на программном комплексе Mathcad были получены кривые динамической устойчивости ПЭД при различных коэффициентах загрузки электродвигателя и длине питающего кабеля.

Ключевые слова – динамическая устойчивость, погружной асинхронный электродвигатель, математическая модель

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее часто добыча нефти осуществляется установками с электрическими центробежными насосами (УЭЦН), объединенными в кусты скважин [1]. Они, как правило, относятся к первой категории по надежности электроснабжения, которая допускает прерывание питания лишь на время его автоматического восстановления [2]. При этом время автоматического ввода резерва может достигать нескольких секунд [3].

Количество нарушений электроснабжения длительностью менее одной минуты может достигать 50 % от общего числа нарушений [4]. Однако за это время УЭЦН могут потерять устойчивость из-за малого значения электромеханической постоянной времени [5]. Остановка установок добычи нефти, вызванная нарушением устойчивости, приводит к большим экономическим потерям (упущенной прибыли). Таким образом, определение условий сохранения устойчивости УЭЦН с погружными асинхронными электродвигателями (ПЭД) является актуальным.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для каждого узла электрических нагрузок можно построить кривую $\tau=f(\Delta U)$, отсекающую области критических возмущений и устойчивой работы при задаваемых глубине ΔU и длительности возмущений напряжения τ .

Для определения границы динамической устойчивости ПЭД необходимо разработать математическую модель системы электроснабжения УЭЦН, которая позволит учитывать параметры возмущения напряжения и режима работы насоса. Также необходимо учитывать длину питающего кабеля, так как она является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на кривую динамической устойчивости, наряду с мощностью ПЭД и его нагрузкой [5].

III. ТЕОРИЯ

Типовая схема питания ПЭД, представлена на Рис.1.



Рис. 1. Схема питания ПЭД

Для учета электромагнитных и электромеханических переходных процессов, в качестве модели погружного асинхронного электродвигателя, используются полные уравнения Парка-Горева [6]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = \frac{d\Psi_{sd}}{dt} + \Psi_{sq} \cdot \omega_0 + I_{sd} \cdot r_s \\ U_q = \frac{d\Psi_{sq}}{dt} - \Psi_{sd} \cdot \omega_0 + I_{sq} \cdot r_s \\ 0 = \frac{d\Psi_{rd}}{dt} + \Psi_{rq} \cdot (\omega_0 - \omega) + I_{rd} \cdot r_r \\ 0 = \frac{d\Psi_{rq}}{dt} - \Psi_{rd} \cdot (\omega_0 - \omega) + I_{rq} \cdot r_r \\ \Psi_{sd} = x_s \cdot I_{sd} + x_m \cdot I_{rd} \\ \Psi_{sq} = x_s \cdot I_{sq} + x_m \cdot I_{rq} \\ \Psi_{rd} = x_r \cdot I_{rd} + x_m \cdot I_d \\ \Psi_{rq} = x_r \cdot I_{rq} + x_m \cdot I_q \\ T_j \cdot \frac{d\omega}{dt} = \Psi_q \cdot I_d - \Psi_d \cdot I_q - M_c \end{array} \right. \quad (1)$$

где I – ток; Ψ – потокосцепление; индекс d относится к продольной оси, q – к поперечной оси; s – к обмотке статора, r – к обмотке ротора; x – индуктивное сопротивление рассеяния; r – активное сопротивление; x_m – сопротивление взаимоиндукции; t – время переходного процесса; U – напряжение статора; ω – частота вращения ротора; ω_0 – синхронная частота; M_c – момент сопротивления УЭЦН.

Момент сопротивления УЭЦН определяется из уравнения [7]:

$$M_c = M_0 + (M_n - M_0) \cdot \frac{\omega}{\omega_n} \cdot \sqrt{\frac{H_0 \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 - H_c}{H_0 - H_c}} \quad (2)$$

где M_n – момент сопротивления при номинальной нагрузке; M_0 – момент сопротивления при трогании; ω – частота вращения УЭЦН; ω_n – номинальная частота вращения УЭЦН; H_0 – напор УЭЦН при нулевой подаче; H_c – статический напор.



Для учета переходных процессов представим питающую кабельную линию (КЛ) Г-образной схемой замещения с постоянными активными, индуктивными и емкостными элементами. Также в математическую модель входит уравнение баланса токов в узле КЛ.

Получим систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dI_{kd}}{dt} = \frac{U_{1d} - U_{2d}}{x_k} - \frac{r_k}{x_k} \cdot I_{kd} - I_{kq} \\ \frac{dI_{kq}}{dt} = \frac{U_{1q} - U_{2q}}{x_k} - \frac{r_k}{x_k} \cdot I_{kq} + I_{kd} \\ \frac{dU_{1d}}{dt} = x_c \cdot I_{cd} - U_{1q} \\ \frac{dU_{1q}}{dt} = x_c \cdot I_{cq} + U_{1d} \\ I_{sysd} = I_{kd} + I_{cd} \\ I_{sysq} = I_{kq} + I_{cq} \end{cases} \quad (3)$$

где I – ток; индекс d относится к продольной оси; q – к поперечной оси; k – к продольной составляющей КЛ; c – к поперечной составляющей КЛ; sys – к сети; x_k – индуктивное сопротивление КЛ; r_k – активное сопротивление КЛ; x_c – емкостное сопротивление КЛ; t – время переходного процесса; U_1 и U_2 – напряжения в начале и в конце КЛ.

Все уравнения составлены относительно синхронных осей d и q , где d – продольная ось, q – поперечная ось. Все параметры в системах уравнений представлены в относительных единицах.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В качестве исходных данных для модели были использованы параметры двигателя ЭД-90 117М и кабеля КПБП 3х16 длиной 1000 и 1400 метров.

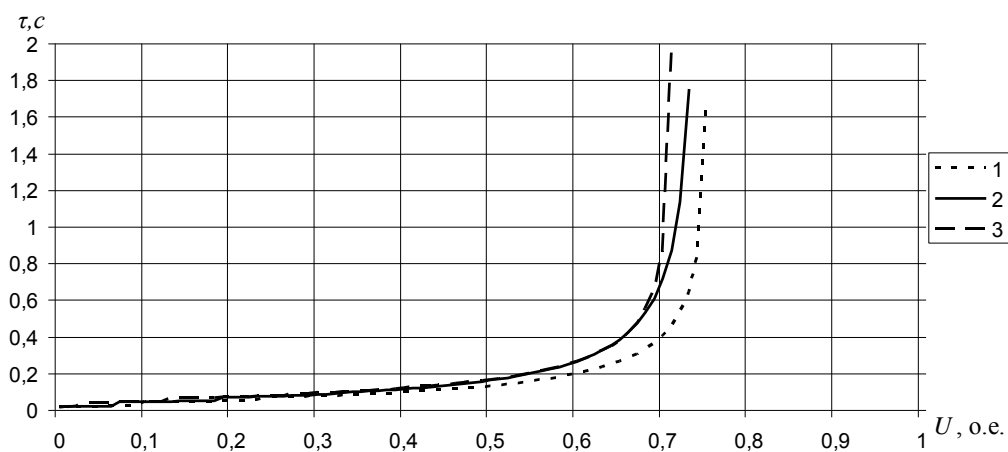


Рис. 2. Кривые динамической устойчивости

В результате моделирования на программном комплексе Mathcad были получены кривые динамической устойчивости ПЭД, которые представлены на рис. 2. Кривая 1 – построена для коэффициента загрузки $K_3 = 1$ и длины питающего кабеля $L = 1400$ м; кривая 2 – для $K_3 = 0,8$ и $L = 1400$ м; кривая 3 – для $K_3 = 1$ и $L = 1000$ м. Полученные кривые



показывают зависимость допустимой длительности провала напряжения τ от величины остаточного напряжения U .

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Согласно результатам моделирования, чем меньше нагрузка ПЭД и длина КЛ, тем продолжительней может быть длительность провала напряжения, при которой сохраняется устойчивый режим работы УЭЦН. Например, при уменьшении коэффициента загрузки ПЭД с 1,0 до 0,8 допустимая длительность провалов напряжения в среднем увеличивается на 32 %, а при уменьшении длины КЛ с 1400 м до 1000 м – на 41 %.

Напряжение статической устойчивости ПЭД уменьшается при уменьшении значения коэффициента загрузки ПЭД и уменьшении длины КЛ, см. Табл. I.

ТАБЛИЦА I
НАПРЯЖЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

ПЭД	Кабель	Длина КЛ, м	K_3	$U_{ст}$, о.е.
ЭД-90 117М	КББП 3х16	1400	1	0,760
		1400	0,8	0,742
		1000	1	0,719

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработанная математическая модель на базе полных уравнениях Парка-Горева позволяет определять длительность провалов напряжений, при которой обеспечивается устойчивость по напряжению с учетом загрузки погружного асинхронного электродвигателя и длины кабельной линии, питающей установку электроцентробежного насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мищенко И. Т. Скважинная добыча нефти. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 816 с.
- [2] Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 8-й выпуск. – Новосибирск: Сиб. ун-в. Изд-во, 2010. – 854 с.
- [3] Гумиров Д. Т., Жуков В. А., Пупин В. М. Повышение надежности работы электроцентробежных насосов и станков-качалок при авариях в питающих сетях предприятий нефтедобычи// Электрооборудование: эксплуатация и ремонт, 2009. № 9. С. 56 – 66.
- [4] Мартянов А.С., Сушков В.В., Небилович И.С. Кратковременные нарушения электроснабжения в электрических сетях нефтяных месторождений//Материалы V Международной научно-практической конференции «Культура, наука, образование: проблемы и перспективы», 2016. С. 123 –126.
- [5] Абрамович Б. Н. Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов// Нефтяное хозяйство, 2010. № 9. С. 104 – 106.
- [6] Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: учеб. для электроэнергет. спец. вузов. - 4-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1985. – 536 с.
- [7] Ершов М.С., Егоров А.В., Трифонов А.А. Устойчивость промышленных электротехнических систем. – М.: ООО «Издательский дом «Недра», 2010. – 319 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ф.А. Лосев, аспирант, fedor_los@mail.ru
А.С. Мартянов, аспирант, brbrmaster@gmail.com
В.В. Сушков, д. т. н., профессор, energo_tsogu@mail.ru



УДК 62.567.7 : 621.313.282.2

ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГО-РЕКУПЕРАТИВНЫХ ПОДВЕСОК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Т. А. Бакаев, Р. Н. Хамитов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – штатная подвеска транспортных средств рассеивает механическую энергию колебаний в виде тепла. В последние годы привлекает много внимания рекуперативная подвеска, имеющая функции утилизации энергии колебаний. В работе рассматриваются возможности преобразования известных амортизирующих устройств в рекуперативные устройства. Для этого проведен анализ известных амортизирующих устройств по количеству потерянной энергии и потенциал энергии, которую возможно восстановить. Проанализированы исследования и разработки рекуперативных подвесок, обобщаются и отмечаются варианты схем сбора энергии колебаний и их характеристики. Отмечено, что рекуперативные подвески имеют хорошую перспективу как устройства генераторно-демпфирующего типа в составе систем поддрессирования транспортных средств.

Ключевые слова – подвеска автомобиля, рекуперация энергии, электромагнитный демпфер, линейный генератор.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно ведется борьба за повышение экологических показателей во всех областях производства и производимой продукции. Это связано с изменениями экологической обстановки окружающей среды. Одной из областей борьбы является автомобильная промышленность. Инженеры постоянно разрабатывают новые и улучшают существующие системы и элементы, а также осуществляется поиск методов рекуперации энергии. Один из таких возможных методов – рекуперация в подвеске автомобиля. Функция подвески – это обеспечение плавности хода, изолирование шасси транспортного средства от дорожных неровностей, и предоставление возможности колесам «мягко» проходить дорожное покрытие. Упругий (металлическая пружина, резинокордная оболочка) и демпфирующий (гидравлические, пневматические и др. амортизаторы) элементы – это две главные составляющие в системе поддрессирования. Условно, амортизатор по проекту должен преобразовывать энергию колебаний в теплоту для уменьшения вибрации, которая передается от дорожного покрытия.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Преобразование энергии колебаний в традиционной подвеске автомобиля в тепловую приводит к потерям и неэффективному использованию энергии топлива в ДВС и электроэнергии в электромобилях, так как по разным оценкам из общих механических потерь в автомобиле, в зависимости от дорожного покрытия, 10 – 20 % приходится на колебания подвески. Анализ, проведенный зарубежным ученым Segel L., показал, что суммарно в четырех демпферах автомобиля рассеивается в среднем 200 Вт энергии на 1 км при движении по плохой дороге со скоростью 13,4 м/с [1]. Во время борьбы за экономические и экологические показатели такая доля потерь является недопустимой. Эту энергию, без вреда для снижения эффективности функционирования подвески, возможно полезно утилизировать.



III. ТЕОРИЯ

Отечественными и зарубежными разработчиками и изобретателями к настоящему времени предложено немалое количество разных по типу и конструкции устройств для рекуперации энергии в подвесках автомобилей. Можно разделить на следующие основные группы: электрические; гидравлические и пневматические; инерционно-механические [2, 3].

Первая группа наиболее перспективна, так как основным видом энергии, применяемой в гибридных и электросиловых установках, является электроэнергия. В остальных же группах после процесса рекуперации требуется трансформация энергии из одного вида в другой, что усложняет конструкцию и приводит к удорожанию производства. Группу электрических устройств можно классифицировать следующим образом: электромагнитные; электромеханические; с постоянными магнитами; магнитореологические; пьезокерамические [4].

Рекуперативная подвеска гидравлического и пневматического типа создается на основе традиционной. В данной подвеске поглощенная кинетическая энергия колебаний преобразуется в потенциальную гидравлическую/пневматическую энергию, которая хранится в специальном аккумуляторе. Однако, такая относительно простая система имеет ряд недостатков. Во-первых, сложная схема трубопроводов обладает значительной массой и для размещения необходимо большее пространство. Во-вторых, утечки или разрыв шлангов могут вывести из строя всю систему. В-третьих, рабочий диапазон работы гидравлических/пневматических систем узкий, и данный факт ограничивает производительность. В-четвертых, ограничены варианты использования регенерированной гидравлической/пневматической энергии [5].

Электромагнитная рекуперативная подвеска преобразует энергию колебаний в электрическую энергию, которую более удобно хранить и повторно использовать. Также имеет высокую эффективность, производительность и обладает небольшими размерами. Применение постоянных магнитов обеспечивают движущую силу в режиме привода и демпфирование в режиме генератора. Усилия демпфирования изменяются путем настройки шунтирующих сопротивлений [6, 7].

Электромагнитная подвеска на основе линейного генератора, как правило, используется для замены традиционных демпферов (рис. 1). Данная система преобразует механическую энергию движения подвески транспортного средства в электрическую энергию без применения передающего устройства. Классификация и общая характеристика наиболее перспективных электрических устройств рекуперации энергии на основе линейных генераторов достаточно полно представлены в работе [8, 9]. В зависимости от типа и конструкции подвесок, а также для повышения общей электрической мощности, в узле подвески могут устанавливаться несколько устройств. Такое устройство работает независимо от наличия в подвеске транспортного средства традиционного гидравлического амортизатора и практически не оказывает влияние на работу последнего. Принцип действия ЛЭМГ основан на эффекте возникновения электрического тока в обмотке катушки при возвратно-поступательном движении якоря из постоянного магнита. При работе ЛЭМГ в их катушках вырабатывается переменный ток, выпрямление которого осуществляется с помощью мостовых диодов, а для «сглаживания» тока применяется конденсатор.



Рис. 1. Демпфер с линейным генератором

Шариковая винтовая пара является распространенным передающим устройством, которое преобразует поступательное (линейное) движение во вращательное (Рис. 2). После преобразования движения становится возможным применение вместо линейного генератора традиционного и распространенного генератора, в основе работы которого лежит вращательное движение ротора [10].

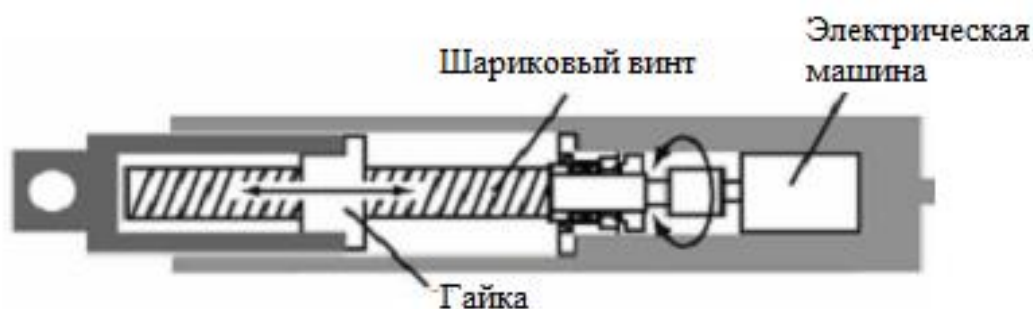


Рис. 2. Демпфер с шариковинтовой парой

В качестве альтернативы демпферу с шариковинтовым передающим устройством возможно применение планетарной передачи. С ее помощью имеется возможность уменьшения или увеличения скорости вращения ротора генератора [11].

В последнее время получил развитие магнитореологический (МР) демпфер (Рис. 3). Он обладает относительно простой конструкцией, высоким динамическим диапазоном, низким энергопотреблением, высокой надежностью и силой. Перспективы экономии энергии при применении данной системы еще больше, поэтому многие ученые занимаются изучением магнитореологического демпфера с автономным питанием. Hyung-Jo Jung предложил интеллектуальную систему демпфирования с автономным питанием, которая состоит из МР демпфера с электромагнитным индукционным устройством, которое уменьшает колебания штока. Данное устройство поглощая энергию колебаний вырабатывает электроэнергию, которая затем используется для работы магнитореологического демпфера. За счет этого и обеспечивается автономность работы системы [12].

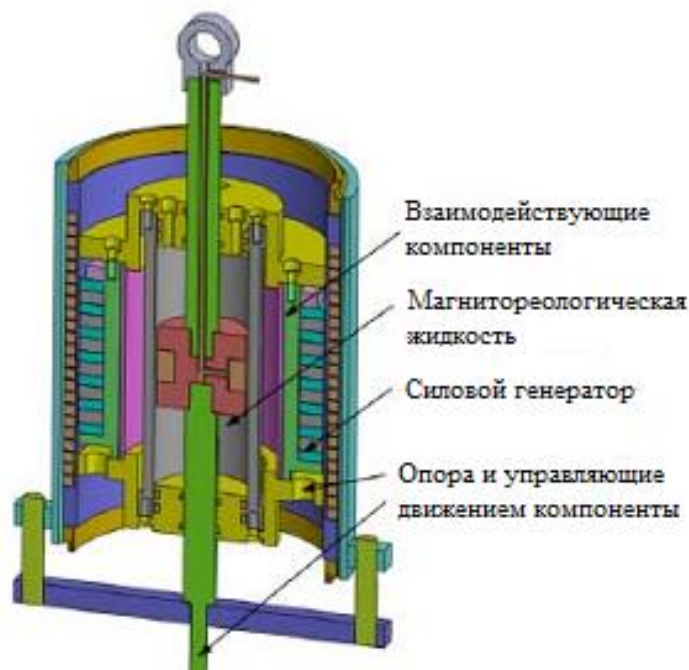


Рис. 3. Магнито реологический демпфер

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обычно энергия колебаний подвески транспортного средства рассеивается в виде тепла амортизатором, что представляет собой неэффективное использование энергетических ресурсов, в том числе и электроэнергии. Рекуперативная подвеска предоставляет возможность утилизировать энергию колебаний в полезную электрическую энергию, которую можно запастись в системе энергообеспечения. Наиболее перспективными для построения на их базе рекуперативных подвесок является группа электрических демпфирующих устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Segel L, Lu X P, "Vehicular Resistance to Motion as Influenced by Road roughness and Highway Alignment", Australian Road Research, 1982, 12(4), pp. 211 – 222.
- [2] Посметьев В.И., Драпалюк М.В., Зеликов В.А. Оценка эффективности применения системы рекуперации энергии в подвеске автомобиля // Научный журнал КубГАУ, 2012. – №76(02). – С.559–573.
- [3] Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С. Системы амортизации крупногабаритных объектов с активными упругими и демпфирующими элементами. – Омск: ОмГТУ, 2010. – 124 с.
- [4] Хамитов Р. Н., Татевосян А. А. Электротехнические комплексы в ударовиброзащите крупногабаритных объектов // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника Труды Четвертой Всероссийской научно-практической конференции. Под общей редакцией В.Ю. Островляничка. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2010. С. 289 – 296.
- [5] Добромиров В. Н., Остецов А. В. Конструкции амортизаторов. – М: МГТУ «МАМИ», 2007. – 47 с.
- [6] V.L.J. Gysen, Tom P.J., J.J.H. Paulides et al., "Efficiency of a Regenerative Direct-Drive Electromagnetic Active Suspension", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol.60, No.4, May 2011.
- [7] Демин А. В., Фетисов К. Ю., Прусова О. Л., Хамитов Р. Н. Электромагнитное амортизирующее устройство систем поддрессоривания // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. №1. 2014. – С.349–351.



- [8] Бабилова Н. Л., Саттаров Р. Р., Полихач Е. А. К вопросу о классификации линейных электрических генераторов // Вестник УГАТУ, 2009. Т. 12, № 1 (30). – С. 144 – 149.
- [9] Н.В. Arsem, “Electric shock absorber”, US Patent number 3559027, 1971
- [10] <http://www.tex-invest.ru/projects/eldyngeneration.php> [Электронный ресурс] / Электродинамический амортизатор-генератор электрического тока для колесных транспортных средств.
- [11] Suda Y, Shiiba T, Hio K, et al., “Study on Electromagnetic Damper for Automobiles with Nonlinear Damping Force Characteristics (Road Test and Theoretical Analysis)”, Vehicle System Dynamics, 2004, 41(Sup.) , pp.637-646.
- [12] In-Ho Kim, Hyung-Jo Jung, and Jeong-Hoi Koo, “Experimental Evaluation of a Self-powered Smart Damping System in Reducing Vibrations of a Full-scale Stay Cable”, Smart Materials and Structures. 19(2010) , pp.1 – 10.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Т. А. Бакаев, магистр, e-mail: bakaev_ta@mail.ru

Р. Н. Хамитов, д.т.н., профессор кафедры «Электрическая техника», e-mail: apple_27@mail.ru



УДК 621.3

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ГАШЕНИЯ ДУГИ

М. С. Бенке, А. Л. Литневский

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В настоящей статье рассматриваются перспективы и особенности развития техники и технологии гашения электрической дуги. Представлены характеристики и виды дугового разряда. Подробно обсуждаются способы борьбы с электрической дугой, ее гашения. Описываются особенности появления электрической дуги в коммутационных аппаратах различных типов. Сформулированы выводы о существенном значении изучения электродуговых процессов для развития электротехники в целом. Предложены возможности усовершенствования коммутационных аппаратов.

Ключевые слова – Гашение дуги, коммутационный аппарат, дуговой разряд, разъединители, выключатели.

I. ВВЕДЕНИЕ

Электродуговые процессы и агрегаты в производстве электроэнергии получили обширный спектр применения: автоматы гашения поля на генераторах электростанций, пробивные предохранители и промежутки в электросетях, коммутационные аппараты высокого и низкого напряжения, плазменные генераторы для резки и сварки металлов, розжига и стабилизации горения пылеугольного факела, газификации углей. В каждом из этих устройств применяется способ трансформации электромагнитной энергии электромашинных генераторов и электросетей в тепловую в виде электрической дуги. Во-первых, дуга реализует важные функции рассеяния полученной энергии, благодаря чему ограждает установки станций и сетей от уничтожения. Во-вторых, осуществляет нужную работу в форме энергии высокой концентрации [1]. Поэтому очевиден интерес исследователей и разработчиков к технологиям устранения электрической дуги.

II. ДУГОВОЙ РАЗРЯД

Использование высоковольтной техники в электроэнергетике – единственный на сегодня путь передачи больших потоков электроэнергии от источника к удаленным потребителям.

Для гарантии безопасности, в высоковольтных распределительных установках, используют разъединители. Изоляторы не содержат установок для гашения, это может стать причиной появления стабильной дуги, приводящей к короткому замыканию между фазами.

Предотвращение перенапряжения, исправность работы коммутационных устройств, как их конструктивные формы и области эксплуатации определяются технологиями гашения дуги. Целью образования дугогасящих установок является не простое

уничтожение дуги. Её нужно тушить в небольшом объеме, при низком звуковом и световом эффекте, за минимальное время и при малом износе частей аппаратов [2].

Прежде всего, рассмотрим физический смысл дугового разряда.

Отключая электрическую цепь, появляется электрический разряд на подобии электрической дуги. Она изображается разрядом, который описывается большой плотностью тока и температурой, а так же увеличенным давлением газа и небольшим падением напряжения на дуговом интервале. Для того чтобы возникла электрическая дуга нужно, чтобы напряжение на контактах превосходило 10 В при токе в цепи порядка 0,1А и выше. При существенных напряжениях и токах температура в дуге может составлять 3 – 15 тыс. градусов Цельсия, из-за этого плавятся контакты и ведущие части. Горение дуги поддерживается благодаря термоэлектронной эмиссии с поверхности катода. Вылетевшие из катода электроны увеличивают скорость электрическим полем и, встречаясь с молекулами газа, ионизируют их. При этом резко увеличивается проводимость газа, происходит его сильное разогревание и среди электродов появляется столб ярко светящегося газа.

Различают три стадии появления дуги: зажигание, устойчивое горение и погашение.

Внешний вид и отдельные части дугового разряда: в дуге выделяются три сферы, отличающиеся по природе текущих в них процессов. К катоду дуги примыкает сфера катодного падения напряжения. Затем примыкает плазменный ствол дуги. Соответственно анод граничит с зоной анодного падения напряжения. Все это представлено рис.1.

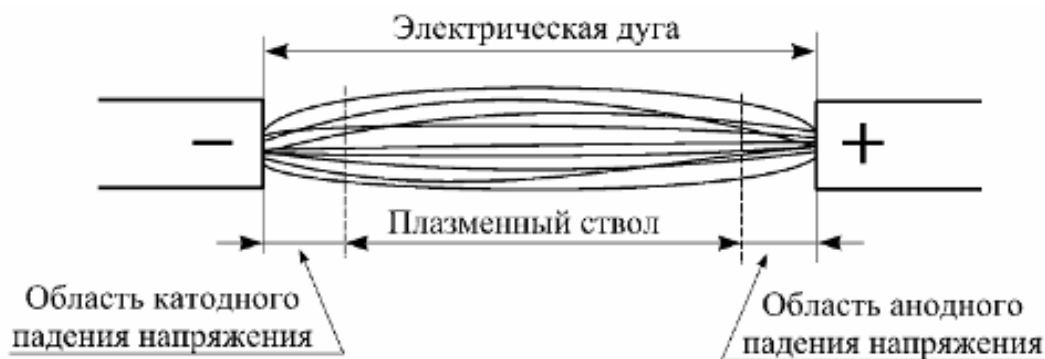


Рис. 1. Структура электрической дуги

Зоны катодного и анодного падения напряжения на изображении преумножены, на самом деле они намного меньше. Если сильно нагреть электроды, то появляются катодные и анодные пятна.

Ключевая характеристика дуги постоянного тока – зависимость напряжения дуги от тока, называемая вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Дуга появляется между контактами при определенном напряжении (Рис. 2) – напряжении зажигания. Оно зависит от расстояния между контактами, от температуры и давления среды и от скорости расхождения контактов.

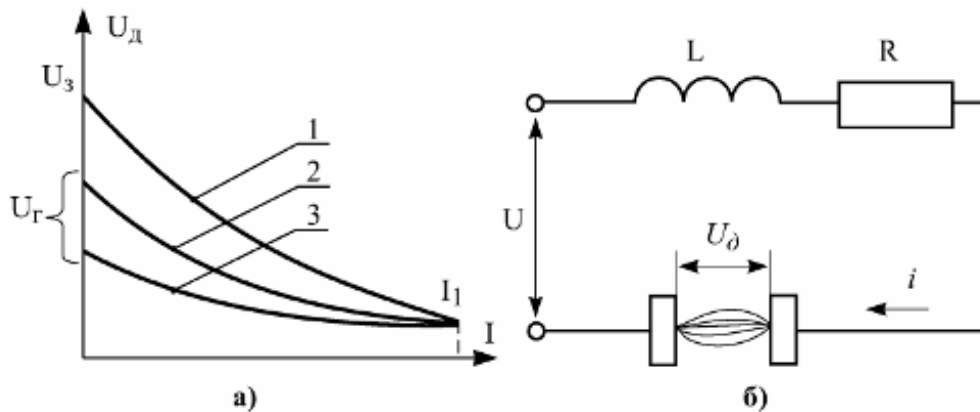


Рис. 2. ВАХ дуги постоянного тока (а) и ее схема замещения (б)

Изображение статистической характеристики дуги представлено кривой 1. Она получается при медленном изменении тока и имеет падающий характер. Увеличивая ток, напряжение на дуге уменьшится. Следовательно, видим, сопротивление дугового промежутка снижается быстрее повышения тока. Снижая, с определенной скоростью, ток в дуге от 1 до нуля и одновременно фиксируя падение напряжения на дуге, получаем кривые 2 и 3, называемые динамическими характеристиками. Положение динамических ВАХ зависит от быстроты изменения тока.

Дуга обладает падающей характеристикой, следовательно, может применяться в виде генератора незатухающих колебаний. Модель дугового генератора видна на рис 3.

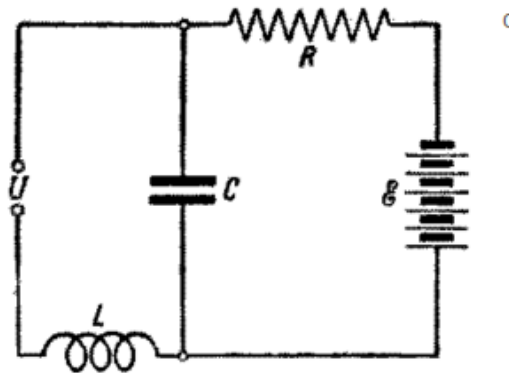


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема дугового генератора

Положительный столб дугового разряда при высоком и сверхвысоком давлении. Увеличивая давления газа и плотность тока, температура по оси положительного столба увеличивается. Процессы ионизации приобретает вид, параллельный чисто термической ионизации. Средняя кинетическая энергия электронов плазмы приравнивается к средней кинетической энергии частиц нейтрального газа. По своим характеристикам плазма становится схожей с изотермической плазмой, что дает право решать задачи с определением разных параметров разряда.

III. ТЕХНОЛОГИЯ ГАШЕНИЯ ДУГИ

Используя высоковольтные электроприборы, с постоянным появлением электрической дуги, борются с ней с помощью электромагнитных катушек, которые совмещены с дугогасительными камерами. Существуют и другие способы, такие как



применение вакуумных и масляных коммутаторов, а также технологии отвода тока на временную нагрузку, самостоятельно прерывающую электрическую цепь [3].

Рассмотрим основные методы гашения дуги:

Увеличение длины дуги приводит к улучшению ее охлаждения. Это происходит из-за увеличения площади поверхности, поэтому и для горения нужно большее напряжения.

Деление длинной дуги на несколько коротких. Применяется в выключателях на напряжении, не превышающем 1кВ.

Охлаждение дуги в узких щелях. Гасить дугу легче в небольшом объеме.

Ликвидация дуги высоким давлением. Увеличивая давление, при постоянной температуре, степень ионизации газа уменьшается, благодаря этому происходит увеличение теплопроводности газа. При других одинаковых обстоятельствах это способствует сильному охлаждению дуги.

Гашение дуги в масле. Помещая контакты коммутатора в масло, то возникающая при их размыкании дуга вызывает интенсивное улетучивание масла. Таким образом, получаем пузырь, образованный вокруг дуги, который содержит по большей части водород и пары масла.

Дугогасительные камеры. Делятся на три категории по принципу работы. С автодутьем, работающие благодаря энергии, которая выделяется в зоне дуги, из-за чего появляется высокое давление и скорость движения газа. С принудительным масляным дутьем с участием специально давящих гидравлических механизмов. С магнитным гашением в масле. В этом случае, по причине влияния магнитного поля, дуга переносится в узкие щели коммутационного аппарата.

Дуга обдувается потоком сжатого воздуха вдоль или поперек, что обеспечивает ее интенсивное охлаждение.

Элегаз имеет электрическую плотность выше, чем у воздуха и водорода. В результате, дуга горящая в этом газе, даже при атмосферном давлении, быстро гаснет.

Высокоразреженный газ (вакуум), при размыкании контактов дуга не зажигается вновь вслед за первым прохождением тока через нуль [4].

На данный момент в мире возрастает интерес к усовершенствованию коммутационных устройств: создание аппаратов с управляемой коммутацией (самоуправляемых аппаратов); соединение функций выключателей; создание разновидных методов коммутации (экологичные, полупроводниковые и сверхпроводниковые выключатели); отбор новейших диэлектрических сред для изоляции и дугогашения [5].

За границей увеличивается численность самоуправляемых аппаратов. Управляемые выключатели способствуют устранению проблем безопасности скачков тока и перенапряжения, повышения резерва устройства, а также его надежности. Использование самоуправляемых аппаратов служит сдвигом в соединении функций регулирования и защиты устройств.

Объединение систем самоуправляемых аппаратов со структурами диагностики и мониторинга позволит создать «интеллектуальные» аппараты. Подобные устройства обретут широкое применение. Использование для самоуправляемых аппаратов высокоактивных разрядников увеличит потенциал «интеллектуальных» аппаратов.

Соединение функций выключателей поможет с выбором более простых, высокоэкономичных структур подстанций. Кроме того это будет способствовать



снижению численности устройств на подстанции, сокращение площади и объема подстанции, а также повышение экологических показателей.

В настоящее время в мире проводят эксперименты по соединению функций выключателя и разъединителя, разъединителя и заземлителя в одном устройстве. Проверяется реальность использования схем подстанций без разъединителей, когда опции разъединителя реализует высоконадежный коммутационный аппарат или когда в коммутационный аппарат входят прозрачные изоляторы для проверки позиции контактов. Реализуется производство по увеличению коммутационной функции разъединителей.

Способности элегазовых и вакуумных выключателей в комплексе с электроизоляционными, дугогасительными и эксплуатационными функциями лишены соперничества со стороны других материалов, это способствует поиску альтернативных методов коммутации. На данный момент степени прогресса полупроводниковых устройств и сверхпроводящей техники слишком мало для соперничества с обычными выключателями. Но все-таки в мире данные направления широко распространяются, и можно предсказать, что альтернативные устройства появятся в ближайшем будущем [6].

Очень прогрессивно создание ограничителей токов КЗ на основе высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Применение их в сетях среднего напряжения уже к 2020 г. сделает возможным значительно уменьшить требования к отключающей функции коммутационных аппаратов. Сейчас использование их дорогостоящее, если сравнивать со стоимостью обычных аппаратов, поэтому применение ограничено. Обширное применение определяется прогрессом технологии сверхпроводников, усовершенствованием их показателей. Применение явлений сверхпроводимости и в других электротехнических устройствах, поспособствует этому.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейчас использование электрической энергии очень широко распространено. Успехи электротехники применяются во многих областях практической активности человека. Все это доказывает, что исследование дугового разряда обладает немаловажным значением для общенаучного и технического прогресса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Дуга электрическая – статья из Большой советской энциклопедии, 3-е издание, Т. 8, 1972.
- [2] Новиков О. Я. Устойчивость электрической дуги. Л.: Энергия, 1978, – 160 с.
- [3] Процесс образования электрической дуги и способы ее гашения. <http://electricalschool.info/naladka/388-process-obrazovaniya-jelektricheskoyj.html>.
- [4] Алферов Д. Ф., Иванов В. П., Евсин Д. В., Сидоров В. А. «Изучение статистических закономерностей гашения электрической дуги постоянного тока»// «Теплофизика высоких температур», №4, 2008 г. С. 495 –503.
- [5] Залесский А.М. «Электрическая дуга отключения». Монография. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1963. – 267 с.
- [6] «Дуга Василия Петрова», журнал «Популярная механика» // №133, ноябрь 2013.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М.С. Бенке – магистр, e-mail: maiga.benke@gmail.com

А.Л. Литневский – к. ф.-м. н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail: a_lit@list.ru



УДК 621.3.036

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА С ВНЕШНИМ ПРИТЯГИВАЮЩИМ ЯКОРЕМ

Н. Д. Буряков, А. С. Татевосян, Р.Н. Хамитов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – рассмотрен подход к моделированию переходного процесса поляризованного электромагнита постоянного тока при фиксированной величине рабочего зазора через решение задачи нестационарного магнитного поля с присоединенной электрической цепью в комплексе программ Elcut 6.0 (профессиональная версия). В исследуемой конструкции поляризованного электромагнита с внешним притягивающимся якорем существуют два независимых магнитных потока. Рабочий магнитный поток возникает под действием намагничивающей силы управляющей обмотки. Поляризуемый магнитный поток создается двумя постоянными магнитами из магнитного сплава NdFeB (неодим-железо-бор). При отсутствии тока в обмотке на якорь действует сила притяжения, создаваемая поляризуемым магнитным потоком. От величины и направления рабочего магнитного потока, определяемым направлением тока в рабочей обмотке, зависит действие поляризованного электромагнита. Учитывая широкое распространение электромагнитов в различных областях техники, в том числе поляризованных электромагнитов, расширение возможностей методов их исследования в установившихся и переходных процессах представляет актуальную задачу. На основе решения задачи нестационарного магнитного поля поляризованного электромагнита в комплексе программ Elcut рассчитаны картины магнитного поля и получены его временные зависимости при подключении обмотки управления к источнику постоянного напряжения.

Ключевые слова – нестационарное магнитное поле, поляризованный электромагнит с внешним притягивающимся якорем, постоянные магниты из магнитного сплава NdFeB, переходный процесс, управляющая обмотка, постоянное напряжение источника питания, фиксированный рабочий зазор

I. ВВЕДЕНИЕ

Исследование переходных процессов в электромагнитах при включении обмотки на напряжение источника питания относится к числу распространенных задач, решаемых студентами на лекционных и практических занятиях при изучении дисциплин «Теоретические основы электротехники», «Электротехника и электроника» и других. Академичность рассмотрения учебного материала по этой теме часто создает у студентов впечатление, что вопросы переходных процессов в электромагнитах достаточно хорошо изучены и нет необходимости расширения знаний в этой области. Однако в действительности дело обстоит иначе [1]. Электромагниты отличаются друг от друга разнообразием конструктивных решений и практического использования. Расчет установившегося и переходного процесса в электромагнитах различного назначения является ядром задачи их оптимального проектирования, устанавливающей взаимосвязь конструктивных параметров электромагнитов с энергетическими показателями их работы. В поляризованных электромагнитах решение задачи оптимального проектирования усложняется наличием в их конструкции постоянных магнитов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Переходный процесс при включении обмотки поляризованного электромагнита к источнику постоянного напряжения при фиксированной величине рабочего зазора происходит не только в электрической цепи обмотки, но и в магнитном поле, распределенном в пространстве, окружающем витки обмотки, массивный стальной сердечник (якорь) и нешихтованный магнитопровод. Физические процессы, происходящие в электрической цепи и магнитном поле электромагнита при переходном процессе, между собой взаимосвязаны. Поэтому их отдельное рассмотрение при расчете переходного процесса с использованием упрощающих задачу допущений не всегда оправдано и может не только превысить допустимую погрешность расчета, но и дать ошибочный результат, если не учитывать влияние вихревых токов в массивных стальных частях конструкции магнитопровода, насыщение стали, истинную геометрию магнитной системы электромагнита.

В данной статье рассматривается расчет нестационарного магнитного поля поляризованного электромагнита с неподвижным якорем с фиксированной величиной рабочего зазора при подаче на обмотку постоянного напряжения источника питания. Современные информационные технологии, предоставляемые комплексом программ Elcut 6.0 (профессиональная версия), позволяют рассчитать нестационарное магнитное поле поляризованного электромагнита с присоединенной электрической цепью (Рис. 1). При выполнении расчета нестационарного магнитного поля в комплексе программ Elcut приняты следующие допущения [2]:

- магнитное поле поляризованного электромагнита является плоскопараллельным;
- магнитные проницаемости и электрические проводимости используемых сред являются постоянными величинами;
- в исследуемой конструкции поляризованного электромагнита магнитопровод изготовлен шихтованным, то есть он набран из штампованных листов электротехнической стали, поэтому в расчете электропроводность стали невелика и отлична от нуля.

Расчет нестационарного магнитного поля производится с помощью векторного магнитного потенциала. Область моделирования ограничена прямоугольником размерами 50 мм×80 мм. Обмотки электромагнита состоит из двух последовательно соединенных катушек. Число витков каждой катушки равно 330.

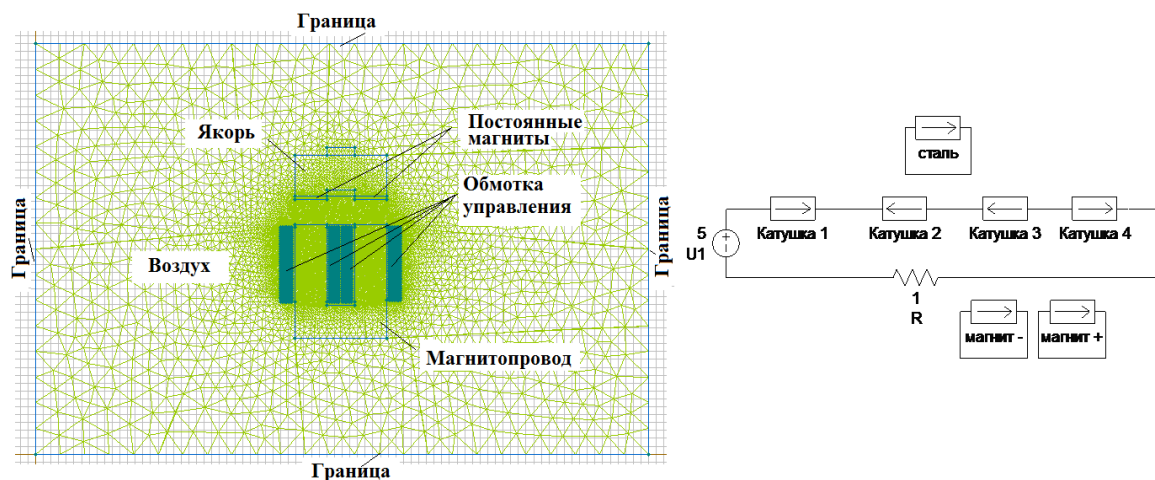


Рис. 1. Геометрия модели поляризованного электромагнита и присоединенная электрическая схема в комплексе программ Elcut (расчетная область покрыта сеткой из 5554 узлов)

III. ТЕОРИЯ

Математическая постановка задачи основывается на совместном решении уравнений, описывающих магнитное нестационарное поле поляризованного электромагнита и электрическую цепь обмотки при подключении ее к источнику постоянного напряжения при заданных начальных и граничных условиях в комплексе программ Elcut. В момент коммутации ток в обмотке равен нулю. На границах расчетной области моделирования за все время переходного процесса значение векторного магнитного потенциала равно нулю.

Окна задания физических свойств выделенных объектов в комплексе программ Elcut показаны на рис. 2.

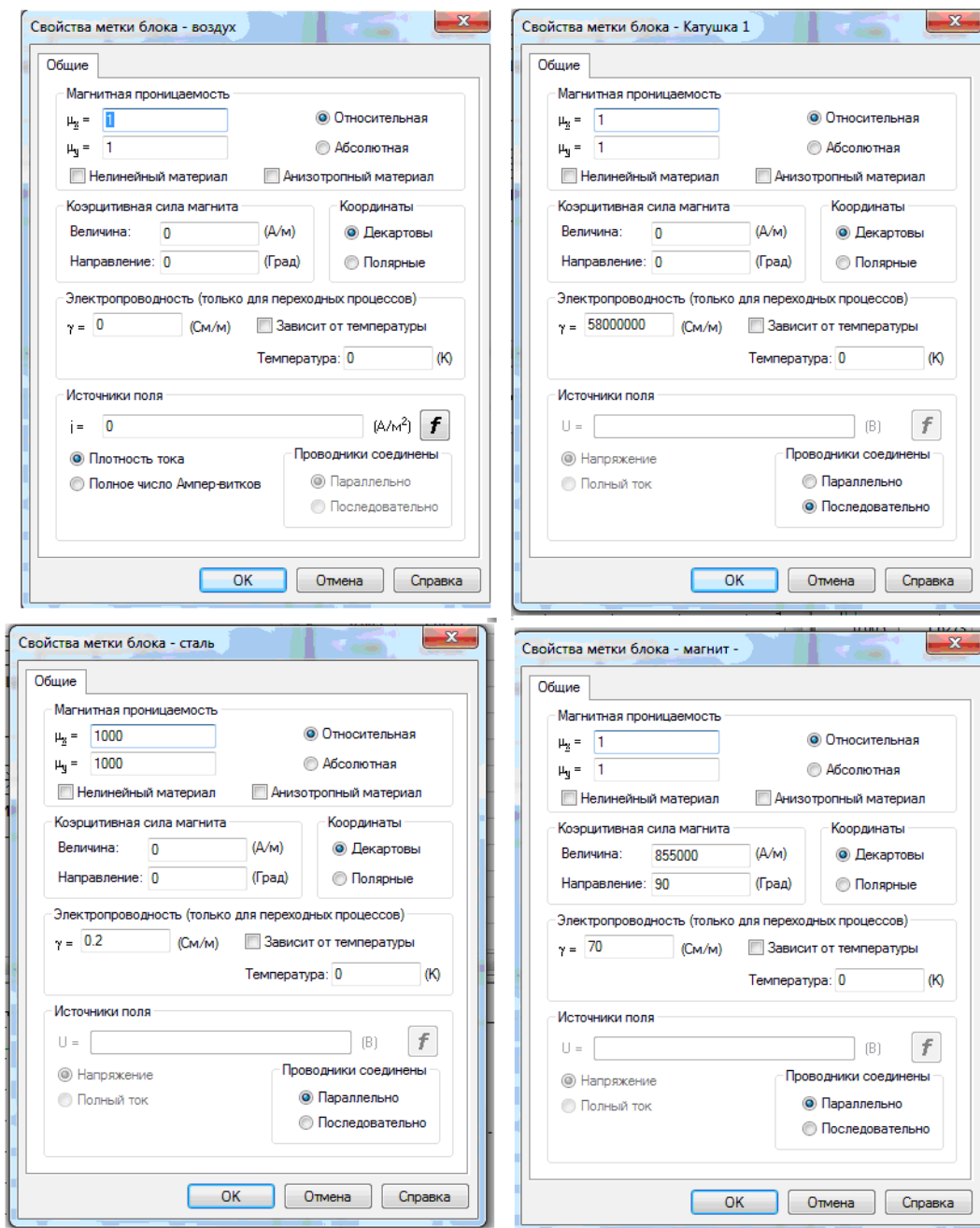


Рис. 2. Задание физических свойств выделенных объектов: (воздух, катушка, сталь, постоянный магнит)

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результаты расчета нестационарного магнитного поля и временной зависимости тока в обмотке показаны на рис. 3 и 4.

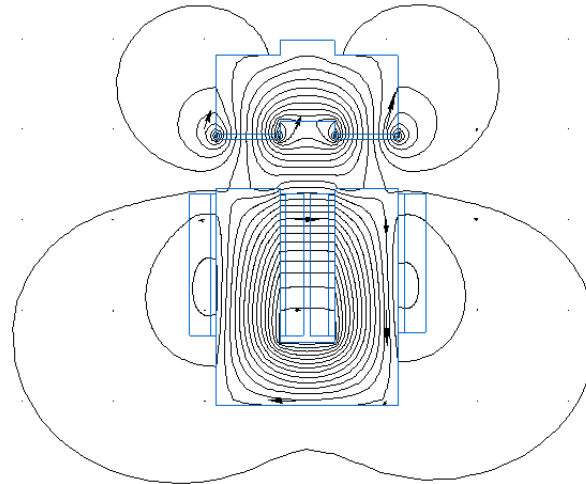


Рис. 3. Картина магнитного поля по окончании переходного процесса для момента времени 0,1 с.

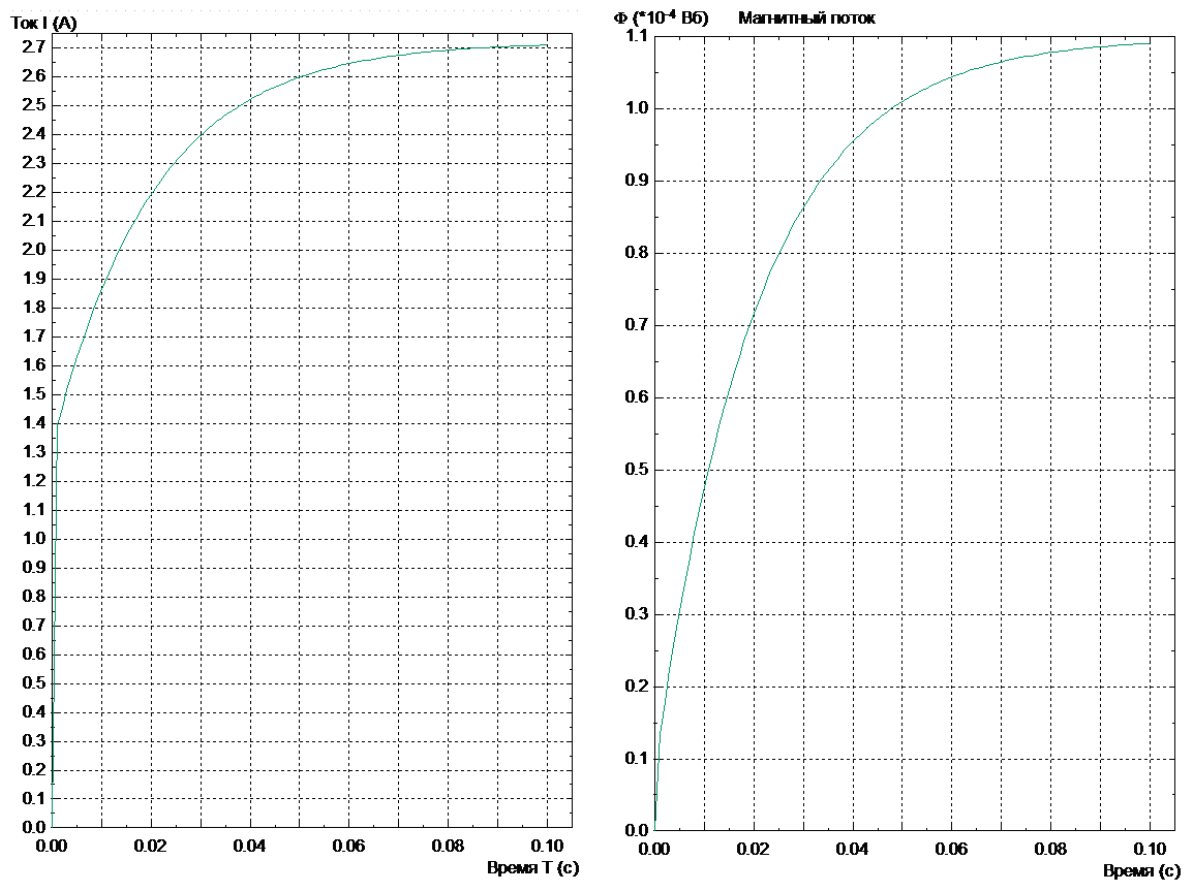


Рис. 4. Результаты расчета нестационарного магнитного поля поляризованного электромагнита: временные зависимости тока (а) и магнитного потока в сердечнике (б)



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель нестационарного магнитного поля в комплексе программ Elcut позволяет определять расчетом временные характеристики поляризованного электромагнита при переходном процессе на основе решения цепно-полевой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Татевосян А. С., Огорелков Б. И., Поляков Д. А. Экспериментальное исследование и математическое моделирование динамики электромагнита постоянного тока. Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2015. № 1. Т.11. С. 5-14.
- [2] Программа «ELCUT». Руководство пользователя. – ООО «Тор», Санкт- Петербург.– 2012. – 356 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Буряков Н.Д. студент, e-mail buryakovnika@mail.ru

Татевосян А.С. , к.т.н, доцент кафедры теоретической и общей электротехники, e-mail ast_51@mail.ru

Хамитов Р.Н., д.т.н., профессор кафедры «Электрическая техника», e-mail apple_27@mail.ru



УДК 62-567/629.113.012.8

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОМПЕНСАТОРА ЖЕСТКОСТИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАГНИТОПРОВОДЯЩИХ ЧАСТЕЙ ИЗ АМОРФНОГО ЖЕЛЕЗА

А. В. Демин, В. В. Шишкин

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В настоящее время активно развиваются автомобильные перевозки как грузов, так и людей. С целью улучшения ходовых качеств в подвеску автомобилей добавляются различные активные амортизирующие элементы. Одной из основных проблем активных электромагнитных амортизирующих систем являются их массогабаритные параметры. В статье рассматривается электромагнитный корректор жесткости и снижение его массогабаритных параметров при замене материала изготовления магнитопровода и сердечника. С помощью программного комплекса Matlab Simulink исследуются изменения характеристик виброзащитного устройства при использовании аморфных сплавов для изготовления магнитопровода и сердечника электромагнитного корректора жесткости с точки зрения развиваемого усилия и массогабаритных параметров. Выявлено, что без изменения развиваемого усилия достигается уменьшение массы на 23,3 % и объема на 22,1 %.

Ключевые слова – Электромагнитный корректор жесткости, Matlab, Simulink, аморфные сплавы.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развиваются автомобильные перевозки как грузов, так и людей. С целью улучшения ходовых качеств в подвеску автомобилей добавляются различные активные амортизирующие элементы [1] такие как: магнитореологические амортизаторы, амортизаторы с магнитоуправляемыми клапанами, а также электромагнитные амортизирующие системы [2]. Объект настоящего исследования – электромагнитные компенсаторы жесткости. Одним из важнейших недостатков является масса единичного устройства.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данного исследования является уменьшение массогабаритных параметров электромагнитного корректора жесткости [3, 4] при использовании в качестве материала для изготовления сердечника и магнитопровода аморфных сплавов. В качестве первичного материала для изготовления магнитопровода выбрана электротехническая сталь марки Э31, для оптимизации характеристик выбран аморфный сплав марки ММ-11Н, представляющий из себя сплав Fe-Nb-Cu-Si-B.

III. ТЕОРИЯ

При сравнении характеристик электротехнической стали и аморфных сплавов можно заметить значительное различие в прочностных характеристиках, относительной магнитной проницаемости и температурных режимах работы, причем не в пользу первого.

ТАБЛИЦА I
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АМОРФНЫХ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ
ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Свойства материала	Электротехническая сталь (Э31)	Аморфное железо (ММ-11Н)
Амплитуда магн. идукции, Вм(Т)	2,0	1,56
Коэрцитивная сила, Нс (Э)	0,5	0,5...0,7
Начальная проницаемость, μ_i	250	30000
Максимальная проницаемость, μ_m	4500	450000
Удельное сопротивление, ρ ($\mu\Omega/\text{см}$)	50	130
Предельная рабочая температура, Т ($^{\circ}\text{C}$)	250	120

Можно заметить, что диапазон рабочих температур аморфного сплава гораздо уже чем у электротехнической стали, однако предела рабочей температуры в 120 градусов Цельсия достаточно для электромагнитного корректора жесткости, так как устройство предлагается размещать на узлах подвески транспортных средств, что означает непрерывный обдув заборным воздухом и охлаждение.

За счет более высокой относительной магнитной проницаемости магнитопровод из аморфного железа возможно сделать менее габаритным без потери мощности развиваемого усилия. Одновременно, за счет лучших прочностных характеристик допускается уменьшение сечения сердечника. Все это, а также меньшая плотность, приводит к уменьшению массогабаритных параметров устройства.

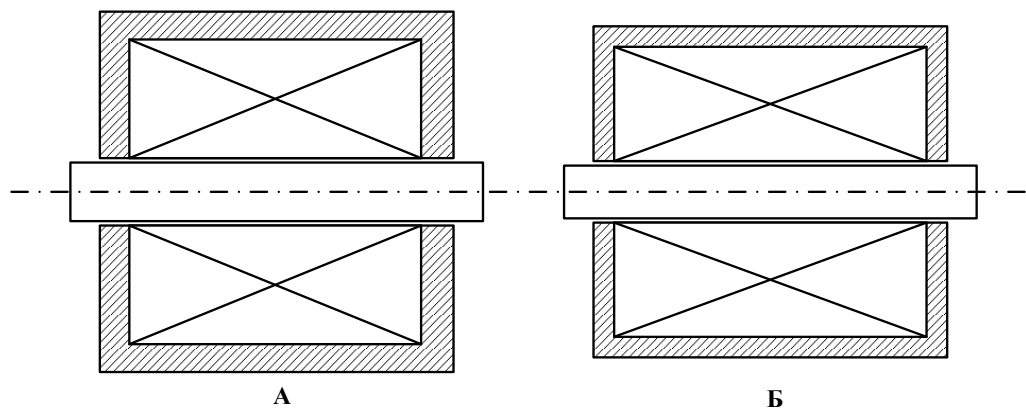


Рис. 1. Вид устройства в разрезе: а) изготовление сердечника и магнитопровода из электротехнической стали, б) изготовление сердечника и магнитопровода из аморфного железа

При повторно-кратковременном режиме работы с помощью математической модели реализованной в программном комплексе Matlab Simulink [5] было получено значение максимального усилия для устройства с магнитопроводящими частями, изготовленными из электротехнической стали, на уровне 193 Н. Достижение данного результата было целью при расчетах устройства, магнитопроводящие части которого выполняются из аморфного сплава.

Объем частей устройства вычислялся согласно формуле (1) для объема цилиндра и формуле (2) для вычисления объема полого цилиндра:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h \quad (1)$$

$$V = \pi \cdot h \cdot (R^2 - r^2) \quad (2)$$



где V – объем компонентов устройства, m^3 ; R – радиус компонентов устройства, m ; r – внутренний радиус обмотки устройства, m ; h – высота компонентов устройства.

Далее, согласно формуле массы (3) мы вычислили массу каждого элемента устройства.

$$M = V \cdot \rho \quad (3)$$

где V – объем частей устройства, m^3 ; ρ – плотность применяемого сплава, kg/m^3 .

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При изготовлении магнитопроводящих частей электромагнитного демпфера из аморфной стали массогабаритные параметры уменьшаются по сравнению со случаем изготовления сердечника и магнитопровода из электротехнической стали. Общий вид устройства изготовленного из электротехнической стали в разрезе приведен на Рис.1а., на Рис.1б общий вид устройства изготовленного из аморфного сплава. На Рис.2 и Рис.3 приведены графики тока и развиваемого усилия устройств из аморфного железа и электротехнической стали соответственно.

ТАБЛИЦА II
СРАВНЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ПРИ ИСПОЛНЕНИИ ИЗ АМОРФНЫХ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ СТАЛИ

Параметры: Объём(m^3)/масса(кг)	Электротех. сталь (Э31)	Аморфное железо (ММ-11Н)
Магнитопровод	$0,565 \cdot 10^{-3}/4,41$	$0,35 \cdot 10^{-3}/2,53$
Обмотка	$0,747 \cdot 10^{-3}/6,67$	$0,67 \cdot 10^{-3}/6$
Сердечник	$0,044 \cdot 10^{-3}/0,34$	$0,04 \cdot 10^{-3}/0,256$
Σ	$1,357 \cdot 10^{-3}/11,08$	$1,06 \cdot 10^{-3}/8,52$

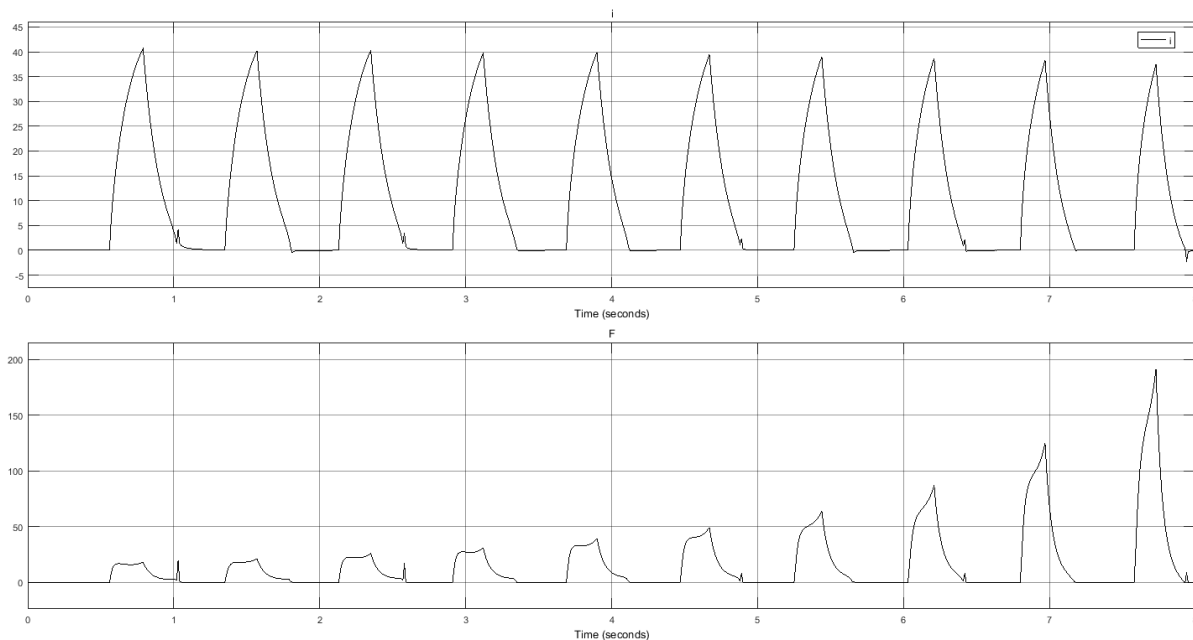


Рис. 2. Графики тока и усилия, развиваемого электромагнитным корректором жесткости при изготовлении магнитопроводящих элементов из аморфного железа

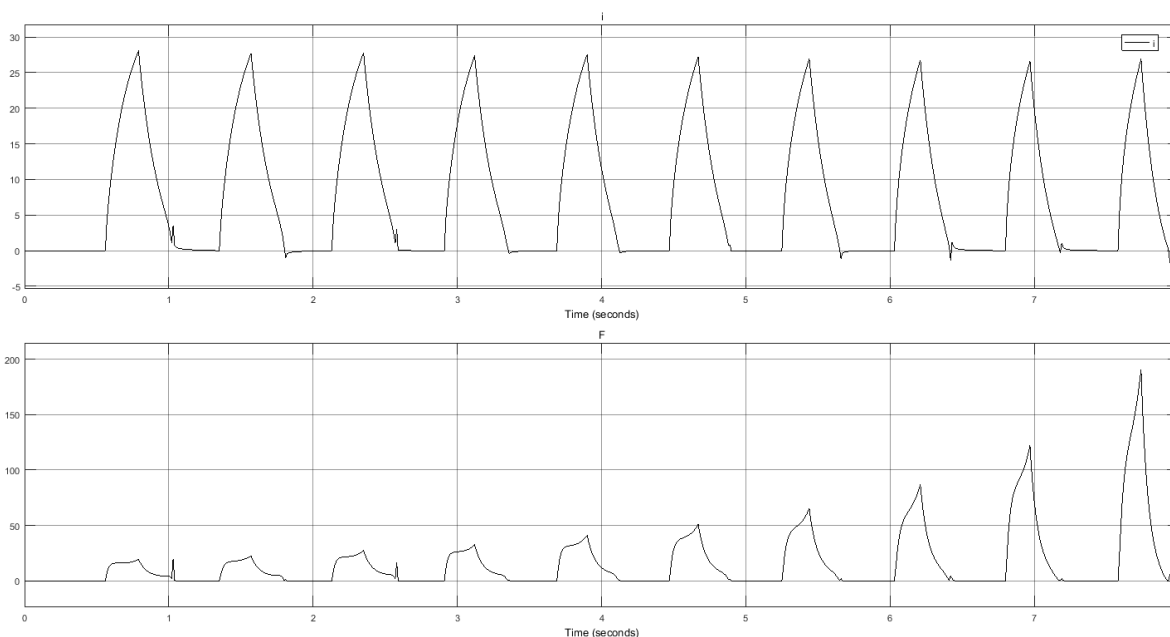


Рис. 3. Графики тока и усилия, развиваемого электромагнитным корректором жесткости при изготовлении магнитопроводящих элементов из электротехнической стали

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При неизменном развиваемом усилии масса устройства сократилась на 23,3%, а объем уменьшился на 22,1 %, при этом потребляемый устройством ток увеличился в пике до 40 ампер, средний же ток за период равняется 7,53 А. Учитывая величину среднего тока, а также повторно-кратковременный режим работы можно сделать вывод, что медный провод намотки, сечением 2 мм², выбран с запасом и возможна дальнейшая оптимизация устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Хамитов, Р. Н., Аверьянов Г. С. Системы амортизации крупногабаритных объектов с активными упругими и демпфирующими элементами: монография. – Омск: ОмГТУ, 2010. –123 с.
- [2] Демин, А. В., Хамитов Р. Н. Исследование конструкций электропневматического виброзащитного устройства соленоидного типа // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 2 – 2. С. 112.
- [3] Электропневматический демпфирующий амортизатор: пат. 157196 Рос. Федерация : МПК F16F9/04, F16F6/00/ Р.Н. Хамитов, А.В. Демин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» – № 2015122537/11; заявл. 10.06.2015; опубл. 27.11.2015.
- [4] Электропневматический упругий амортизатор: пат. 157211 Рос. Федерация : МПК F16F9/04, F16F6/00/ Р.Н. Хамитов, А.В. Демин; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Омский государственный технический университет» – № 2015130220/11; заявл. 21.07.2015; опубл. 27.11.2015.
- [5] Демин А. В., Хамитов Р. Н. Исследование изменения усилия, развиваемого электромагнитным компенсатором жесткости в зависимости от конструкции // Омский научный вестник, 2016. №4 (148). С 94 – 98.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. В. Демин, старший преподаватель кафедры «Электрическая техника», e-mail deminksander@gmail.com.
В. В. Шишкин, студент 4 курса (бакалавр), e-mail apuctokpat86@gmail.com.



УДК 621.3

ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Д. К. Орынбаев, А. Л. Литневский

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – До последнего времени основными средствами защиты от перенапряжений в электрических сетях являлись вентильные разрядники, которые в настоящее время заменяются нелинейными ограничителями перенапряжений (ОПН). В статье освещены проблемы вентильных разрядников, а также достоинства и особенности исполнения ОПН опорной и подвесной конструкций, выполненных главным образом в полимерных покрышках. Рассмотрены современные конструкции, тенденции, а также о перспективны развития нелинейных ограничителей перенапряжений типа ОПН с полимерной изоляцией.

Ключевые слова – Электрические сети; электрооборудование; защита от перенапряжений; ограничители перенапряжений

I. ВВЕДЕНИЕ

Ограничение коммутационных и грозовых перенапряжений в электрических сетях имеет большое значение для гарантии высоконадежной и бесперебойной работы электротехнического оборудования. Вентильные разрядники широко применяются в электрических сетях и в настоящее время, но из-за наличия искровых промежутков они не могут обеспечить глубокое ограничение перенапряжений. Разрядники серии РВМК, РВМГ, РВМ, РВС по ГОСТ 16357-83 практически целиком сняты с производства. Большая часть разрядников, работающие в сетях 35 кВ и выше, эксплуатируются более 25 лет. Это приводит к увеличению вольтамперной характеристики на 15 – 20 %, ухудшаются пропускная способность и защитные характеристики. Этими обстоятельствами обосновывается необходимость исследований в области разработки новых технологий ограничения перенапряжений в электрических сетях.

II. ОГРАНИЧИТЕЛИ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Ограничители перенапряжения нелинейные (ОПН) на основе оксидно-цинковых варисторов (ОЦВ) без искровых промежутков – принципиально новый защитный аппарат, создание которого станет одним из путей решения поставленных задач. Степень нелинейности их рабочих сопротивлений такова, что они выдерживают длительное воздействие рабочего напряжения, пропуская ток, измеряемый долями миллиампера. При перенапряжениях ток вырастает до значений в несколько сотен и тысяч ампер, что и приводит к ограничению перенапряжений. Именно это свойство ОПН определяет возможность значительно более глубокого ограничения перенапряжений, чем при использовании разрядников. Современные ОПН дают возможность уменьшить грозовые перенапряжения – до уровня 2,0 – 2,2 U, а коммутационные перенапряжения до уровня 1,6 – 1,8 U, где U – индекс наибольшего рабочего фазового напряжения. При таком глубоком ограничении резко возрастает внутренней изоляции высоковольтного оборудования а также появляется возможность сокращения изоляционного расстояния на линиях и подстанциях. В начале 80-х гг.



вместе с началом работ по созданию одноколонковых ОПН с полимерной изоляцией появились первые публикации о создании ОПН. Совместный труд ученых и специалистов НИИ «Электрокерамика», отраслевых институтов Минтопэнерго, ряда вузов страны (ЛПИ им. М. И. Калинина, НЭТИ, МЭИ и др.) позволил создать широкую программу улучшения технико-экономических показателей сетей высокого, сверхвысокого и ультравысокого класса [1].

В последнее время наметился прогресс в разработке новых видов и конструкций ОПН. Также заметно увеличилась допустимая плотность тока при грозовых и внутренних перенапряжениях: при коммутационных импульсах до 40 А/см^2 и до $800\text{--}850 \text{ А/см}^2$ при грозовых. Значительное уменьшение габаритов и массы ОПН становится возможным благодаря таким характеристикам варисторов при высокой степени нелинейности их вольтамперной характеристики (ВАХ). Уменьшение размеров проходит в частности путем применения варисторов большего диаметра, которые заменяют несколько параллельных колонок из варисторов меньшего диаметра. Это в свою очередь дает возможность создания одноколонковых ОПН на все классы напряжения. Объем корпуса в одноколонковом исполнении используется в максимальной степени, что дает возможность уменьшить их массу по сравнению с многоколонковыми конструкциями. Последующее снижение габаритных размеров достижимо, если залить боковую поверхность варисторов полимерной композицией, а также если заменить фарфоровую крышку на стеклопластиковую с ребристым покрытием из трекинго- и атмосферостойких материалов.

Стеклопластик отличается высокой механической прочностью и малой плотностью по сравнению с фарфором. Удельный вес приблизительно 2 г/см^3 , прочность на изгиб стеклопластиковых цилиндров достаточно высока – на уровне 50 кН/см^2 , одномоментная электрическая прочность при переменном напряжении составляет около 60 кВ/см . Такие технические характеристики делают разрушение стеклопластикового корпуса практически невозможным. Помимо этого, изготовление ОПН подвешенного и опорного исполнения может проходить без ограничения по высоте, так как технологии изготовления стеклопластиковых крышек различного сечения и нанесение на них защитного покрытия не ограничивают длины крышки [2].

Полимерная крышка позволяет не только значительно снизить вес ОПН, но и значительно облегчает условия работы варисторов в нем, что, в конечном счете, значительно повышает надежность работы аппарата. Дело в том, что кремнийорганическая резина по своим технологическим и прочностным свойствам (как механическим, так и электрическим) позволяет создавать ребра малой толщины (около 7 мм в основании и 2 мм у конца). Поэтому необходимую длину пути тока утечки можно обеспечить большим количеством ребер с небольшим вылетом. При этом повышается эффективность использования длины пути тока утечки и значительно уменьшается напряжение на подсушенном межреберном участке крышки. Уменьшение напряжения на подсушенных зонах поверхности крышки приводит к уменьшению дополнительных токов смещения, протекающих через варисторы и вызывающих дополнительный разогрев и ускоренное старение. Поэтому полимерные крышки определяют значительное преимущество ОПН перед ограничителями с фарфоровыми крышками [3].

ОПН подвешенного типа имеет несколько существенных преимуществ перед аппаратами опорного варианта. Массогабаритные показатели данного ОПН существенно меньше, т.к. корпус этого подвешенного аппарата работает только на растяжение и имеет минимальное сечение. Помимо этого, подвешенный аппарат



устанавливается на определенной высоте, при этом паразитные емкости на землю по столбу варисторов минимальны. Это приводит к более равномерному распределению напряжения по высоте аппарата.

Подвесные ОПН прикрепляются к проводам воздушных линий непосредственно под поддерживающими гирляндами изоляторов с креплением заземляющего спуска к стойке опоры, к траверсам опор параллельно гирляндам изоляторов или вместо гирлянд изоляторов, если будет обеспечена достаточно высокая несущая способность. ОПН также устанавливаются между фазами ЛЭП либо подвешиваются к несущим металлоконструкциям подстанций рядом с выводом трансформаторов и шунтирующих реакторов, это обеспечивает наиболее глубокий уровень ограничения перенапряжений. При этом площадь поперечного сечения столба варисторов зависит от требуемой и допустимой энергоемкости, с учетом длины импульсов тока и совместной работы ОПН при ограничении всех видов перенапряжений [3].

Возможность повышения теплопроводности заливочной композиции для заполнения внутренней полости ОПН, а также небольшая толщина стеклопластикового цилиндра способствуют значительному уменьшению теплового сопротивления изоляционного корпуса аппарата и последующему увеличению его срока службы в эксплуатации.

Все ограничители до 330 кВ выпускаются в цельном корпусе, высота которого достигает трех метров. Ограничители на напряжения от 500 кВ выпускаются сборными из двух и более модулей. Каждый модуль имеет необходимую высоту, полностью герметизирован, транспортируется и складывается отдельно. Сборка ОПН из отдельных модулей производится на месте установки. При этом соединительным элементом является цилиндрическая муфта с внутренней резьбой, которая наворачивается на стыкуемые оконцеватели модулей. Для обеспечения электрического соединения модулей предусмотрен розеточный контакт, надежно изолированный от металлического оконцевателя. Поэтому токи утечки по поверхности корпусов ОПН при увлажнении их поверхности не могут попасть в столб варисторов, что опасно в связи с возможным перегревом варисторов и преждевременным повреждением [4].

В последнее десятилетие энергетика России активно проводит программы по замене разрядников на ОПН, до 500 млн. рублей тратится ежегодно на закупку ОПН. В настоящее время нелинейные ограничители перенапряжений выпускаются как в России, так и за рубежом. Технические требования к ОПН определяются нормативными документами – ИЕС 60099-4-2003 и ГОСТ Р 52725-2007. Характеристики нелинейных ограничителей перенапряжений, выпускаемых в соответствии с вышеуказанными нормативными документами, говорят об идентичности аппаратов как российских, так и зарубежных производителей. Мнение о том, что аппараты зарубежного производства значительно превосходят по своим характеристикам аналогичные аппараты российского производства, не имеет никакого основания [5].

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мнению специалистов, за последнее десятилетие наблюдается значительный прогресс в разработке новых видов конструкций ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН). Особенно это касается ОПН с полимерной изоляцией. К настоящему времени ОПН-110–750 кВ опорного и подвесного исполнения, разработанные в ГОУ СПб ГПУ, успешно эксплуатируются в различных энергосистемах страны и за рубежом («Тюменэнерго», «Дагэнерго», Нижегородская ГРЭС, МЭС Северо-Запада, МЭС Волги, МЭС Урала, МЭС Юга, Калининская АЭС,



Южно-Украинская АЭС и др.). За время опытной эксплуатации на защищаемых участках не наблюдалось ни одного перекрытия изоляции ВЛ и высоковольтного оборудования. Изменения активного тока через образцы ОПН не зафиксированы. Впоследствии были изготовлены низковольтные ОПН-0,22-0,66 кВ и высоковольтные ОПН-3-35 кВ (в том числе и ОПН-3,3 кВ постоянного тока, ОПН-27,5 кВ переменного напряжения для подвижного состава и контактных сетей железных дорог) опорного и подвесного исполнения. Наряду с преимуществами, получаемыми потребителем в энергосистемах, внедрение новых защитных аппаратов ОПН с полимерной изоляцией обеспечивает значительные технико-экономические выгоды предприятию-изготовителю ОПН: замена фарфора более дешевым материалом, экономия цветных металлов, сокращение производственных площадей, повышение производительности труда. Сравнение технико-экономических данных показало, что стоимость одноколونковых ОПН в полимерных корпусах меньше стоимости ОПН в фарфоровых корпусах, причем эта разница возрастает при увеличении класса напряжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Александров Г. Н., Гусейнов Г. А. «Нелинейный ограничитель перенапряжений серии ОПНП». Сборник трудов Второго Международного симпозиума по транспортной триботехнике «Транстрибо 2002». – Санкт-Петербург: изд. «Нестор», 2002. С 14 – 27
- [2]. «Ограничение коммутационных и грозовых перенапряжений одно- колонковыми ограничителями перенапряжений». / Г. А. Гусейнов [и др] //«Энергетика», №9, 1986 г. С 8 – 23
- [3] «Разработка исходных данных для создания подвесных одноколонковых нелинейных ограничителей перенапряжений». / Г. А. Гусейнов [и др] – Отчет ЛПИ и ВЭИ 221152, Гос. рег. 81100040, 198329. С.54
- [4] «Оптимизация конструкции ОПН для работы в районах с повышенным загрязнением атмосферы». / Г. А. Гусейнов [и др] //«Электро- техника», №3, 1988 г. 5. Г. А. Гусейнов и др. «Устройство для защиты от перенапряжений». Патент на изобретение
- [5] «Исследование характеристик нелинейных ограничителей перенапряжений разных классов напряжения». / Г. А. Гусейнов [и др] – Отчет ЛПИ 208301, Гос. рег. 0284. 0010216, 1983 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. К. Орынбаев, магистрант 2-го курса, e-mail orynbaevdk@mail.ru

А. Л. Литневский, к. ф.-м. н., доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», e-mail a_lit@list.ru



УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ С СЕРДЕЧНИКОМ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ ОБМОТКИ В ПРОГРАММЕ ELCUT

М. А. Верхошенцев, Е. А. Никитина, Е. В. Птицына

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Совершенствование электротехнических устройств с использованием различных материалов определяется областью их использования и родом тока. Из курса электротехники известно, катушка индуктивности не оказывает сопротивление постоянному току. Индуктивностью рассеивания при нулевой частоте при этом можно пренебречь и исследовать характер изменения магнитных полей, создаваемых обмоткой, выполненной из разных материалов. Аналогично в электротехнологических устройствах – электроразличных установках для оценки падений напряжений в электролите используют переменный ток регулируемой частоты, а не постоянный для исключения влияния окислительно-восстановительных реакций на электродах. Экспериментально подтверждено, при изменении материала обмотки катушки индуктивности изменяются значения магнитной индукции и напряженности магнитного поля.

Ключевые слова – Катушка индуктивности, нестационарное магнитное поле, материал обмотки, программный продукт Elcut.

I. ВВЕДЕНИЕ

Электротехнические устройства, такие как катушки индуктивности используются для различных целей в схемах источников питания и нагрузки: для ограничения пульсаций выпрямленного тока, в качестве нагревательных элементов электротехнических устройств и в обмотках управления магнитных усилителей, дросселях. Широкое применение различных материалов определяется требованиями получения тех или иных позитивных эффектов: минимальных потерь при протекании переменного тока по проводнику или выделение максимальной тепловой мощности, а в обмотках управления магнитных усилителей ограничение наводимых переменных ЭДС при реализации режима свободного или вынужденного намагничивания в цепи управления [1]. Использование современных программных продуктов позволяет не только рассматривать множество различных вариантов, но и по сравнению с физическим моделированием этот метод оказывается менее затратным по временной реализации.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы: исследование влияния материалов обмотки катушки индуктивности с сердечником или без него на значения параметров магнитного поля для последующего выбора индуктивных элементов в с определенными свойствами в источниках питания электротехнологических устройств.

Эксперименты выполнены с использованием программного продукта Elcut (студенческая версия).



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для моделирования с применением программного продукта Elcut была разработана методика исследований. Первый шаг – создание модели (рис. 1). Следующий шаг – выбор типа задачи и класса модели, характер расчета, координат и единиц измерения параметров модели: нестационарное магнитное поле, плоская задача, декартовы координаты, размеры модели в мм (рис. 2). Третий шаг – это создание геометрии модели (катушки индуктивности с сердечником или без него (с каркасом)) и далее задание граничных условий (рис. 3). При этом задавали метки для каждого блока в модели : воздух, сердечник, обмотка (рис. 4) Следующий шаг – создание модели электрической схемы: питание катушки индуктивности реализовано от источника постоянного напряжения. В схеме использовано резистивное сопротивление 2 Ом (рис. 5). По результатам моделирования получены графики изменения индукции и напряженности магнитного поля вдоль выбранного контура для катушки индуктивности, выполненной из меди, алюминия, вольфрама при наличии сердечника или использования каркаса из электроизоляционного материала (Рис. 6 – 8).

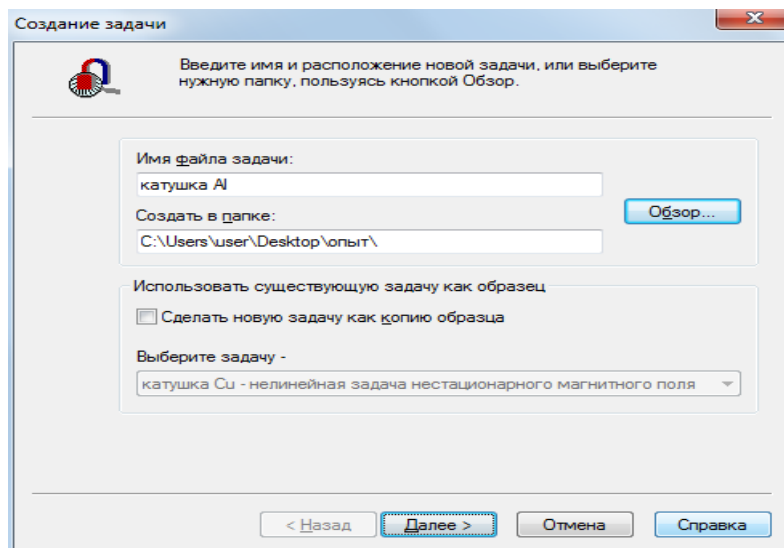


Рис. 1. Окно выбора задачи исследования

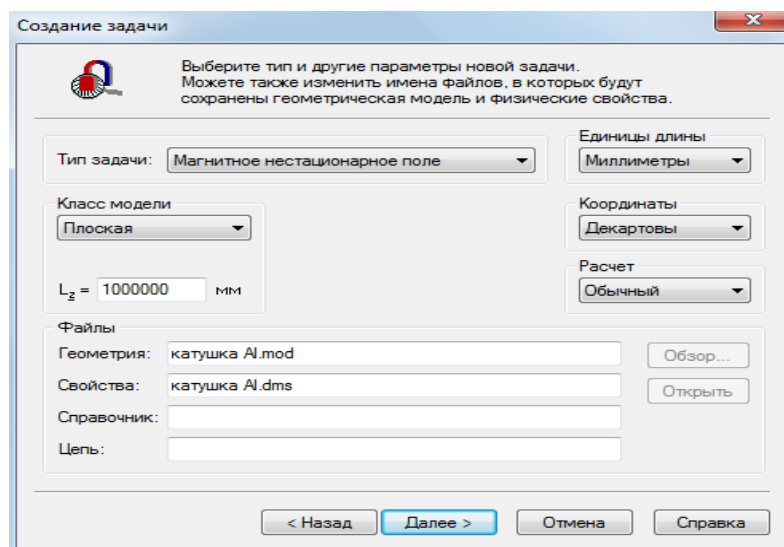


Рис. 2. Окно выбора типа задачи, класса модели, координат и единиц измерения

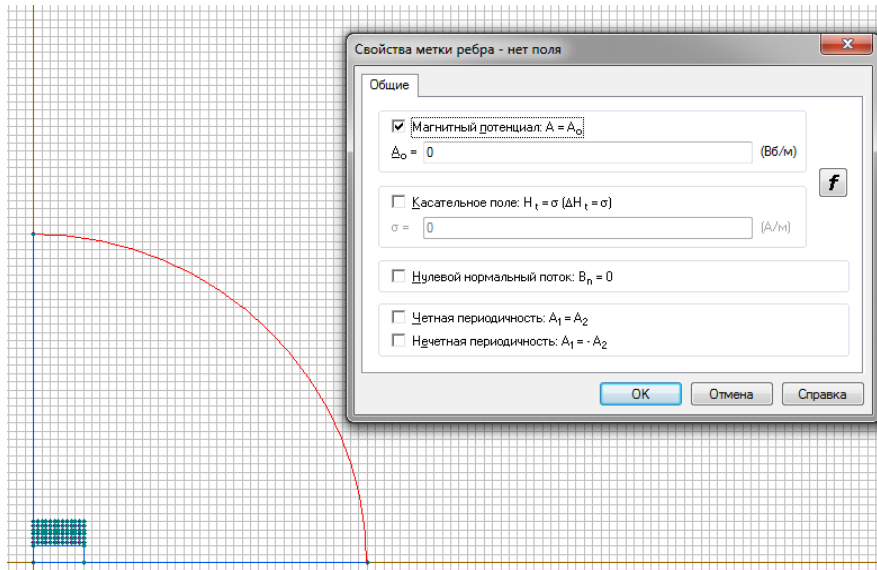


Рис. 3. Окно создание геометрии модели и задания граничных условий

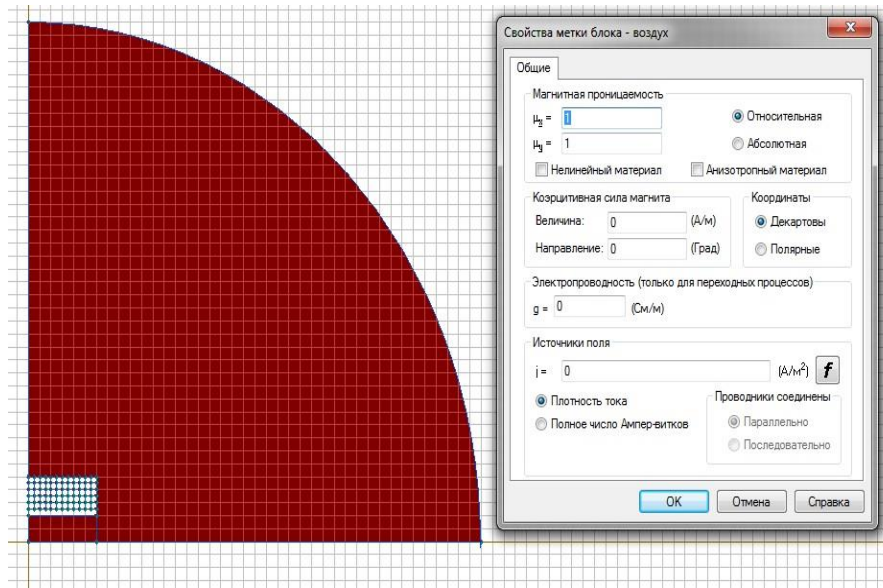


Рис. 4. Окно задания меток для блоков модели: метка воздух

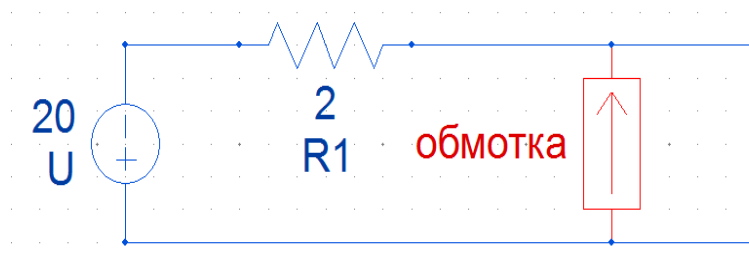


Рис. 5. Окно электрической схемы замещения катушки индуктивности

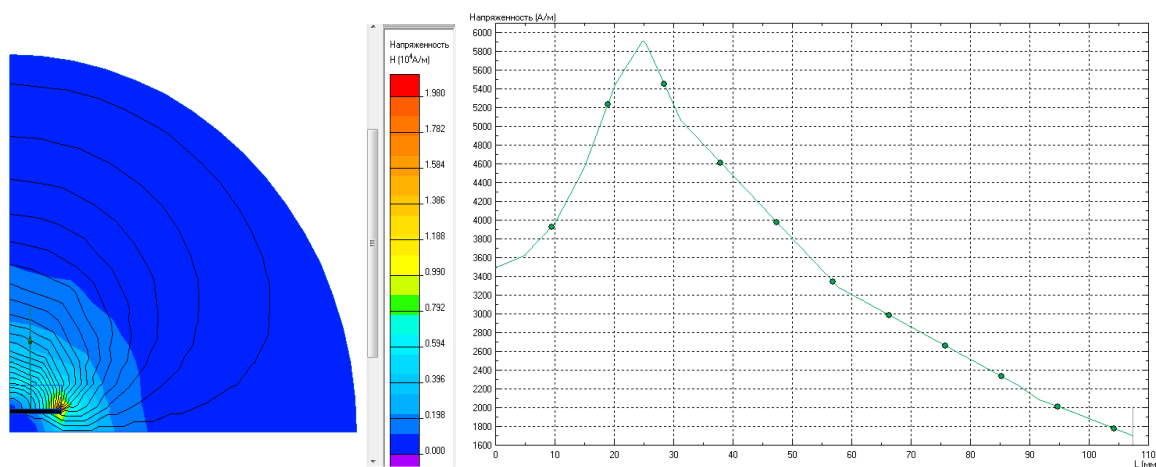
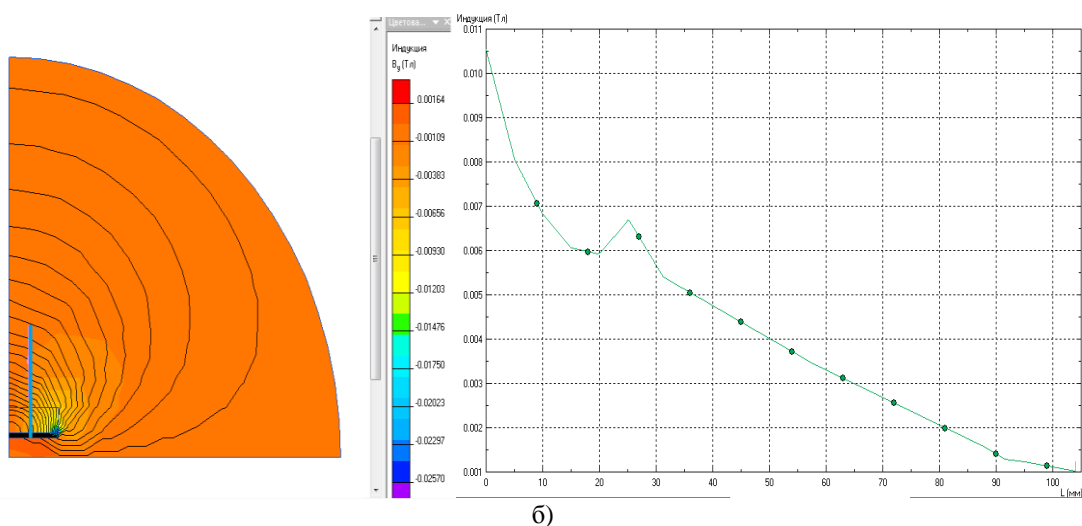


Рис. 6. График изменения напряженности магнитного поля катушки индуктивности (алюминевый провод). Контур 1



б)

Рис. 7. График изменения индукции магнитного поля катушки индуктивности (медный провод). Контур 1

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально подтверждено, материал, из которого выполнена обмотка катушки индуктивности (алюминий, медь, вольфрам) оказывает влияние на значение интегральных характеристик : магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Характер указанных кривых изменяется при наличии сердечника из электротехнической стали (рис. 6, рис. 7) или электроизоляционного каркаса для вольфрамовой спирали (рис. 8).

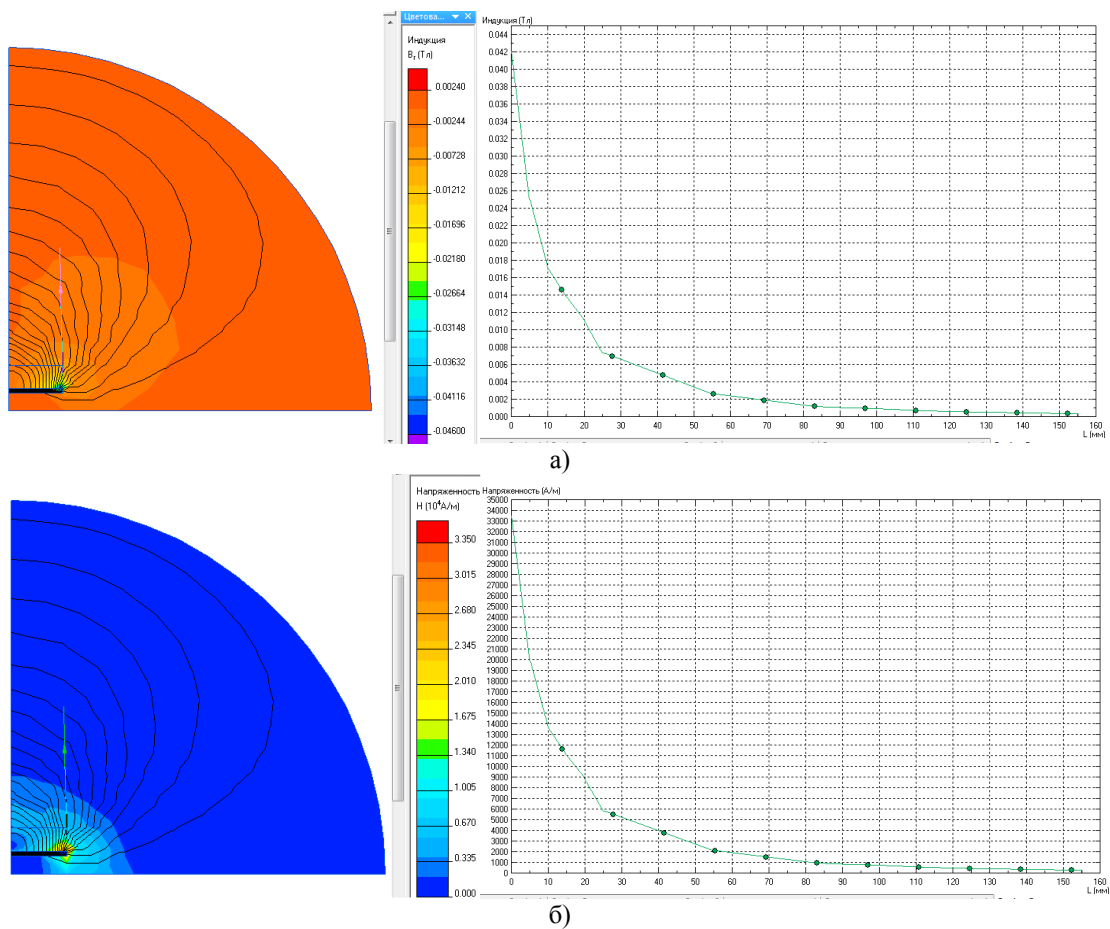


Рис. 8. График изменения напряженности а) и индукции б) магнитного поля катушки индуктивности (вольфрамовый провод). Контур 1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Евтюкова И. П., Кацевич Л. С., Некрасова Н. М., Свенчанский А. Д. Электротехнологические промышленные установки: Учебник для вузов / Под ред. А.Д. Свенчанского. – М.: Энергоиздат. 1982. – 400 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. В. Птицына, д.т.н., профессор кафедры ТиОЭ, e-mail evptitsyna@yandex.ru

Е. А. Никитина, студент ЭНИ ОмГТУ,

М. А. Верхошенцев, студент ЭНИ ОмГТУ, e-mail Mikhail.V.A.@yandex.ru



УДК 621.314.261:622

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С УСТРОЙСТВОМ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ В СОСТАВЕ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

Е. М. Кузнецов, К. С. Олесиук

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Средствами программного пакета Multisim построена модель генератора постоянного тока с устройством независимого возбуждения со структурой неуправляемый выпрямитель – широтно-импульсный преобразователь выпрямленного напряжения. Получены характеристики генератора постоянного тока в составе учебно-лабораторного комплекса. Исследована работа генератора постоянного тока в условиях некачественного напряжения, питающего обмотку возбуждения. Установлено, что индуктивность обмотки эффективно снижает влияние некачественного питания на выходное напряжение генератора, пульсации которого составляют 0,53 %.

Ключевые слова – программный пакет Multisim, подсистема, установка.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для независимого питания обмоток возбуждения (ОВ) машин постоянного тока используются в основном выпрямительные установки, оснащенные системой импульсно-фазового управления [1]. При глубоком регулировании последние существенно повышают пульсации тока в ОВ из-за искажения формы выпрямленного напряжения и ухудшают коэффициент мощности установок. В этой связи для организации независимого питания ОВ генератора постоянного тока (ГПТ) учебно-лабораторного комплекса (УЛК) разработано устройство возбуждения (УВ) со структурой неуправляемый выпрямитель – широтно-импульсный преобразователь напряжения (ШИП). В статье рассматриваются вопросы, связанные с моделированием режимов работы ГПТ УЛК в условиях питания его ОВ выпрямленным напряжением с широтно-импульсной модуляцией.

II. СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ УВ – ГПТ

Модель построена в программном пакете Multisim и представлена на (Рис. 1) в составе модели силового канала УЛК.

Последняя состоит из трех подсистем моделей соответственно УВ, приводного двигателя постоянного тока (ДПТ) и ГПТ. Развернутая имитационная схема УВ (Рис. 2) содержит трехфазную нулевую схему выпрямителя В1; ШИП выпрямленного напряжения U_0 в регулируемое напряжение $U_{шип}$, реализованный на силовом IGBT-ключе VT1; импульсный источник напряжения G PULSE VOLTAGE для коммутации IGBT-ключа VT1 на частоте широтно-импульсной модуляции 1 кГц; нулевой диод Шоттки VD4A.

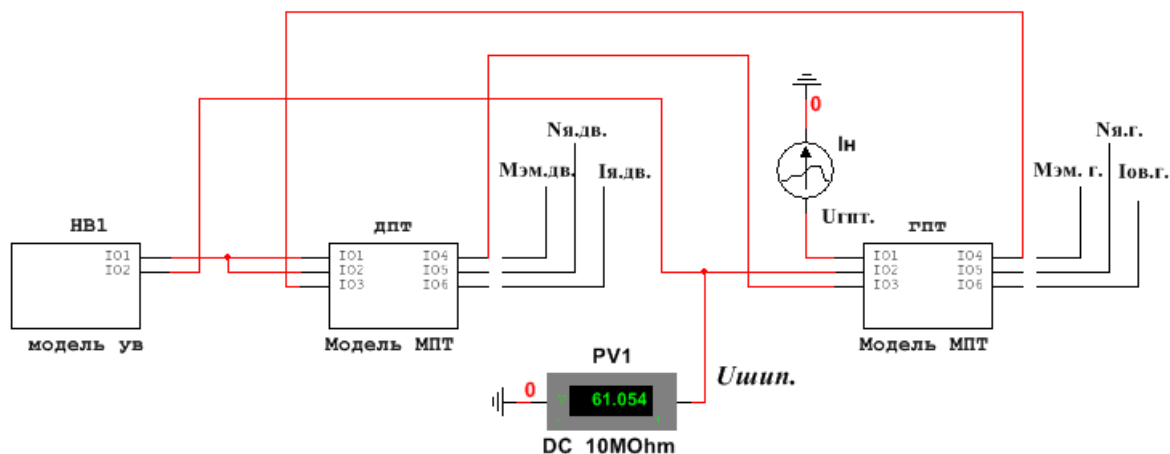


Рис. 1. Схемотехническая модель силового канала УЛК

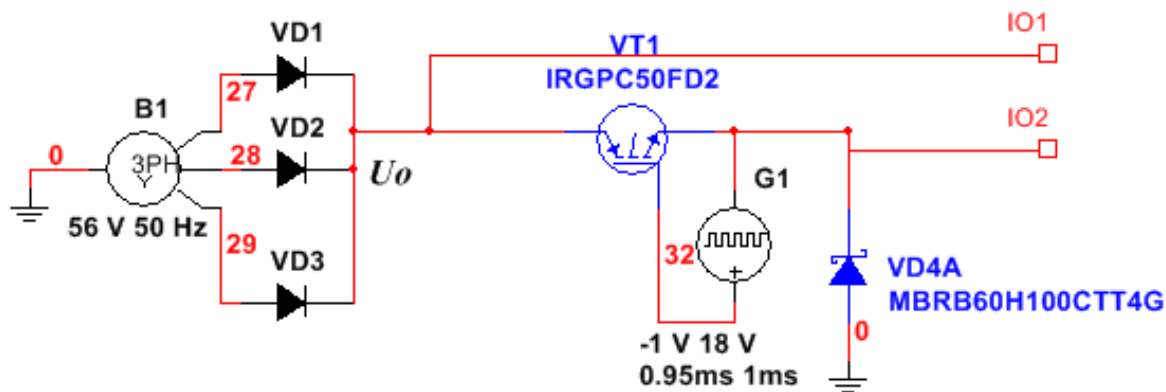


Рис. 2. Имитационная модель УВ

В УЛК выпрямителем является силовой агрегат типа ВАС 500/300 УХЛ4, питающий также ДПТ постоянным напряжением U_0 равным 65 В с пульсациями на частоте 150 Гц. Диод Шоттки VD4A, обеспечивает непрерывность тока ОБ ГПТ при коммутации VT1. ДПТ с номинальной выходной мощностью 2.2 кВт и ГПТ реализованы на электрических машинах типа ПЗ1У4.

Схемотехнические модели ДПТ и ГПТ (Рис. 3) построены согласно рекомендациям [2] на основании математического описания электрической и механической подсистем ПЗ1У4. Параметры элементов моделей определены по расчетным соотношениям, приведенным в [3].

Подсхемы ДПТ и ГПТ охвачены перекрестными обратными связями (Рис. 1) для получения и моделирования режима синхронного и синфазного вращения приводного двигателя ДПТ и генератора ГПТ в безредукторном электроприводе [4]. В УЛК нагрузкой ГПТ являются нагревательные элементы, потребляющие ток I_n , моделируемый кусочно-линейным источником тока PIECEWISE LINEAR CURRENT. Вольтметр PV1 регистрирует уровень постоянного напряжения на обмотке возбуждения ГПТ.

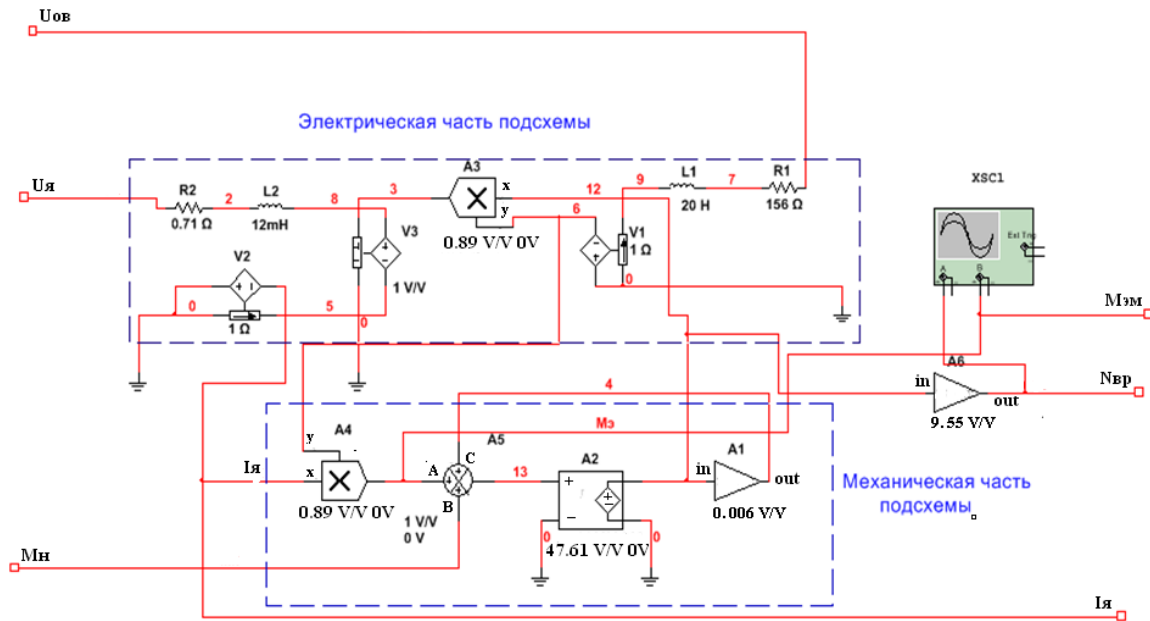


Рис. 3. Схема моделей машин постоянного тока с независимым возбуждением

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГПТ С НЕЗАВИСИМЫМ УВ

Моделирование электрических режимов ГПТ при независимом питании ОБ ШИМ выпрямленным напряжением $U_{\text{ШИП}}$ выполнено средствами программного пакета Multisim. В результате моделирования получены временные диаграммы входного напряжения $U_{\text{ШИП}}$ ОБ (Рис. 4), тока ОБ ГПТ (Рис. 5 а) и его пульсаций (Рис. 5 б), а также нагрузочные характеристики (Рис. 6 а, б) и скоростная (Рис. 7) характеристика ГПТ.

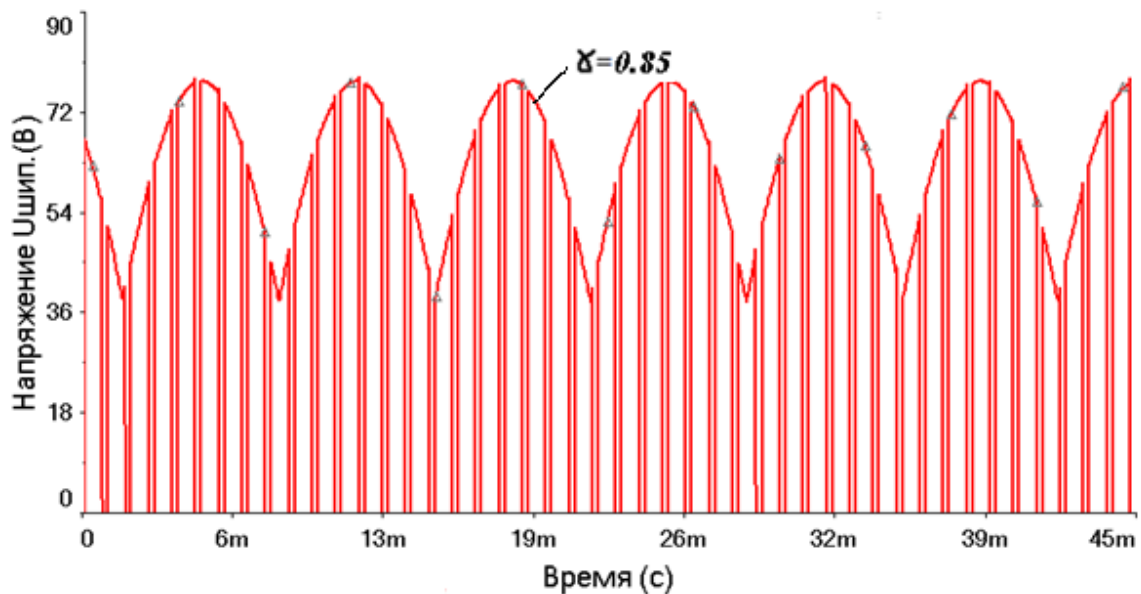


Рис. 4. Временная диаграмма входного напряжения ОБ при относительной длительности замкнутого состояния ШИП $\gamma = 0,85$

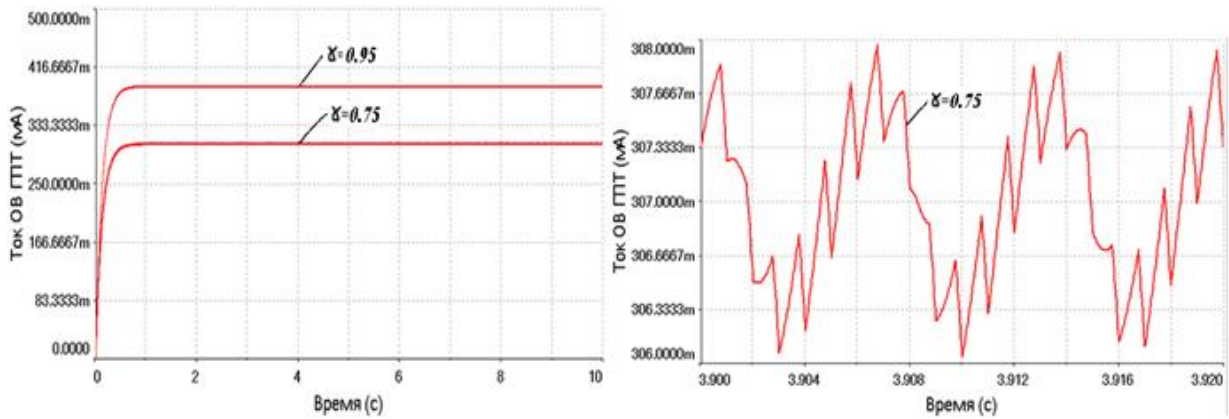


Рис. 5. Временные диаграммы тока ОВ ГПТ (а) и фрагмент диаграммы тока ОВ ГПТ в увеличенном масштабе (б)

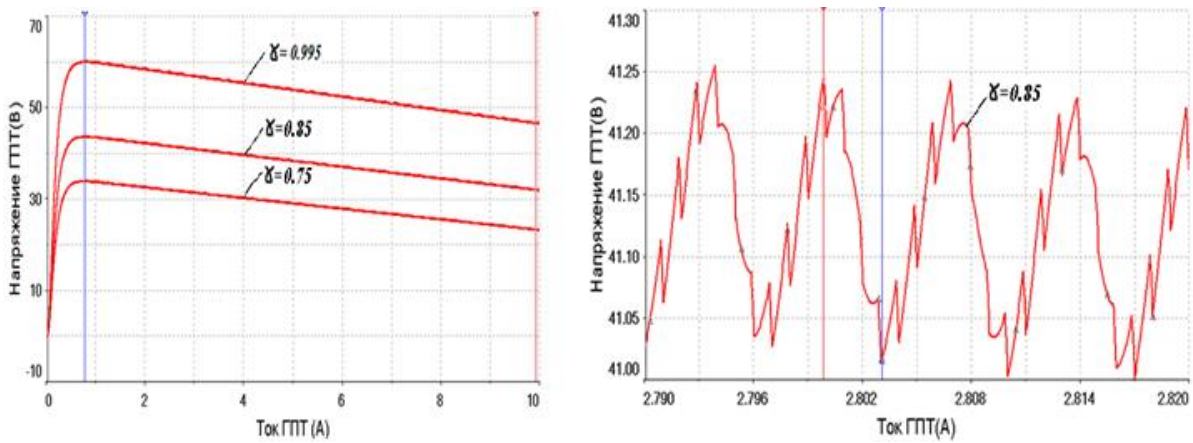


Рис. 6. Нагрузочные характеристики ГПТ (а) и фрагмент нагрузочной характеристики в увеличенном масштабе (б)

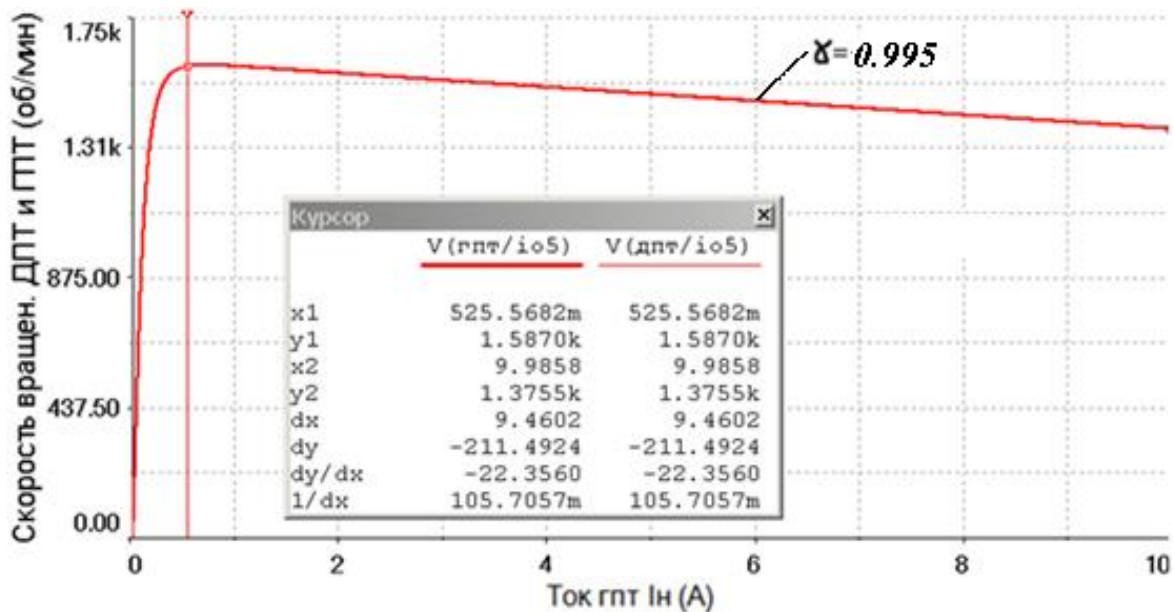


Рис. 7. Скорость вращения ГПТ и ДПТ



IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из (Рис. 4) можно видеть, что входное напряжение ОБ ГПТ является последовательностью однополярных импульсов с пульсациями, составляющими примерно 25 % от среднего значения напряжения ОБ, регистрируемого вольтметром PV1. ШИП управляет напряжением и током ОБ (Рис. 5 а), а также выходным напряжением ГПТ (Рис. 6 а) путем задания и изменения параметра γ импульсного генератора G1 в окне настройки его параметров.

Большая индуктивность ОБ ГПТ, равная 20 Н, уменьшает влияние значительных пульсаций входного напряжения ОБ на ее ток. Как следует из рис. 5 б, переменная составляющая тока ОБ имеет частоту пульсаций 150 Гц и размах 1.8 мА или в относительных единицах 0.45% при $\gamma = 0.75$. Импульсный характер ШИМ входного напряжения ОБ проявляется в наличии выбросов у переменной составляющей (Рис. 5 б), следующих с частотой 1 кГц.

Нагрузочная характеристика ГПТ с независимым возбуждением УЛК имеет спад, составляющий 18 % в диапазоне нагрузочных токов 0 ... 10А. Спад обусловлен потерями напряжения на сопротивлении якорной обмотки ГПТ, а также снижением скорости вращения ГПТ (Рис. 7) в указанном диапазоне токов. Переменная составляющая выходного напряжения ГПТ (Рис. 6 б) имеет размах 0,23 В, или в относительных единицах 0,53 %. Таким образом, за счет большой индуктивности ОБ достигаются в УЛК низкие пульсации выходного напряжения ГПТ в условиях некачественного выпрямленного напряжения, питающего ОБ ГПТ. Отклонения фактической скорости вращения ГПТ от моделируемой не превышали 7 %, что можно считать приемлемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Мельниченко О., Линьков А., Яговкин Д., Полянский И., Газизов Ю. Результаты испытаний на электровозе новой выпрямительной установки возбуждения на IGBT // Силовая электроника, 2016. №6. С. 68 – 71.
- [2] Кузовкин В. А., Филатов В. В. Схемотехническое моделирование электрических устройств в Multisim. – Старый Оскол: ТНТ. 2013. – 336 с.
- [3] Кузнецов Е. М., Олесиюк К. С., Зинченко А. О. Моделирование рабочих процессов в модуле двигатель постоянного тока – генератор постоянного тока при широтно-импульсном управлении в программном пакете Multisim 12 // Россия молодая – передовые технологии в промышленность, 2015. №1. С. 249 – 254.
- [4] Бубнов А. В. Вопросы теории и проектирования прецизионных синхронно-синфазных электроприводов постоянного тока : монография. – Омск : Редакция журнала «Омский научный вестник», 2005. –190 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. М. Кузнецов, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Электрическая техника», e-mail kiricuznetsov@yandex.ru.
К. С. Олесиюк, магистр, e-mail olesijuk@yandex.kz.



УДК 621.3.036

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ УСТАНОВКИ В КОМПЛЕКСЕ ПРОГРАММ ELCUT

А. А. Лукачева

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация—электроимпульсные технологии очистки поверхностей от налипания веществ различного происхождения находят широкое применение в строительстве, машиностроении, энергетике, металлургии, а также в пищевой и химической промышленности. Это связано с необходимостью удаления со стенок и конструктивных элементов оборудования различных материалов (например, угля, руды, концентрата, минеральных удобрений, накипи и прочных отложений с внутренних поверхностей различного технологического оборудования, снега и наледи с карнизов и кровель домов).

Ключевые слова – электроимпульсная технология очистки поверхностей, осесимметричная модель, нестационарная теплопередача, комплекс программ ELCUT.

1. ВВЕДЕНИЕ

Очистка теплообменного оборудования в промышленности является трудоемким и небезопасным процессом для жизни и здоровья людей, вследствие соприкосновения их с химически вредными веществами, какими являются толуол, бензол и другие. Поэтому применение электроимпульсной технологии в очистке поверхностей является экологически чистым решением, позволяющим без угрозы для здоровья работников предприятия в короткие сроки решить проблему налипания отложений с поверхности оборудования без возникновения повреждений. Таким же способом может быть решена проблема обледенения кровель домов, которая особенно остро возникает в весенний период, когда с повышением температуры воздуха начинают сходить лавины льда и снега. Коммунальные службы в усиленном режиме начинают очищать крыши многоквартирных домов, чтобы не допустить несчастных случаев. Основным способом избавления от наледи, который практикуют повсеместно, является ее механическое удаление ломом и лопатами. От применения физической силы нарушается целостность кровельного материала, и образуются многочисленные повреждения. За один сезон эту процедуру необходимо повторять много раз, так что целесообразно применять более современные методы и способы борьбы с обледенением. Применяют также кабельный метод обогрева крыш, поддерживая температуру достаточно высокой, в этом случае снег будет таять круглосуточно, и не будет замерзать. При этом кабельная система является достаточно дорогостоящей. Вопрос обледенения касается не только крыш домов, также существует проблема образования наледи на различных участках железнодорожного пути, элементах поездного состава и стенках грузовых вагонов. Отсутствие должной очистки тормозных рукавов от наледи, возникающей в результате замерзания внутри конденсата, может стать причиной травм и гибели людей.

За последнее десятилетие предложено большое многообразие устройств электроимпульсной технологии очистки поверхностей от промышленных загрязнений, нашедших отражение в научных работах и патентах, опубликованных



и зарегистрированных в России и за рубежом [1, 2, 3, 4]. Чтобы проверить эффективность взаимодействия магнитного поля, созданного ампервитками катушки, с токами Фуко, наводимыми в токопроводящей пластине, необходимо провести моделирование устройства электроимпульсной очистки и определить время переходного процесса и пондеромоторную силу, возникающую в этом процессе. Так как решение задачи затруднено особенностью действия друг на друга магнитного поля и вихревых токов, в статье предложен метод цепно-полевого подхода с использованием профессиональной версии программы «ELCUT 6.0».

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Электроимпульсная очистка загрязненных поверхностей производственного оборудования основана на эффекте ударной волны, возникающей от взаимодействия индуцированных в электропроводной поверхности объекта воздействия вихревых токов с мощным импульсом магнитного поля, созданным электрическим разрядом емкостного накопителя на катушку индуктора (Рис.1).



Рис. 1. Структурная схема электроимпульсной очистки

Конструктивно индуктор электроимпульсной установки можно представить в виде однослойной дисковой катушки, намотанной в виде спирали медной шиной на узкое ребро. В непосредственной близости к торцевой поверхности катушки находится алюминиевый диск, полностью закрывающий ее витки, используемый для имитации электропроводной поверхности объекта воздействия. Электрический разряд предварительно заряженного емкостного накопителя (конденсатора) на дисковую катушку индуктора производится через тиристорный коммутатор. В процессе электрического разряда наряду с полезным эффектом электроимпульсной очистки в катушке индуктора и электропроводной поверхности объекта воздействия выделяется большое количество теплоты, которое необходимо учитывать при решении задачи нестационарной теплопередачи, чтобы не допустить перегрева катушки и выхода ее из строя. Для получения полезного эффекта электроимпульсной очистки продолжительность импульса тока в катушке индуктора должна находиться в диапазоне от 0,2 до 1 мс [1, 2, 3, 6]. При этом повышение температуры катушки индуктора при переходном процессе происходит за время намного большее, чем продолжительность импульса тока. Это время исчисляется в секундах. Существенная разница в значениях электромагнитных и тепловых постоянных времени переходного процесса определяет особенность решения задачи нестационарной теплопередачи

электроимпульсного устройства, которая заключается в предварительном определении значений удельной мощности тепловыделения в катушке индуктора и алюминиевом диске в момент времени, соответствующий максимуму тока в катушке индуктора. Получить эту информацию можно из расчета магнитного нестационарного поля системы катушка индуктора – электропроводная поверхность объекта воздействия, используя возможности, предоставляемые комплексом программ «ELCUT 6.0» (профессиональная версия) [4]. Исходными данными в решении задачи являются геометрические размеры катушки индуктора, число витков, диаметр и толщина алюминиевого диска, расстояние между диском и торцевой поверхностью индуктора, емкость конденсатора, начальное значение напряжения на конденсаторе в момент коммутации.

III. ТЕОРИЯ

Математическая постановка задачи основывается на совместном решении уравнений, описывающих магнитное нестационарное поле катушки индуктора и электропроводной поверхности объекта воздействия в кусочно-однородных средах с различными электрическими и магнитными свойствами, плотность индуцированных вихревых токов в алюминиевом диске и электрическое состояние цепи катушки индуктора при заданных начальных и граничных условиях [5].

Геометрия осесимметричной модели электроимпульсной установки в пакете «ELCUT» показана на рис. 2 а.

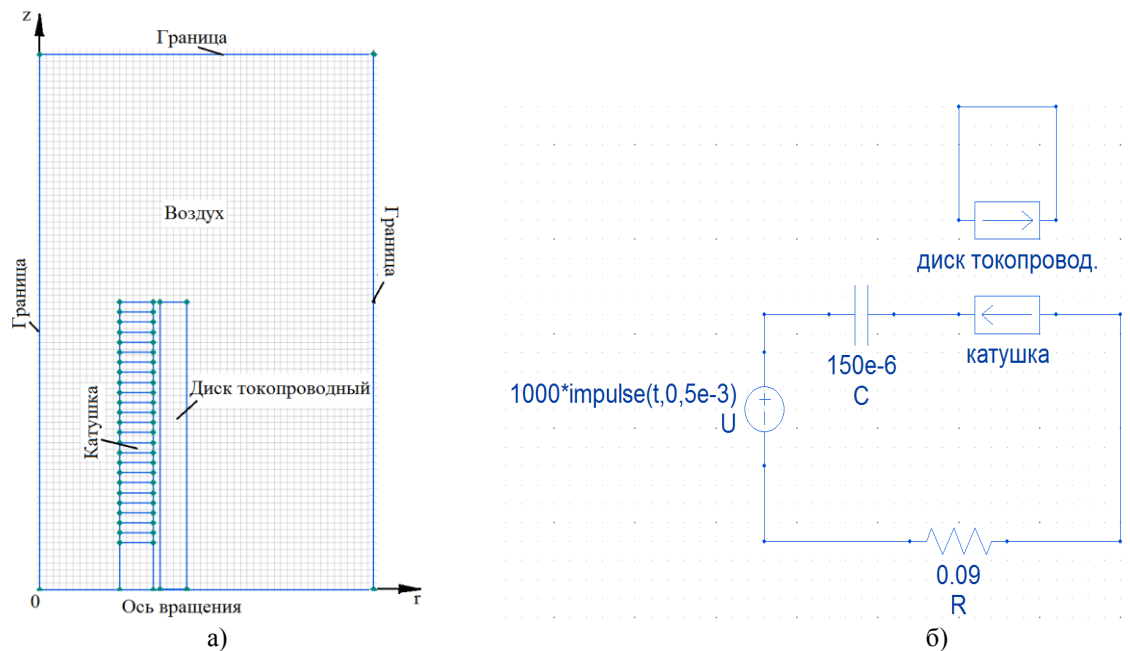


Рис. 2. Геометрическая модель системы катушка индуктора – электропроводная поверхность объекта воздействия (а) и присоединенная электрическая цепь (б) в комплексе программ «ELCUT»

Область моделирования ограничена прямоугольником размерами 50 мм×80 мм. На внешних границах расчетной области принимается равенство нулю значений векторного магнитного потенциала для имитации отсутствия изменения поля в нормальном направлении к границе. Выделенные метки объектов (воздух, катушка, диск токопроводный) характеризуются следующими физическими свойствами: относительная магнитная проницаемость воздуха, меди и алюминия $\mu' = 1$,

электропроводность медного провода катушки индуктора $5,7 \cdot 10^7$ 1/Ом·м и алюминиевого диска $3,2 \cdot 10^7$ 1/Ом·м

Моделирование нестационарного магнитного поля электроимпульсной установки в комплексе программ «ELCUT» происходит с построением присоединенной электрической цепи (Рис. 2 б). Временные параметры моделирования интегрирования по времени выбраны от нуля до 5,5 мс с шагом 10 мкс. Решение задачи запоминается каждые 10 мкс, начиная с момента времени 4,98 мс, то есть с момента начала разряда конденсатора на катушку индуктора. Время расчета переходного процесса на ПК составляет 38 минут.

Результатом расчета нестационарного магнитного поля является временная зависимость тока в катушке индуктора при переходном процессе (Рис. 3 а). Из графика видно, что продолжительность импульса тока в катушке индуктора составляет около 0,35 мс, а ток достигает максимального значения 2739 А в момент времени 5,02 мс. При этом максимальное значение магнитодвижущей силы катушки равно 65,7 кА. Картина магнитного поля системы индуктор – электропроводная поверхность объекта воздействия, рассчитанная для момента времени 5,02 мс, показана на рис. 3 б. На картине магнитного поля функция магнитного потока имеет значение максимума $1,1 \cdot 10^{-5}$ Вб, а ее минимальное значение равно нулю.

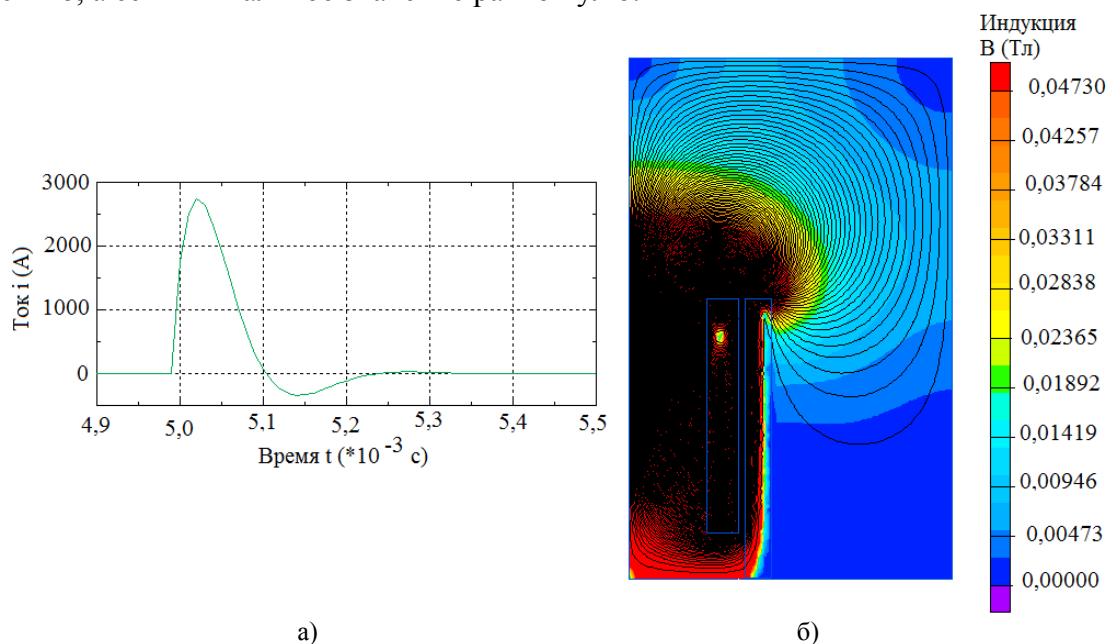


Рис. 3. Временная зависимость тока в катушке индуктора (а) и картина магнитного поля электроимпульсного устройства в момент времени достижения максимума тока б)

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Результатом расчета нестационарного магнитного поля электроимпульсного устройства также является максимум силы (пондеромоторной силы) электромагнитного взаимодействия магнитного поля, созданного магнитодвижущей силой катушки индуктора с вихревыми токами, индуцированными в алюминиевом диске, достигающей значения 6100 Н в момент времени достижения током максимального значения. По картине магнитного поля рассчитывается удельная мощность тепловыделения в катушке индуктора $0,92 \cdot 10^{10}$ Вт/м³ и алюминиевом диске $1,33 \cdot 10^{10}$ Вт/м³.

При решении нестационарной теплопередачи в комплексе программ «ELCUT» возможно задание на ребрах – границах модели – только нулевых граничных условий. Задание ненулевых граничных условий на ребре – границе расчетной области – возможно через решение связанной задачи со стационарной теплопередачей.

Геометрия модели электроимпульсной установки при решении связанной задачи нестационарной теплопередачи и стационарной остается неизменной, показанной на рис. 2 а.

Расчет температурного поля происходит в линейной постановке задачи с помощью уравнения теплопроводности, записанного в цилиндрических координатах [3]

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda_r r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = -q - cr \frac{\partial T}{\partial t}$$

Здесь обозначено: t – время, T – температура, λ_r и λ_z – компоненты тензора теплопроводности, q – удельная мощность тепловыделения (константа), c – удельная теплоемкость (константа), ρ – плотность.

Результаты решения задачи нестационарной теплопередачи показаны на рис. 4.

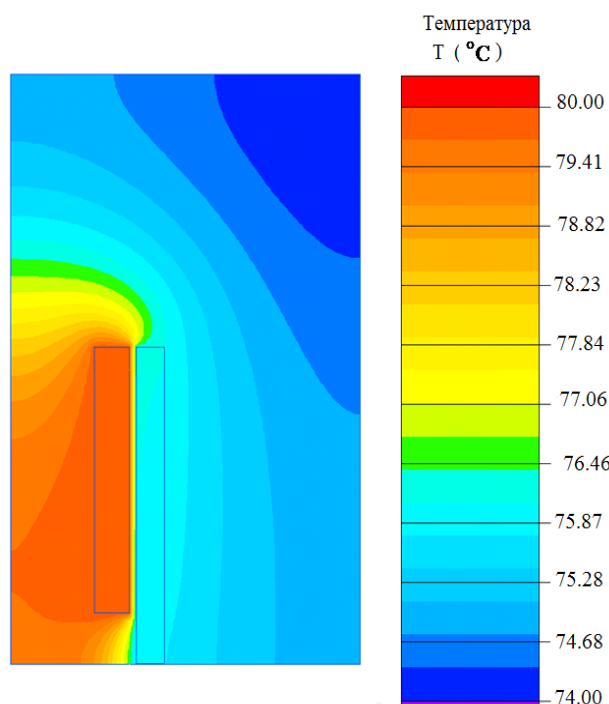


Рис. 4. Температурное поле электроимпульсного устройства спустя время 10 секунд после электрического разряда конденсатора на катушку индуктора при начальной температуре воздуха 27⁰С.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены на основе решения задачи нестационарной теплопередачи системы катушка индуктора – электропроводная пластина с применением комплекс программ Elcut 6.0 (профессиональная версия) основные параметры и временные характеристики физического процесса, связанного с электроимпульсной технологией очистки поверхностей. Предельные количественные показатели продолжительности импульса тока в катушке, пондеромоторной силы и температуры нагрева индуктора свидетельствуют о высокой эффективности электроимпульсной очистки поверхности производственного оборудования.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Patent № US5129598 A. Attachable electro-impulse de-icer/ Lowell J. Adams, Norbert A. Weisend, Jr. Thomas E. Wohlwender –Appl. No: 07/455,129; Filed: December 22, 1989.
- [2] Патент № 2096269. Способ удаления отложений, преимущественно льда, с очищаемой поверхности обшивки и устройство его осуществления/ И. А. Левин - №4671256/11 Заявл. 13.04.1989; Оpubл.20.11.1997
- [3] Шильников, П.Ю. Электроимпульсная очистка поверхностей / П.Ю.Шильников, В.А.Захаренко .– С.245 – 255. Россия молодая. – 2013.
- [4] Программа «ELCUT». Руководство пользователя. - ООО «Тор», Санкт- Петербург.– 2012. – 356 с.
- [5] Лукачева, А. А. Исследование переходных процессов в устройствах электроимпульсной очистки поверхностей оборудования от сыпучих материалов/Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований: материалы Международной научно-практической конференции НИЦ «Поволжская научная корпорация » (29 декабря 2016).-Самара : ООО «Офорт», – 2016. – 321 – 324 с.
- [6] Zhang Z. Q, Shen X. B, Lin G. P, Dynamic response analysis of multi-excitation structure of electro-impulse deicing system, IEEE/CSAA International conference on aircraft utility systems (AUS). – OCT 10 – 12, 2016. – 955 – 960.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. А. Лукачева, студент, e-mail luckacheva@mail.ru

УДК 621.316.722

АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЙ СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

М. В. Демидова, И. А. Семина, Н. А. Бабич

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В работе рассмотрена структура построения системы электроснабжения Чита-Сковородина. В ходе анализа были рассмотрены следующие параметры: передаваемая через преобразователь мощность, допустимая преобразователем разность частот объединяемых энергосистем, установленная мощность преобразователя. После критического анализа было обосновано, что наиболее предпочтителен асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты.

Ключевые слова – асинхронизированный электромеханический преобразователь частоты, асинхронизированная синхронная машина, синхронная машина, вставка постоянного тока

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из возможных вариантов несинхронного соединения энергосистем является использование так именуемого асинхронизированного электромеханического преобразователя частоты (АС ЭМПЧ), представляющего собой агрегат из двух машин переменного тока одинаковой мощности с жестко соединенными валами, одна из которых выполнена как асинхронизированная синхронная машина (АСМ), а другая – как АСМ (АС ЭМПЧ типа АСМ+АСМ) или как синхронная машина (АС ЭМПЧ типа АСМ+СМ) (Рис.1.). Заключительный вариант конструктивно проще, но синхронная машина подключается к энергосистеме с более жесткими требованиями к качеству электроэнергии. Первая по направлению передачи мощности через АС ЭМПЧ машина работает в режиме двигателя, вторая – в режиме генератора [1, 2].

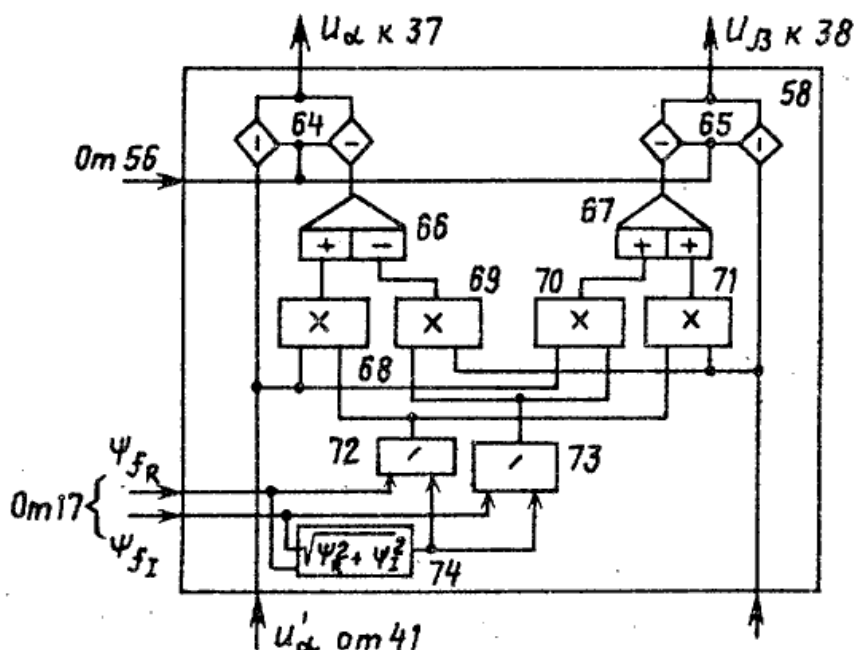


Рис. 1. Схема асинхронизированного синхронного электромеханического преобразователя частоты



II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Выбор места установки АС ЭМПЧ на осматриваемой трассе обусловлен следующими факторами.

1. В режиме зимнего максимума 2005 г. через подстанцию Могоча переток мощности составит примерно 200МВт в направлении от подстанции Холбон в восточную сторону к подстанции Сквородино, было взято из данных ОАО «Институт Энергосетьпроект». Именно масштабами этого перетока и определяется установленная мощность агрегата АС ЭМПЧ-200 (или агрегатов).

2. Комплекс с АС ЭМПЧ-200 рассчитан на сдачу «под ключ» с полностью автоматическим управлением, Но с диспетчерского пункта подстанции Могоча и из ОДУ Амурэнерго могут изменяться уставки по направлению и величине перетоков активной мощности.

3. Место установки (подстанция Могоча) находится приблизительно в центре между подстанцией Холбон и сильной подстанцией Сквородино из-за того, что Харанорская ГРЭС может к указанному времени (то есть к 2005 г.) обеспечить требуемые уровни напряжения на подстанции Холбон. Техничко-экономическое сравнение АС ЭМПЧ со статическими преобразователями проведено для передаваемой мощности 200 МВт. Сравнимые параметры приведены в таблице I.

ТАБЛИЦА I
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АС ЭМПЧ СО СТАТИЧЕСКИМИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ПРОВЕДЕНО ДЛЯ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ 200 МВТ

Тип преобразователя управляемой энергосистем связи	Передаваемая через преобразователь мощность, МВт	Допустимая разность частот объединяемых энергосистем, Гц	Установленная мощность преобразователя, МВт
ВПТ (классический)	355	Не ограничена	2 x 355=710
ВПТ на запираемых ключах с ШИМ на основе СТАТКОМ	200	Не ограничена	2 x 200=400
ВПТ на запираемых ключах с ШИМ по типу Directlink	200	Не ограничена	2 x 200=400
АС ЭМПЧ типа АСМ+АСМ по проекту ОАО «Электросила»	200	± 4 Гц, в режимах QАСМ <0 до ± 8 Гц	2 x 200=400
АС ЭМПЧ типа АСМ+СМ на основе СК-160 ОАО Уралэлектротяжмаш	160	± 2 Гц, в режимах QАСМ <0 до ± 4 Гц	2 x 160=320
2 агрегата по п.5 параллельно	320	->-	4 x 160=640
2 агрегата по п.5 параллельно	320	->-	4 x 160=640

По данным ОАО «Электросила», у АС ЭМПЧ-200 из 2-х АСМ с $\eta = 98,3\%$ (по [3] – 98,42 %) удельная стоимость установленной мощности составляет 40 долл. /кВт. Следовательно стоимость собственно агрегата преобразователя составит



16 млн долл. В соответствии с [4] базовая стоимость подстанции переменного тока 220 кВ с 2-мя трансформаторами сочиняет 4 млн долл., а удельная стоимость преобразователя с подстанцией составит $\Delta C = (16+4) \cdot 106/400 \cdot 103 = 50$ долл./кВт. С принятием трансформаторов общий КПД является $\eta \Sigma = 0,9832 \cdot 0,9972 = 0,96$. В связи с приведенными выше вариантами нужно рассмотреть и способ преобразователя с использованием эксплуатируемых в энергосистемах синхронных компенсаторов типа КСВБМ с водородным охлаждением внешней установки [5]. С помощью специализированных программных комплексов [6, 7] можно осуществить анализ работы подобных устройств.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Начальное технико-экономическое сопоставление преобразователей показало, что на основе проекта Directlink сооружение подстанции с ВПТ на затворяемых ключах с ШИМ на передаваемую мощность 200 МВт стоит 76 млн долл., а на основе проекта СТАТКОМ – 66 млн долл. Таким же образом по данным ОАО «Электросила» и НИИ «Электротяжмаш» (г. Харьков) АС ЭМПЧ-200 типа АСМ+АСМ стоит 20 млн долл.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Является преимущественным несинхронное параллельное соединение ОЭС Сибири и Дальнего Востока по южному двухцепному транзиту 220 кВ с подмогою асинхронизированного электромеханического преобразователя частоты (АС ЭМПЧ) по сопоставлению с знаменитыми ВПТ на основе СТАТКОМ и DIRECTLINK по технико-экономическим показателям.

2. Пропускная способность на подстанции Могоча транзит Холбон – Сквородино возрастет в 1,5–2 раза. Установкой преобразователя практически делится пополам, что позволит отодвинуть сроки строительства ЛЭП500 кВ и сроки расширения Харанорской ГРЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Цгоев Р.С. Управление и режимы электромеханических агрегатов на базе асинхронизированных, синхронных и асинхронных машин при их работе в энергосистемах. Дисс. докт. техн. наук. – М.: 1990.
- [2] Балабанов М. С., Хамитов Р. Н. FACTS-устройства. Выбор при проектировании электрооборудования предприятий: монография – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – С.184.
- [3] Асинхронизированный синхронный электромеханический преобразователь частоты типа АС ЭМПЧ-200 УХЛ4. Технический проект ИАВК.565712.001.НИИ и завод «Электротяжмаш», Харьков, 1982.
- [4] Крупные показатели стоимости сооружения электрических станций и электрических сетей. Рекомендации РАО «ЕЭС России» к использованию при оценке капитальных вложений и выполнении техникоэкономических обоснований вариантов развития ЕЭС России. – М.: 2002.
- [5] Пекне В.З. Синхронные компенсаторы (конструкция, монтаж, испытания и эксплуатация). – М: Энергия, 1980.
- [6] Балабанов М. С., Хамитов Р. Н. Анализ программных комплексов, применяемых при проектировании FACTS-устройства // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. №4 (156). С. 23–28.
- [7] Балабанов М. С., Хамитов Р. Н. Имитационное моделирование FACTS-устройств для рудотермических печей // Электротехнические комплексы и системы: Материалы всерос. науч. техн. конф., посвящ. 110-летию А.М. Бамдаса. – Уфа: УГАТУ, 2015. – С.65 – 67.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М. В. Демидова, студент, e-mail meride@list.ru.

И. А. Семина, к. т. н., доцент кафедры «Электрическая техника» e-mail: semina_ia@mail.ru.

Н. А. Бабич, студент, e-mail meride@list.ru.



УДК 621.311.1.016.35

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ

М. В. Демидова, Р. Н. Хамитов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Все более значимыми становятся решения по повышению эффективности и надежности функционирования энергообъединения в аварийных режимах, возникающих после резких возмущений при коротких замыканиях и коммутационных переключениях электрической части системы. Одним из таких решений является применение электрического торможения синхронных генераторов на электростанциях. Эффективность такого решения и возможные пути его реализации рассматриваются в данной работе.

Ключевые слова – электрическое торможение генератора, электроэнергетическая система, поперечное электрическое торможение, продольное электрическое торможение, продольно-поперечное электрическое торможение.

I. ВВЕДЕНИЕ

Появляющиеся при резких возмущениях в электроэнергетической системе (ЭЭС) переходные процессы могут сопровождаться выпадением генераторов из синхронизма, возникновением асинхронного хода. Исходя из этого необходимо участие дополнительных управляющих устройств целенаправленного воздействия на переходные процессы в ЭЭС. Существует электрическое торможение (ЭТ) синхронных генераторов, под которым рассматривают целенаправленное подключение нагрузочных (тормозных) сопротивлений или изменение параметров схемы системы, например, сопротивлений уже выбранных элементов схемы, действующих на величины нагрузки генераторов.

За счет управляющих устройств изменение сопротивлений может использоваться в функции времени t в соответствии с неким принятым алгоритмом $z = f(t)$ непрерывно (автоматическое регулирование) или скачкообразно от наименьшего z_{\min} до наибольшего значения z_{\max} (релейное или дискретное управление). К устройствам с автоматическим регулированием относят источники реактивной мощности, называемые ИРМ, управляемые реакторы и др.

II. ТЕОРИЯ

Поперечное электрическое торможение.

Рассматривая случаи, когда ЭТ используется исходя из параллельного подключения к электрической схеме системы тормозного сопротивления Z_T (в общем случае комплексного) представляется в виде параллельно (Рис.1) или последовательно включенное активное R_T и емкостное X_T сопротивления, ЭТ называют поперечным (ПЭТ).

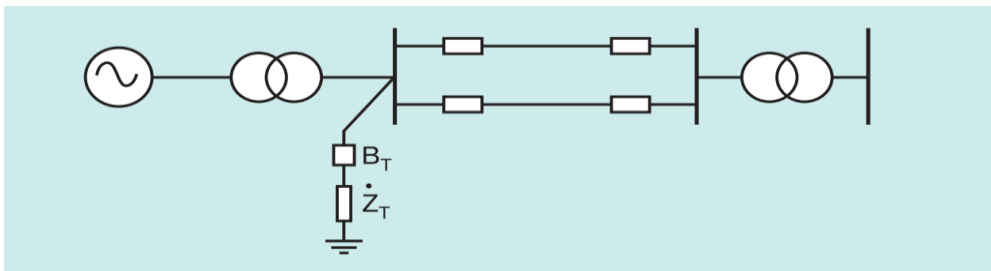


Рис. 1. Схема электропередачи с устройством поперечного электрического торможения

Если имеется устройство ПЭТ при наиболее опасном трехфазном КЗ на шинах электростанции, эффективность последнего проявляется только в послеаварийном режиме следует после отключения поврежденного участка с КЗ, потому что напряжение на ЗТ при КЗ близко к нулю. При менее опасных возмущениях действие ПЭТ возникает в аварийном режиме. Следовательно, выбирая мощность устройства ПЭТ, исходя из условия сохранения динамической устойчивости в начальном цикле качаний ротора, вызванного наиболее опасным возмущением, то можно взять во внимание, что и при менее опасных возмущениях с помощью ПЭТ всегда будет обеспечиваться сохранение устойчивости ЭЭС. В связи с этим при составлении различных вариантов в качестве расчетного нужно брать наиболее опасное возмущение в системе, а точнее трехфазное на шинах удаленной электростанции А.

Продольное электрическое торможение.

В ЭЭС на время КЗ тормозные сопротивления можно включать последовательно в цепь статора генератора. Вместе с этим ЭТ называется продольным электрическим торможением (ПрЭТ).

Продолжительность аварийного режима меняется десятками долями секунды, поэтому от коммутационной аппаратуры в цепи с сопротивлением R требуется сверхвысокое быстродействие. На (Рис.2) представлена схема, которая была разработана в связи с отсутствием мощных быстродействующих выключателей.

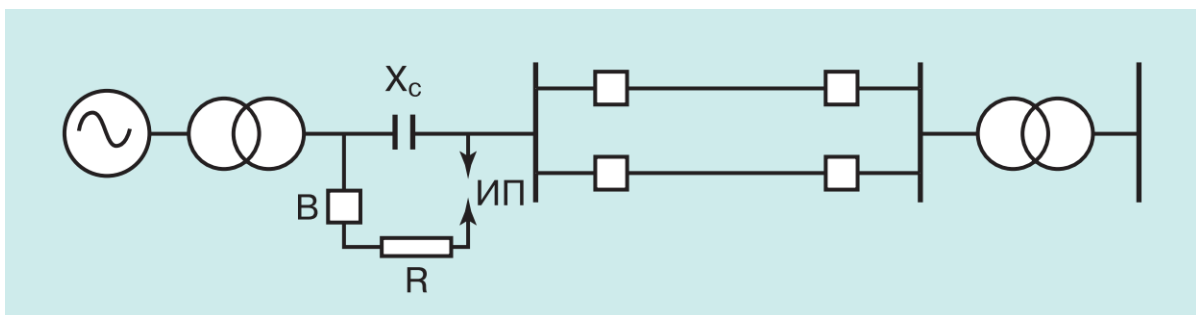


Рис. 2.Схема электропередачи с устройством продольного электрического торможения

Последовательно в цепь статора включена батарея статических конденсаторов (БСК), в аварийном режиме шунтируемая цепью с сопротивлением R через искровые промежутки ИП, которые пробиваются вследствие появления перенапряжения на БСК при протекании через нее тока КЗ. Нормально включенный в цепь с сопротивлением R выключатель отключается в одно время с отключением выключателей поврежденных линий от действия релейной защиты. Таким образом, с помощью простых средств функционирует включение сопротивления R в цепь статора на время КЗ. В течение этого времени действует работа генератора на активное тормозное сопротивление R , из-за этого максимальный угол сдвига ротора в первом цикле его качаний не превышает критического значения, если таким же образом выбраны величины сопротивлений R и X_c . Исходя из этого, обеспечивается сохранение динамической устойчивости ЭЭС.

Продольно-поперечное электрическое торможение.

ЭТ представляется в виде комбинации двух выше рассмотренных торможений: продольного и поперечного (сокращенно обозначается ПрПЭТ). Применение ПрПЭТ дает наибольшую эффективность, поскольку торможение ротора генератора в аварийном и начале послеаварийного режимах действует с наибольшей интенсивностью. Схема электропередачи с устройством ПрПЭТ представлена на (Рис. 3).

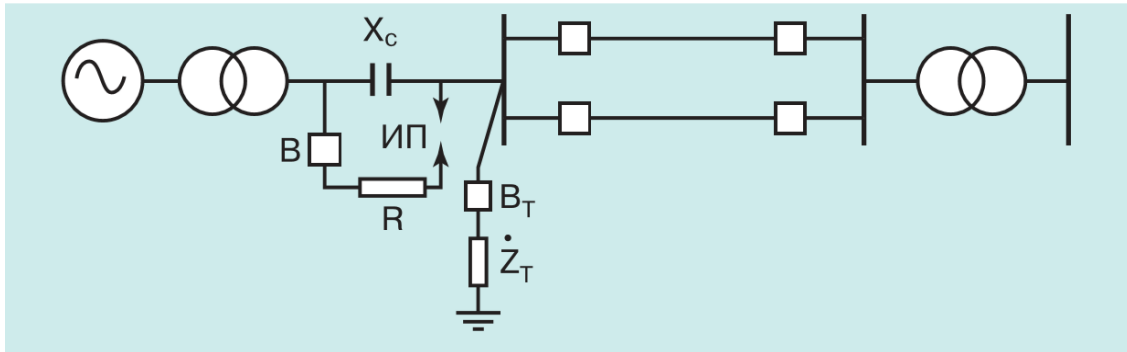


Рис. 3. Схема электропередачи с устройством продольно-поперечного электрического торможения.

Во время возникновения КЗ вблизи рассматриваемой электростанции, поодаль от приемной части ЭЭС, если срабатывает искровые промежутки или разрядники параллельно с БСК в цепь статора включается активное тормозное сопротивление R , через которое проходит часть тока КЗ. Часть рассеиваемая сопротивлением R избыточной кинетической энергии ротора, накапливаемой им в течение КЗ, отражается на уменьшении величины угла выбега и скорости относительного движения ротора к моменту времени отключения КЗ ($t_{КЗ}$).

На первом этапе послеаварийного переходного режима ($t \geq t_{КЗ}$) происходит разрыв цепи с сопротивлением R из-за деионизации ИП или отключения выключателя $ВР$ и включается выключатель $ВТ$, то есть вступает в работу ПЭТ.

Тормозное сопротивление R_T подключаемое параллельно к статорной цепи через выключатель $ВТ$ способствует увеличению отбора мощности с вала ротора генератора и его затормаживанию. В результате этого рост угла сдвига ротора δ прекращается, если значения δ_{max} меньше критического $\delta_{кр}$, тем самым обеспечивается сохранение динамической устойчивости генераторов даже с малой постоянной инерции, составляющей секунду и меньше.

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге, применение электрического торможения в энергосистемах обеспечивает повышение надежности работы ЭЭС России при резких возмущениях ее режима, что придает ему собственную значимость при решении актуальной проблемы объединения ЭЭС Востока и Запада на синхронную работу с единой частотой, в силу чего оно может получить более широкое применение на практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979.
- [2] Веников В.А., Жуков Л.А. Регулирование режима электрических систем и дальних электропередач и повышение их устойчивости с помощью управляемых статических ИРМ. – Электричество, 1967, № 6.
- [3] М. С. Балабанов, Р.Н. Хамитов FACTS-устройства. Выбор при проектировании электрооборудования предприятий: монография / . – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – С.184.
- [4] Павлов А.А. Синтез релейных систем оптимальных по быстродействию. – М.: Наука, 1966. Укрупненные показатели стоимости сооружения электрических станций и электрических сетей. Рекомендации РАО «ЕЭС России» к использованию при оценке капитальных вложений и выполнении техникоэкономических обоснований вариантов развития ЕЭС России. – М.: 2002.



- [5] Зеленохат Н.И., Негаш Г.А., Куки А.А., Ислам И.М. Анализ эффективности продольного электрического торможения генераторов в энергосистеме. – М., 2000. – Рукопись деп. в ВИНТИ, № 11.
- [6] Балабанов, М.С. Анализ программных комплексов, применяемых при проектировании FACTS-устройства / М.С. Балабанов, Р.Н. Хамитов. // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2014. №4 (156). С. 23 –28.
- [7] Балабанов, М.С. Имитационное моделирование FACTS-устройств для рудотермических печей /М.С. Балабанов, Р.Н. Хамитов. // Электротехнические комплексы и системы: Материалы всерос. науч. техн. конф., посвящ. 110-летию А.М. Бамдаса. – Уфа: УГАТУ, 2015. – С.65 – 67.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М. В. Демидова, бакалавр, meride@list.ru.

Р. Н. Хамитов, профессор кафедры «Электрическая техника», apple_27@mail.ru.

СЕКЦІЯ 3



УДК 621.317.3

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

И. М. Самохвалов, В. Г. Эйсмонт, Д. А. Поляков

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В настоящее время в учебных заведениях при подготовке специалистов большую роль играют лабораторные практикумы, для которых ряд производителей изготавливают лабораторные стенды. Многие из них обладают достаточно широким функционалом в изучении тех или иных электрических процессов. Однако в силу высокой стоимости лабораторных стендов, решено разработать стенд с необходимым и достаточным количеством датчиков для внедрения в учебный процесс. Собранное устройство получилось компактным, практичным и потребовало минимальных финансовых вложений. Выполняются подготовительные работы для внедрения лабораторного стенда в учебный процесс.

Ключевые слова – лабораторные стенды, электрические величины, измерения.

I. ВВЕДЕНИЕ

В связи с необходимостью модернизации учебного процесса и повышения уровня образовательного процесса требуется внедрение новых лабораторных стендов. В настоящее время разработано достаточно много лабораторных стендов, выпускаемых серийно. Например, лабораторные стенды группы компаний «ГалСен» и их частный пример – ГалСен ИЭВ1-Н-Р. На этом стенде можно проводить лабораторный практикум по разделам: измерения напряжения, тока, сопротивления, мощности в цепях постоянного и переменного тока.

Также известен лабораторный стенд НТЦ-05.08, предназначенный для использования в качестве учебного оборудования при проведении лабораторных работ по курсу "Электрические измерения". Стенд позволяет проводить следующие лабораторные работы: проверка технического амперметра магнитоэлектрической системы; проверка вольтметра магнитоэлектрической системы; проверка ваттметра электродинамической системы; проверка однофазного счетчика электрической энергии индукционной системы; расширение пределов измерения амперметра; расширение пределов измерения вольтметров; измерение сопротивлений косвенным методом; измерение коэффициента мощности $\cos(\varphi)$ при различных видах нагрузок; измерение индуктивности косвенным путем; измерение активной мощности в 3-х фазных цепях; Измерение активной мощности в 3-х фазных цепях.

Основным недостатком перечисленных стендов является их высокая стоимость. Кроме того, они обладают широким спектром характеристик, которые не всегда в полной мере необходимы для учебного процесса. В связи с этим, было принято решение разработать лабораторный стенд для исследования датчиков электрических величин с необходимым и достаточным набором датчиков для исследования их характеристик.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка лабораторного стенда для исследования датчиков электрических величин, позволяющего производить измерение двух основных

характеристик – тока и напряжения, а также использовать магнетометр, фиксирующий наличие магнитного поля и его ориентацию.

III. ТЕОРИЯ

Предлагаемый лабораторный стенд состоит из следующих основных элементов:

1. Отладочная плата на микроконтроллере atmega328P Arduino Uno R3 (Рис.1);
2. Контактная плата Troyka Slot Shield;
3. Датчик тока из линейки Troyka-модулей;
4. Магнетометр/компас (Тройка-модуль);
5. Потенциометр (Тройка-модуль);
6. Четырёхразрядный индикатор (Тройка-модуль).

Структурная схема лабораторного стенда представлена на Рис. 1.

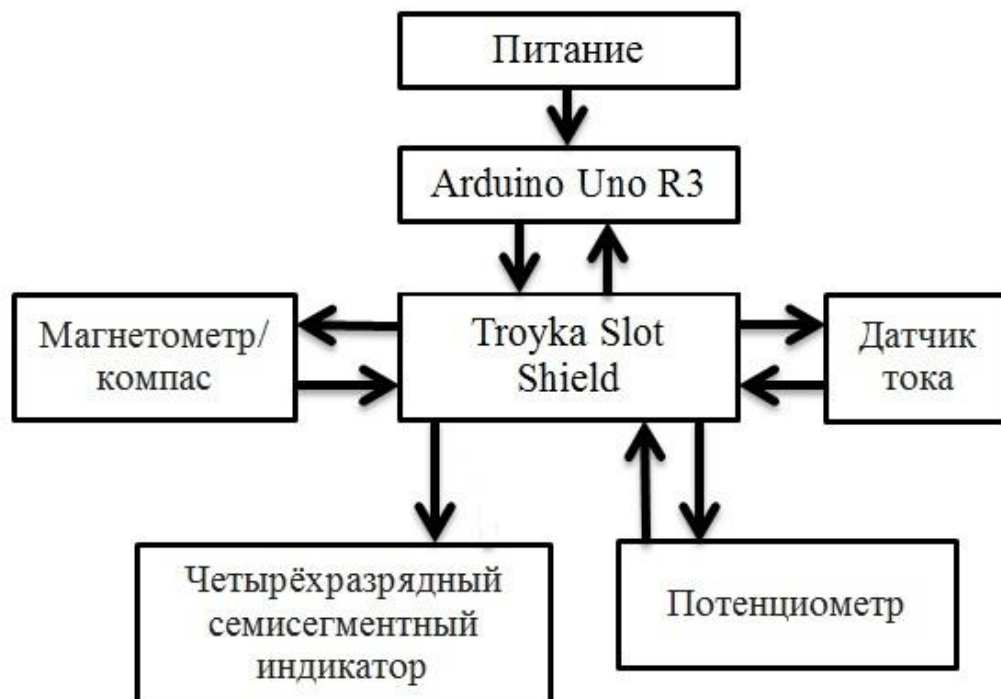


Рис.1. Структурная схема лабораторного стенда.

Arduino Uno построена на основе микроконтроллера ATmega328. На плате имеется 14 цифровых портов ввода/ вывода (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 6 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем, разъем ICSP и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или подать питание при помощи адаптера AC/DC или аккумуляторной батареи. [1]

Плата Troyka Slot Shield позволяет собрать устройство без проводов из нескольких Troyka-модулей. На плате расположены шесть входов. Каждый вход состоит из четырёх троек контактов, в которые можно подключить один Troyka-модуль. В плату можно подключить: шесть Troyka-модулей, использующих для управления один цифровой контакт; пять модулей, использующих аналоговые входы управляющей платы; три модуля, использующих протокол I²C (SDA/SCL); три модуля, работающих по протоколу SPI (DI/DO/CK).



Датчик тока определяет силу тока в цепях постоянного и переменного тока в диапазоне до 5 А. Результатом работы сенсора является аналоговый сигнал. В отсутствии электрического тока датчик выдаёт половину напряжения питания. При появлении тока сигнальное напряжение отклоняется к нулю или напряжению питания пропорционально силе измеряемого тока.

Характеристики датчика: напряжение питания: 5 В; потребляемый ток: 10 мА; Измеряемый ток: переменный и постоянный; диапазон измеряемого тока: $-5 \dots +5$ А; чувствительность: 185 мВ/А; гальваническая развязка, пробивное напряжение: 2,1 кВ; рабочий диапазон температур: $-40 \dots +85$ °С; Габариты: $25,4 \times 25,4$ мм.

Трехосный *магнетометр* измеряет магнитную индукцию. Модуль имеет два трёхконтактных разъёма. Один разъём используется для подачи напряжения. Второй – для подключения к шине I²C.

Характеристики: чувствительность: $1,46 \times 10^{-4}$ Гс; диапазон измерений: $\pm 4/ \pm 8/ \pm 12/ \pm 16$ Гс; напряжение питания: 3,3 – 5 В; потребляемый ток: менее 10 мА; габариты: $25,4 \times 25,4$ мм.

Модуль с потенциометром – это аналоговый сенсор, который сообщает микроконтроллеру положение ручки потенциометра. Его можно использовать и как датчик напряжения, если необходимо измерить напряжение выходящее за пределы измерения АЦП. Выходным результатом работы сенсора является аналоговый сигнал, с уровнем напряжения прямо пропорциональным углу поворота ручки потенциометра.

Характеристики: сопротивление: 10 кОм; тип потенциометра: линейный; угол поворота движка: 300 °.

Четырёхразрядный семисегментный индикатор позволяет вывести показания с датчиков для их оценки и обработки.

Характеристики: напряжение питания: 3 – 5 В; максимальный потребляемый ток: 150 мА (при питании от 5 В); габариты: $50,8 \times 25,4$ мм

Полученное устройство, собранное из выше описанных компонентов изображено на рис. 2.

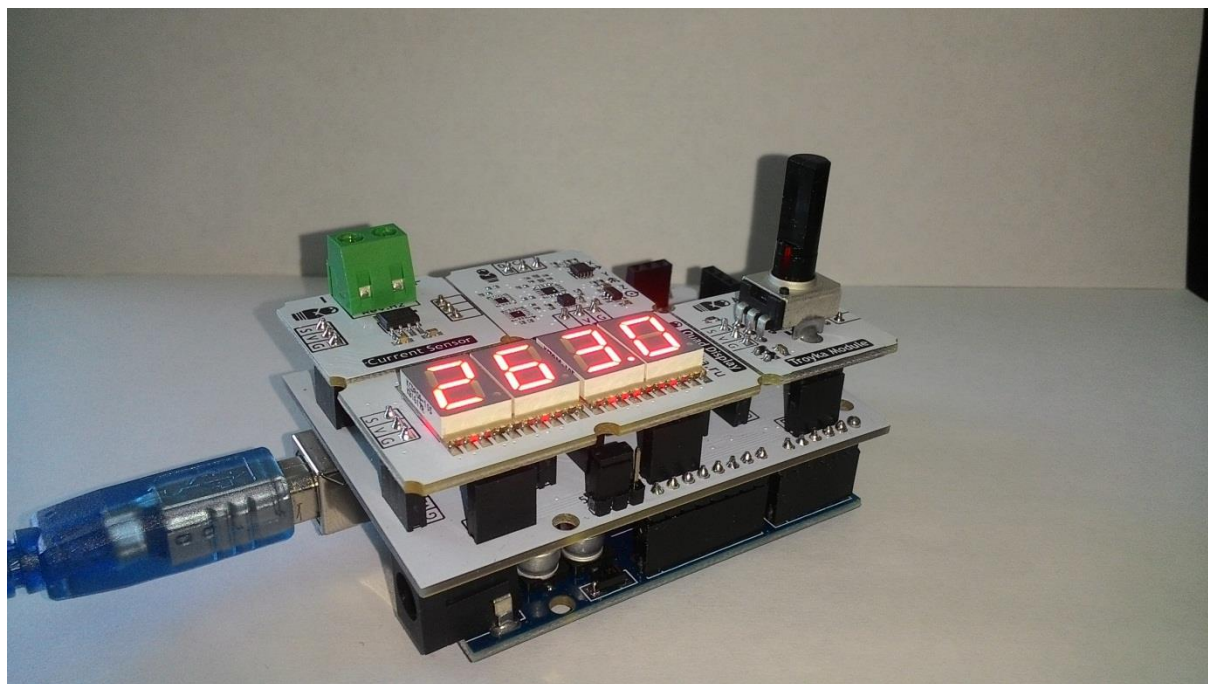


Рис. 2. Изображение собранного устройства.



IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Собрано цифровое устройство на базе отладочной платы на микроконтроллере ATmega328P Arduino Uno R3 с применением выше перечисленных датчиков входящих в состав устройства для измерения электрических величин, таких как: постоянный и переменный ток, постоянное и переменное напряжение, постоянная и переменная магнитная индукция. Все сенсоры реагируют на изменение соответствующих величин. Собранное устройство получилось компактным, практичным и потребовало минимальных финансовых вложений. В настоящее время устройство тестируется для последующего внедрения в учебный процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рогожников Г.С. Прикладные физические технологии и компьютерные методы исследований: автоматизированные системы управления оптическими и оптико-механическими устройствами. Саров: Изд-во Саровский физико-технический институт – филиал МИФИ, 2016. 69 с.
- [2] Воробьева Г. С., Селезнев А. И. Интерфейсы микропроцессорных систем. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 165 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

И. М. Самохвалов, студент группы Э-136, бакалавр, e-mail deisel-95@mail.ru
В. Г. Эйсмонт, студент группы Э-136, бакалавр, e-mail eismont.prunes@yandex.ru
Д. А. Поляков, ст. преподаватель, аспирант, e-mail polyakowdmitry@yandex.ru



УДК 53.087.92

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДАТЧИКОВ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В. Г. Эйсмонт, И. М. Самохвалов, Д. А. Поляков

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В настоящее время актуальной является разработка лабораторных стендов для их внедрения в учебный процесс в целях повышения его качества. Одним из востребованных стендов является стенд по исследованию датчиков неэлектрических величин в связи с их обширным применением в различных технологических установках. В статье описана разработка лабораторного стенда по исследованию датчиков неэлектрических величин, которые подключаются к платформе Arduino Uno. Всего в работе используются четыре датчика, измеряющие расстояние, наклон, звук и температуры. Разработанный стенд тестируется для калибровки датчиков и внедрения в учебный процесс.

Ключевые слова – Лабораторный стенд, датчик, микроконтроллер, электронное устройство.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач развития промышленности, технического роста, повышения производительности труда и работы в целом являются развитие системы среднего и высшего образования. Факторами повышения качества образования является внедрение новых способов обучения и разработка оборудования для доступной реализации теоретических и практических знаний, для последующей подготовки высококвалифицированных специалистов в различных технических отраслях промышленности.

В целях повышения уровня обучения, учащимся необходимо предоставлять современное оборудование. Лабораторные стенды являются неотъемлемой частью процесса обучения студентов. Именно лабораторные стенды дают учащимся возможность проверить теорию практикой, улучшить свои навыки для лучшего понимания дисциплины. Одной из важных характеристик эффективности управления служит качество изделий [1]. В связи с этим, является актуальной разработка и внедрение лабораторных стендов в учебный процесс.

Рассмотрим известные стенд группы компании «ГалСен» на примере модели ГалСен ДТП1-Н-Р. На данном стенде возможны следующие исследования такие как: измерение статических характеристик датчиков тока и напряжения, характеристики тахо генератора и оптического энкодера, динамические характеристики датчика температуры, датчика линейного перемещения, бесконтактных датчиков-выключателей, характеристики датчика углового положения и характеристики датчиков давления. Стоимость данного стенда превышает сумму двухсот тысяч рублей.

Также, в качестве примера, стоит рассмотреть стенд той же компании, модель ОАП1-Н-Р включает в себя функции датчиков технологического процесса, различных цифровых устройств, устройств управления и автоматических систем. Включает в себя датчик давления, температуры, аналоговый датчик положения.

Основными недостатками перечисленных стендов является их высокая стоимость и крупные габариты стендов.



II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью исследования является разработка лабораторного стенда для изучения принципа действия и анализа характеристик датчиков неэлектрических величин. Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Разработать структурную схему стенда;
- Разработать принципиальную электрическую схему стенда;
- Разработать программное обеспечение микроконтроллера, входящего в состав стенда;
- Протестировать разработанное программное обеспечение на готовом устройстве и произвести калибровку датчиков для обеспечения возможности их использования в процессе лабораторных работ.

III. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

В состав лабораторного стенда по исследованию датчиков неэлектрических величин включены следующие датчики:

- Датчик температуры;
- Датчик наклона;
- Датчик, измеряющий расстояние до объекта;
- Датчик шума.

Для получения и обработки сигналов датчиков решено использовать Arduino Uno – плату на основе микроконтроллера ATmega328, которая имеет 14 цифровых входов и выходов. Запоминающее устройство (память) микропроцессорной системы можно разделить на две области: оперативное запоминающее устройство (RAM) и постоянное запоминающее устройство (ROM) [2]. Плата Arduino Uno производит опрос датчиков, преобразует полученную информацию и выводит ее на четырехразрядный семисегментный индикатор.

Структурная схема лабораторного стенда представлена на рис. 1

Датчик температуры используется для измерения температуры воздуха, также при покрытии датчика изоляцией можно измерять температуру воды или масла. Датчик работает при температуре от - 40 до + 125 °С. Для исследования характеристик датчика на стенде предполагается установить мощное сопротивление (25 Вт) и, пропуская через него ток, изменять температуру, которую будет измерять датчик. С выхода датчика снимается аналоговый сигнал, уровень напряжения которого преобразуется в температуру.

Датчик наклона – это капсула, в которой находится металлический шарик. При наклоне шарик перекачивается по капсуле, тем самым он размыкает или замыкает контакт. Датчик выдает обычный цифровой сигнал, логический ноль или единицу в зависимости от того в какую сторону наклонена капсула. Для подключения датчика используется три провода, которые подключаются к плате.

Датчик, измеряющий расстояние до объекта. Измерение расстояния производится с помощью лазерного дальномера, который определяет расстояние в диапазоне от 0 до 100 мм. Преимуществом данного датчика является то, что он получает сигнал «без мертвых зон», без проблем с множественными отражениями и рассеивания луча. Работа датчика определяется тем, что он измеряет время, необходимое свету для прохождения расстояния до объекта и отражения от него. По такому же принципу

работает ультразвуковой сенсор, только в лазерном датчике все проходит в тысячи раз быстрее. Arduino не может обрабатывать сигнал с необходимой скоростью, поэтому процессор, таймер и вся остальная электроника расположены в самом модуле. Микроконтроллер получает уже обработанные данные измерений по I2C-интерфейсу.

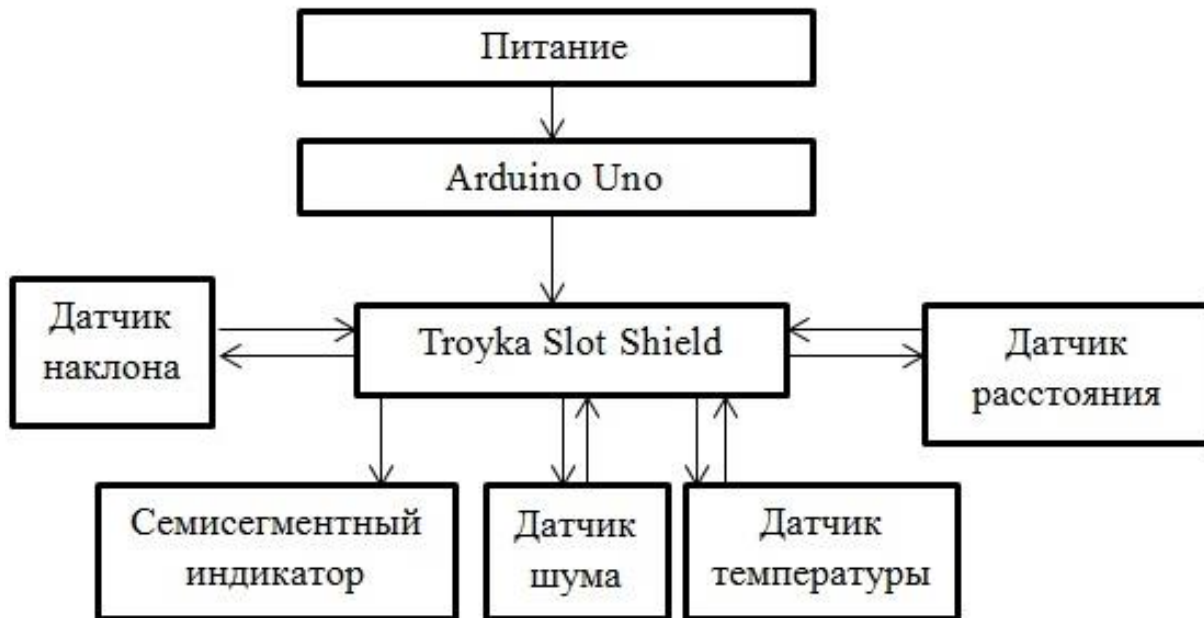


Рис.1. Структурная схема лабораторного стенда

Также в модуль входит датчик освещенности. Его данные процессор использует для более точного измерения. Модуль контактирует с платой по протоколу I2C. Подключение датчика производится с помощью двух трех проводных шлейфов.

Датчик шума представляет собой микрофон, преобразующий звуковые колебания в электрический ток. Сигнал перед запуском необходимо усилить, для того чтобы убрать отрицательную полуволну и сгладить сигнал. Все эти действия выполняет электронная подвязка модуля.

Неотъемлемой частью нашего стенда является *четырёхразрядный семисегментный индикатор*. Индикатор содержит четыре индикатора, управляемые с помощью порта SPI. Модуль работает с управляющими сигналами напряжением от 3 до 5 вольт. В нашем стенде, он непосредственно используется для вывода информации с вышеупомянутых датчиков. Как и все модули, индикатор подключается к плате с помощью двух трехпроводных шлейфов.

Для подключения датчиков к плате используется плата расширения, которая позволяет подключить большее количество элементов. Все датчики, подключенные к плате представлены на рис. 2.

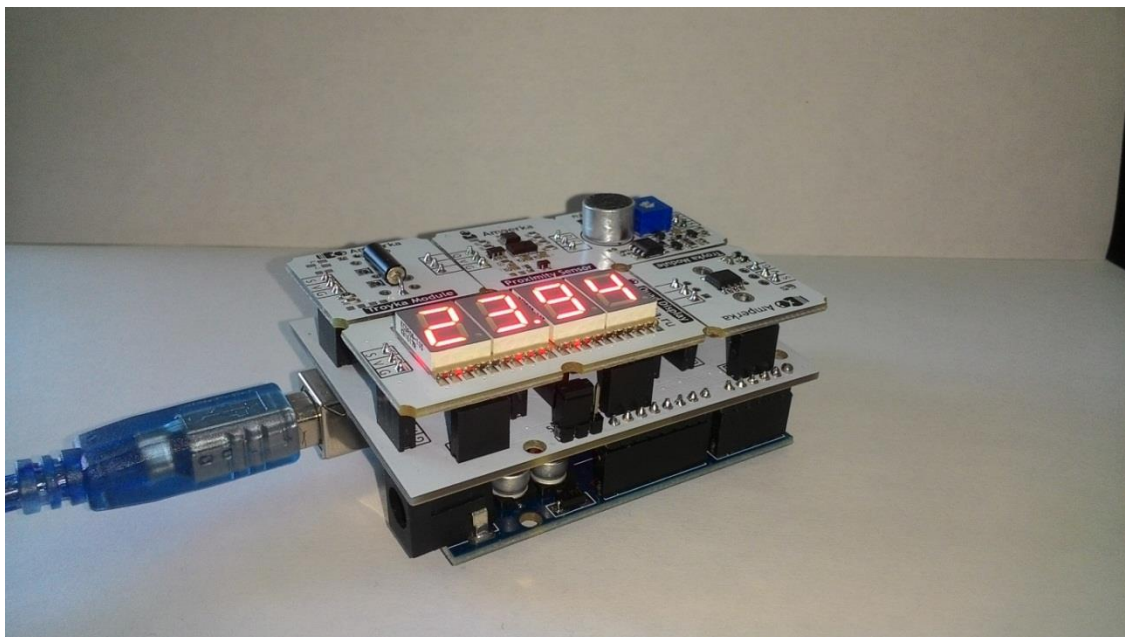


Рис. 2. Внешний вид платы с датчиками.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан лабораторный стенд по исследованию датчиков неэлектрических величин. Стенд был выполнен с минимальной стоимостью всех модулей. Работа на стенде для обучающихся не должна составлять проблем, так как стенд максимально прост в использовании. В настоящее время проводится тестирование устройства для калибровки датчиков и внедрения в учебный процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А.А.Сазонов. Микропроцессорное управление технологическим оборудованием микроэлектронике, 1988. – 264 с.
- [2] Микропроцессорные устройства систем управления, Ю. И. Иванов, В. Я. Югай. – 2005, с. 135.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. Г. Эйсмонт, студент группы Э-136, бакалавр, e-mail eismont.prunes@yandex.ru
И. М. Самохвалов, студент группы Э-136, бакалавр, e-mail deisel-95@mail.ru
Д. А. Поляков, ст. преподаватель, аспирант, e-mail polyakowdmitry@yandex.ru

СЕКЦИЯ 4



УДК 379.85 (574)

ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ ЭКОТУРИЗМА В РАЙОНАХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А. А. Езикеева, О. А. Иванова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – На современном этапе термин „экотуризм” часто используется турфирмами для обозначения деятельности связанной с использованием природных объектов для отдыха. Термин «экологический туризм» начал широко применяться в мире во второй половине прошлого века. Сегодня «зелёный» туризм становится всё более популярным во всём мире. Всё более урбанизируемое население планеты стремится совершить путешествие именно в мир нетронутой природы. Можно перечислить несколько особо крупных проектов в данной области – это развитие сельского туризма, экотуризма в заповедниках, экотуризма в научных целях и т.д. Экотуризм призван способствовать защите уникальной природы, увеличению занятости населения, социальному и экономическому росту и развитию. Наша страна обладает огромными территориями, часть из которых по праву можно считать привлекательными для такого рода туризма, как экологический. В России экотуризм только начинает развиваться. Ежегодно в стране растёт количество сторонников данного вида отдыха. В данной статье рассмотрены некоторые уникальные места Омского Прииртышья, а также проблемы развития экотуризма в районах Омской области.

Ключевые слова – экологический туризм, мегаполис, Омская область, здоровье человека, памятники природы.

I. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в мире набирает популярность так называемый экологический туризм. Его появление обусловлено процессами урбанизации и индустриализации. Мегаполис сковывает людей, ограничивает их жизненное пространство и подчиняет своему сумасшедшему ритму. Промышленные предприятия практически всегда оказывают негативное влияние на здоровье людей. В связи с этим, ежегодно всё больше и больше туристов проявляет внимание к местам с незагрязнённой природой. Люди чувствуют потребность в общении с природой, в созерцании естественной красоты. Начав свою историю в южноамериканской Коста-Рике, он смог привлечь внимание избалованного потребителя туристического отдыха. Сделав упор на привлечение любителей прогулок по девственным тропическим лесам, эта небольшая, страна третьего мира открыла для туристического отдыха новые горизонты.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Так что же на сегодняшний день предлагает экотуристу рынок туристических услуг?

По запросу в поисковой системе "лучшие места для экотуризма" мы можем увидеть Индонезию, Перу, Коста-Рику, Эквадор, Мадагаскар и, конечно же, Россию.

В нашей стране ежегодно растёт количество сторонников экологического туризма. Список мирового наследия ЮНЕСКО включает следующие природные объекты, расположенные в России: озеро Байкал, Девственные леса Коми, Вулканы Камчатки, Западный Кавказ, Золотые горы Алтая, Куршская коса, Центральный Сихотэ-Алинь, Убсунурская котловина, Остров Врангеля, Плато Путорана, Ленские столбы. Экотуризм в данных регионах будет способствовать защите уникальной природы,



увеличению занятости населения, социальному и экономическому росту и развитию. В России очень много и других, весьма привлекательных уголков для экотуризма [1].

В данной статье мы рассмотрим некоторые уникальные места Омского Прииртышья, а также проблемы развития экотуризма в Омской области.

III. ТЕОРИЯ

На территории Омской области, на протяжении 600 километров с севера на юг прослеживается последовательная смена природных комплексов: тайга, мелколиственные леса, северная и южная лесостепи и степь. В этом состоит её исключительность. На территории области находятся: тринадцать ботанических, семнадцать зоологических и два комплексных заказника, природный парк и девяносто девять памятников природы [2].

Рекреационный потенциал Омской области огромен. На её территории расположены выдающиеся памятники природы.

Пять природных памятников присутствуют на территории Горьковского района. Три памятника – геоморфологические. Это «Берег Драверта», «Провал» и «Чёртов палец». Они находятся в селе Серебряное. Также на данной территории можем увидеть ботанические объекты – урочища «Исаковское» и «Саратовское». Здесь растёт реликтовый лес. Недалеко от села Серебряное расположены два источника. До нашего времени сохранились памятники археологии «Саргатской культуры» (четвёртое столетие до нашей эры – четвёртый век нашей эры) – это курганы – городища [3].

Муромцевский район. Течение реки Иртыш в районе имеет важную особенность: пойма реки ниже деревни Артын становится значительно шире и достигает четырех километров, река начинает петлять. Это приводит к формированию рыболовных песков, углублений, где зимуют рыбы. Достоянием района являются Китлинские болота. Это место обитания лосей. Крупные и богатые ягодники – ещё одно достоинство района. Следует отметить пять озер, происхождение Данилова озера до сих пор является загадкой.

Площадь лесов на территории Большереченского района составляет порядка ста тысяч гектар. Они полны грибов, ягод, а также там много пушных зверей. Здесь обитают: волки, барсуки, лоси, лисы, косули. Благодаря этому, Большереченский район становится привлекательным для туристов, которым по душе подвижный отдых. Самой главной достопримечательностью района по праву считается Большереченский зоопарк. Его особенность в том, что это – сельский зоопарк. Площадь зоопарка составляет без малого 20 гектар, в нём содержится более 170 видов животных. Многие из которых занесены в Красную книгу [4].

Омская область может быть привлекательным местом для экологического туризма. Однако экологический туризм в Омской области не получил должного развития, не смотря на огромный рекреационный потенциал. Этому мешает ряд экономических и организационных причин.

Экономические причины:

- недостаточные финансовые вложения в экологические центры, которые могли бы выполнить задачи формирования программ экотуризма;
- низкие инвестиции в инфраструктуру экотуризма;
- крайне малые затраты на рекламу привлекательных для туристов мест.

Организационные причины:

- ограниченные рекреационные услуги;
- отсутствие разнообразия в туристических маршрутах;



- недостаток квалифицированных специалистов в области экотуризма;
- пробелы в законодательной базе экотуризма.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У Омского региона большой потенциал, как у объекта экотуризма. Для этого имеется богатый природный ресурс, необходимый для данного вида туризма. Есть перспектива разработки интересных туристических маршрутов и баз. Однако, на сегодняшний день это направление современного туризма в области не получило должного развития. Существует ряд причин, по которым экотуризм не может в полной мере начать действовать на природных просторах региона. Решение ряда задач экономического и организационного характера помогут области наладить вполне перспективный вид современного туризма. Стоит отметить, что для того, чтобы сделать Омскую область привлекательнее для экотуризма необходимо взаимодействие местных жителей, органов власти, представителей бизнеса. От развития экологического туризма на нашей малой Родине выиграют все: туристы смогут увидеть красоты нашего края, население получит развитую инфраструктуру, а бюджет региона – новый источник дохода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Центр экономии ресурсов. Просветительский экологический центр. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://centreson.ru/news/4193> (дата обращения: 22.03.17).
- [2] Большая страна. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bigcountry.ru/page1.php?idm=93> (дата обращения: 22.03.17).
- [3] Омский Городской Портал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.biletomsk.ru/c/sights-omsk/dravert/> (дата обращения: 24.03.17).
- [4] По-Сибири — Большереченский район Омской области. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://posibiri.ru/bolsherechenskij-rajon-omskoj-oblasti/> (дата обращения: 24.03.17).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. А. Езикеева, магистр, e-mail jesikeewa_94@mail.ru.
О. А. Иванова, магистр, e-mail olya_tiffany@mail.ru.



УДК 504.75

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЗАО "ЗАВОД СИБГАЗСТРОЙДЕТАЛЬ" Г.ОМСК И МОДЕРНИЗАЦИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

К. П. Мичиняну¹, С. А. Мичиняну²¹*Омский Государственный Технический Университет, г. Омск, Россия*²*Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия*

Анотация. – Проведен анализ современного состояния очистных сооружений и осуществлено оценки эффективности очистки сточных вод ЗАО "Завод СибГазСтройдеталь" г. Омск от нефтепродуктов. Рассмотрены их системы водоснабжения и водоотведения, системы механической, физико - химической и биологической очистки сточных вод. Представлено, что на действующих предприятиях степень очистки сточных вод не достигает установленных нормативных показателей. Усовершенствована технологическая схема очистки сточных вод производственных процессов от нефтепродуктов. Разработана технологическая схема совершенствования очистных сооружений.

Ключевые слова – экологическая безопасность, защита окружающей среды, загрязнение, нефтепродукты, сточные воды, очистные сооружения.

І. ВВЕДЕНИЕ

Экологическая проблема загрязнения гидросферы сточными водами становится все более актуальной во всем мире, в том числе и в России. Наибольшая экологическая опасность сточных вод связана с присутствием в них тяжёлых металлов, нефтепродуктов, различных химических соединений, а также патогенных и условно-патогенных микроорганизмов.

В современных условиях водоема, которые находятся в зоне влияния ЗАО "Завод СибГазСтройдеталь" находятся под интенсивным техногенным воздействием, которое сопровождается изменением гидрогеологического, гидрохимического и гидробиологического режимов.

Поэтому оценка и совершенствование работы очистных сооружений ЗАО "Завод СибГазСтройдеталь"», которые сбрасывают свои сточные воды в поверхностные воды, является весьма актуальной проблемой, поскольку качество поверхностных вод напрямую зависит от эффективности их работы.

Целью данной работы является оценить эффективность очистки от нефти на ЗАО "Завод СибГазСтройдеталь" г.Омск и и внесение предложений по повышению эффективности очистки промышленных сточных вод производственных процессов от нефтепродуктов.

ІІ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обезвреживание сточных вод на действующих нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) в большинстве случаев не достигает требуемой степени очистки. Поэтому актуальным является вопрос очистки промышленных сточных вод от различных загрязнений.



Эффективная и качественная очистка сточных вод является необходимым условием сохранения чистоты водных объектов. Однако на существующих очистных сооружениях не всегда удается достичь необходимого качества очистки.

В этой связи представляется важным рассмотреть основные методы и модернизации очистки промышленных сточных вод производственных процессов от нефтепродуктов. Именно этой задаче и посвящена данная работа.

III. ТЕОРИЯ

Нефтепродукты представляют собой чрезвычайно сложную, изменяющуюся и разнообразную смесь веществ (низко- и высокомолекулярные насыщенные, ненасыщенные алифатические, нафтеновые, ароматические углеводороды, кислородные, азотистые, сернистые соединения, а также ненасыщенные гетероциклические соединения типа смол, асфальтенов, ангидридов) [1].

Сбросы недостаточно очищенных промышленных и бытовых сточных вод приводит к ухудшению качества воды, образованию токсичных соединений, взвесь, пленок на поверхности водоемов, нарушения или разрушения экосистем и другие последствия.

Среди веществ, загрязняющих океаны, моря, озера и реки земли, одно из первых мест принадлежит нефти и продуктам ее переработки. Количество нефтепродуктов, поступающих в Мировой океан по разным источникам оценивается в 5 – 10 млн. тонн ежегодно.

Основными источниками формирования экологической опасности являются предприятия добывающей отрасли нефти, системы перекачки и транспортировки, нефтяные терминалы и нефтебазы, хранилища нефтепродуктов, железнодорожный транспорт, и станции. Особенно токсичными компонентами нефти и нефтепродуктов является нафталин, метилнафталин, фенатрен и триметилбензол [2].

Нефтяные пленки нарушают обмен энергии, тепла, влаги между гидросферой и атмосферой. Под влиянием нефти происходят мутагенные изменения в организме, развивается.

Нефтепродукты обладают наркотическим действием на водные животные. Если после нефтяного загрязнения рыба и остается живой, то ее нельзя потреблять, ведь она обладает сильным нефтяной запах и неприятный вкус. Кроме того, в результате попадания в воду нефтепродуктов усложняются процессы фотосинтеза в воде, из-за прекращения доступа солнечных лучей, что, в свою очередь, также является причиной гибели растений и животных. Законодательство Российской Федерации выдвигает достаточно жесткие требования по содержанию нефтепродуктов в поверхностных водах, а также сточных водах [3].

Существующая схема очистки сточных вод НПЗ включает три ступени очистки:

- первой ступенью является механическая очистка (песколовки, нефтеловушки, радиальные отстойники) (Рис.1);
- второй ступенью является физико-химическая очистка (импеллерные флотаторы на I системе, установка Wetco на II системе);
- третьей ступенью является биологическая очистка (аэротенки, вторичные отстойники); – доочистка производится в буферном пруде [4].

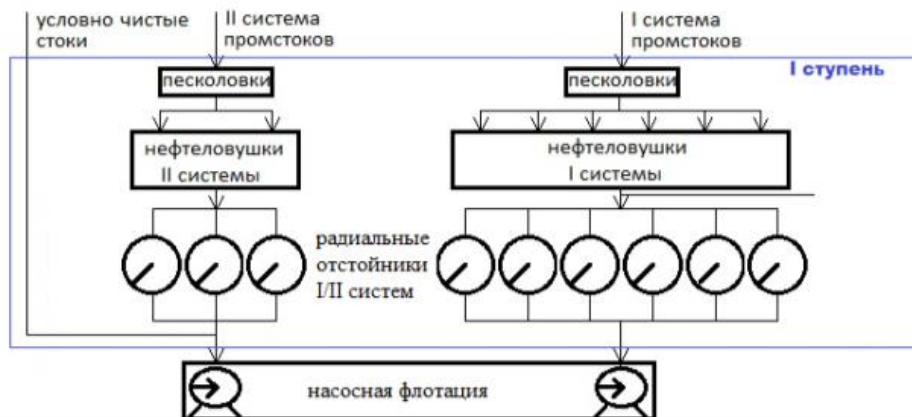


Рис. 1. Схема механической очистки очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Содержание нефтепродуктов в исходных сточных водах ограничивается, поскольку на очистных сооружениях эффективность их удаления не превышает 85 %. Предельно допустимая концентрация (ПДК) нефтепродуктов в бытовых и питьевых водах установлена на уровне 0,3 и 0,5 мг/дм³.

Содержание нефтепродуктов в сточных водах предприятий не должно превышать 10 мг/дм³. Даже незначительное превышение в воде реки веществ токсического действия, таких как нефтепродукты, способствует изменению ее трофности, увеличению водных объектов, соответствующих статусу гипертрофных. В таких водоемах наблюдается выпадение отдельных звеньев трофической цепи, что приводит к его укорочению, изменения морфологических и функциональных параметров компонентов биоценоза, нарушение взаимоотношений между организмами различных трофических уровней. Оценка эффективности очистки сточных вод от нефтепродуктов. Для обеспечения экологической безопасности предприятий по эксплуатации и ремонту техники очевидна необходимость исследования эффективности работы очистных сооружений этих предприятий [4].

Кроме того, следует помнить и о прямой экономической ущерб в результате попадания нефтепродуктов в воду, ежегодно оцениваются в миллиарды долларов.

Ежегодно в России образуются миллионы кубических метров сточных вод, загрязненных нефтепродуктами. Поэтому актуальным является поиск новых методов, материалов и технологий для очистки вод, которые позволят минимизировать поступления в гидросферы нефти и продуктов ее переработки. Для очистки сточных вод от нефтепродуктов используются механические, физико-химические и биологические методы очистки [3].

Для глубокой очистки загрязненной воды широко применяют адсорбционные методы очистки. В таком целевом использовании указанные методы имеют ряд существенных недостатков.

Химические методы предусматривают введение в воду химических реагентов. В результате химических реакций, которые происходят в процессе очистки, возможно образование токсичных веществ, чем исходные. Механические методы удаляют только нефть на поверхности и нефтешламы. Эмульгированная и растворимая нефть не изымается, поэтому такая очистки малоэффективно. Биологическое окисление можно эффективно использовать при низких концентрациях нефти в поверхностной воде, только в определенном интервале рН и температур.

Сорбционные технологии являются одним из самых перспективных и прогрессивных направлений водоочистки [2]. Преимуществом их является доступность, дешевизна, наличие достаточных сырьевых ресурсов, нетоксичность, высокая эффективность, возможность очистки сточных вод, содержащих сразу несколько загрязнителей. Адсорбенты подразделяются на: неорганические, синтетические, природные органические и органоминеральные. Все они сходны по своим сорбционными и другими характеристиками.

Используются как естественные материалы на растительном и минеральной основе (хлопок, торф, торфяной мох, опилки, древесная стружка, древесная мука, пенька, солома, глина, перлит и т.д.), так и искусственные синтетические на основе вискозы, гидратцеллюлозы, синтетических волокон, термопластичных материалов, пенополиуретана и т.п. [5].

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенный анализ методов сорбционной очистки воды от нефти и нефтепродуктов указывает на перспективы использования в этом процессе именно природных адсорбентов. Среди них: торф (поглощает от 3,5 до 9,8 кг сырой нефти), шерсть (один килограмм может поглотить до 8 – 10 кг нефти), опилки, мох, скорлупа подсолнечника, риса, гречихи, грецкого ореха, активированный уголь [3].

Также не менее перспективными в качестве адсорбентов являются продукты переработки сапропеля и лигнин [6]. Следует отметить, что в России есть все технические и технологические возможности, которые могут обеспечить производство адсорбционных материалов из растительных отходов, запасы которых с каждым годом пополняются. перспективность использования отходов агропромышленного комплекса для получения эффективных и недорогих адсорбентов обусловлена тем, что их основными химическими компонентами являются целлюлоза, лигнин, гемицеллюлоза, и экстрактивные вещества.

С целью повышения эффективности существующих очистных сооружений возникает необходимость модернизации механической очистки очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода. Возможная схема механической очистки сточных вод НПЗ в результате модернизации представлена на (Рис. 2) [4].

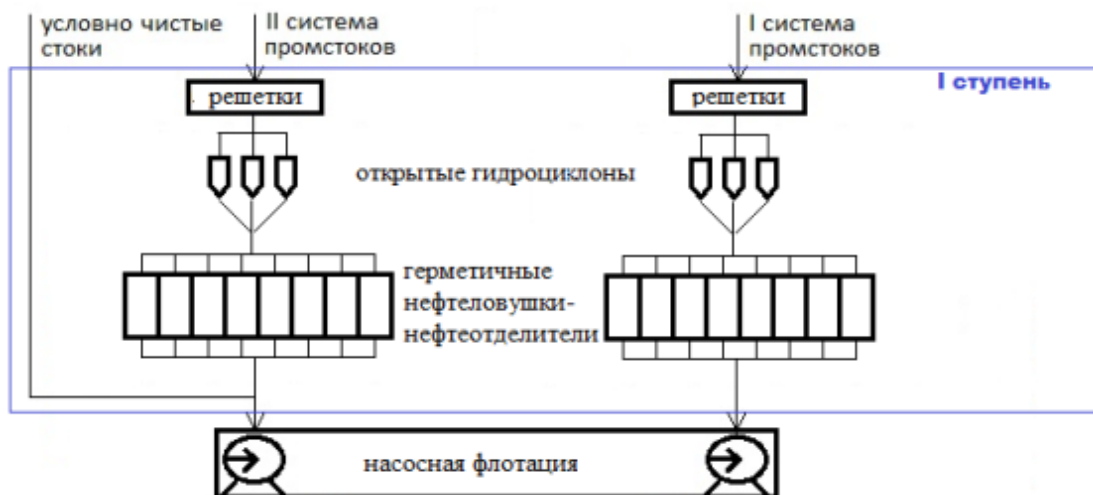


Рис. 2. Модернизированная схема механической очистки очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия



VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка эффективности очистки сточных вод ЗАО от нефтепродуктов свидетельствует о необходимости совершенствования производственного процесса и улучшения работы очистных сооружений.

Учитывая состав сточных вод ЗАО «Завод СибГазСтройдеталь» г.Омск разработана технологическая схема совершенствования очистных сооружений. Эффективность процесса очистки сточных вод от нефтепродуктов может быть интенсифицирована за счет использования нефтепоглощающих сорбентов вместе с препаратом с микроорганизмами-деструкторами. Разработаны мероприятия и предложены рекомендации по совершенствованию технологического процесса утилизации нефтесодержащих стоков на «Завод СибГазСтройдеталь» г. Омск позволят уменьшить содержание нефтепродуктов в среднем на 82 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Киреева Н. А., Кузяхметов Г. Г., Мифтахова А. М., Водопьянов В. В. Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв. – Уфа: Гилем, 2003. – 266 с.
- [2] Берне Ф.Ж., Кордонье Ж. Водоочистка. – М.: Химия, 1997. – 288 с.
- [3] Киреева Н. А., Водопьянов В. В., Мифтахова А. М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. – Уфа: Гилем, 2001. – 376 с.
- [4] Васина М. В., Стрельникова Н. В. Повышение эффективности механической очистки сточных вод очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия // Молодой ученый. — 2016. — №12. – С. 555 – 559.
- [5] Киреева Н. А., Новоселова Е. И., Ямалетдинова Г. Ф. Диагностические критерии самоочищения почв от нефти // Экология и промышленность России 2001 Декабрь.
- [6] Биология. Большой энциклопедический словарь / Гл. ред. М.С. Гиляров. – 3-е изд. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 864 с.

Сведения об авторах

К. П. Мичияну, бакалавр, e-mail michinyanu@ya.ru .

С.А. Мичиняну, магистрант кафедры экологии, e-mail snezhana.73@mail.ru



УДК 628.3

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С ОЧИСТКОЙ И УТИЛИЗАЦИЕЙ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ЭНЕРГЕТИКИ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

К. И. Беликова

Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной статье рассматривается современная проблема – загрязнение водных объектов сточными водами, проблема их очистки и утилизации. В связи с этим необходима модернизация очистных сооружений, введения на предприятия энергетики новых технологий. Приведены сравнительные данные по сокращению количества сброса сточных вод. Указаны возможные пути технического решения проблем очистки. Выделяются некоторые приоритетные направления по использованию и утилизации сточных вод, с указанием уже имеющихся объектов.

Ключевые слова – предприятия энергетики, очистные сооружения, сточные воды.

I. ВВЕДЕНИЕ

В связи с заметными изменениями в последние годы климатических условий, оказывающих влияние на перераспределение водных ресурсов, внимание общества все сильнее привлекает проблема состояния и использования водных ресурсов.

Подземные и поверхностные воды Сибири постоянно подвергаются отрицательному воздействию со стороны предприятий энергетики и жилищно-коммунального хозяйства. В Сибирском федеральном округе наибольшее загрязнение поверхностных вод наблюдается в Обь-Иртышском бассейне. Концентрация вредных веществ здесь превышает предельно допустимые нормы в несколько десятков раз [1, 2]. В связи с тем, что к установленным нормативам сброса сточных вод предъявляются повышенные требования, необходимо модернизировать имеющиеся на предприятиях очистные сооружения, а также внедрять новые технологии.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В 2014 г. была принята Государственная программа Российской Федерации № 326 «Охрана окружающей среды» на 2012 – 2020 гг. В рамках этой программы планируется выполнить подпрограмму «Регулирование качества окружающей среды», целевыми показателями которой являются: «Доля сбросов загрязненных сточных вод, приходящихся на крупнейших водопользователей, в общем объеме сбросов загрязненных сточных вод» и «Доля водопользователей, снизивших массу вредных (загрязняющих) веществ в сточных водах, в общем количестве проверенных водопользователей» [3]. К таким водопользователям относятся предприятия большой и малой энергетики, на которых имеющийся уровень очистки сточных вод недостаточен. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

III. ТЕОРИЯ И АНАЛИЗ

Эксплуатация тепловых электрических станций сопровождается появлением различных жидких отходов – сточных вод. Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод является основной причиной возникновения чрезвычайных



экологических ситуаций, вызванных периодическим накоплением в одной среде большого набора загрязняющих веществ.

Сточными водами на предприятиях энергетики принято считать: воды после охлаждения конденсаторов турбин, воздухоохладителей, прочих движущихся механизмов; растворы после консервации или химических очисток оборудования, обмывки воздухоподогревателей и водяных экономайзеров котлоагрегатов; сбросные воды из систем гидрозолоудаления (ГЗУ).

Составы вышеперечисленных стоков и их количества различны. Они определяются типом предприятия, его мощностью и установленным на нем оборудованием. Также следует учитывать вид используемого топлива, способ водоподготовки и состав исходной воды.

Анализируя данные за 2015 г. по городам Сибири, имеющиеся в открытом доступе, можно сделать следующий вывод: в целом сброс сточных вод уменьшился по сравнению с другими годами. Например, в Омской области объем загрязненных сточных вод, сброшенных в водные объекты в 2015 г., составил 139,41 млн м³/год и за пять лет в среднем уменьшился на 18,1 %. В Томской области в 2015 г. в поверхностные водные объекты было сброшено 282,09 млн м³ сточных вод, что на 85,11 млн м³ меньше, чем в 2014 г. [1, 2]. Уменьшение сброса было достигнуто благодаря приказам Нижне-Обского БВУ «Об установлении лимитов (предельных объемов) и квот забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и сброса сточных вод на период с 2015 по 2019 гг.» [4].

Для уменьшения сброса сточных вод в поверхностные воды наиболее актуально создание оборотных и повторно-последовательных систем водоснабжения. В этом случае необязательно проводить глубокую очистку стоков, достаточно довести их качество до уровня, которое будет соответствовать технологическим процессам.

Большое количество тепловых электростанций Сибири работает на твердом топливе, удаление шлака и золы на них выполняется гидравлическим способом, для этого необходимо большое количество воды и при этом, соответственно, образуется большое количество стоков. В таком случае будет уместно создание оборотных систем ГЗУ. Например, такая система работает на Томь-Усинской ГРЭС (г. Мыски, Кемеровская область). Система гидравлического золошлакоудаления – замкнутая, с оборотным водоснабжением. Осветленная вода поступает на насосную станцию осветленной воды, а от нее по напорному трубопроводу – обратно с систему ГЗУ.

Оригинальным примером успешной утилизации сточных вод может послужить мини-ГЭС, введенная в эксплуатацию в 2014 г., в пос. Орловка Томской области [5]. В 2015 г. на этой мини-ГЭС, построенной в месте сброса сточных вод, было выработано 3 млн кВт·ч электроэнергии. Общий объем воды, проходящей через нее, – от 3,5 до 15 тыс. м³/ч.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы в отечественной энергетике проведена значительная работа по уменьшению количества сточных вод. Огромное влияние оказывают законы, требования которых постоянно повышаются. Но для выполнения модернизации или введения новых технологий требуется финансирование, и предприятия Сибирской энергетики не всегда находят спонсоров, государство должно быть заинтересовано и в этом. Стоит отметить, что регионы Сибирского округа активно интересуются опытом друг друга и готовы перенимать опыт. Кроме того, необходимо развивать



систему государственного мониторинга водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Доклад об экологической ситуации в Омской области за 2015 год. / Министерство природных ресурсов и экологии Омской области. – Ижевск: ООО «Принт-2», 2016. – 312 с.
- [2] Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2015 году». / Департамент природных ресурсов и охрана окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». – Томск: Дельтаплан, 2016. – 156 с.
- [3] Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 326 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Охрана окружающей среды" на 2012 - 2020 годы" [Электронный ресурс]: - URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=134258> (Дата обращения: 25.01.17)
- [4] Приказ Нижне-Обского БВУ «Об установлении лимитов (предельных объемов) и квот забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и сброса сточных вод на период с 2015 по 2019 гг.». [Электронный ресурс]: - URL: <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> (Дата обращения: 4.12.16)
- [5] Томская мини-ГЭС выработала 3 миллиона киловатт электричества за год. [Электронный ресурс]: - URL: <http://www.tvtomsk.ru/vesti/nauka/11551-tomska-mini-ges-vyrobotala-3-milliona-kilovatt-elektrichestva-za-god.html> (Дата обращения: 29.03.17)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

К. И. Беликова, магистр кафедры «Теплоэнергетика», Омский государственный университет путей сообщения, e-mail kseniya3_mart@mail.ru.



УДК 502/.504

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В ГОРОДЕ ОМСКЕ

В. А. Акимкина¹, А. Б. Саржанова²¹Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия²АО «Омская геологоразведочная экспедиция», г. Омск, Россия

Аннотация – Экологическая обстановка в Омске связана с величиной города-миллионника и наличием в нём большого числа крупных производств. В городе активно функционируют все виды транспорта: воздушный, речной, железнодорожный, автомобильный и трубопроводный. Это все оказывает интенсивное воздействие на природную среду, связанное с поступлением загрязняющих веществ в атмосферу, почву, поверхностные и подземные воды, что приводит к существенному ухудшению, как общей экологической обстановки, так и состояния здоровья населения. В воздухе города могут протекать химические реакции с образованием различных кислот, диоксида углерода, аэрозолей солей, альдегидов, органических кислот, перекисей и т.д.

Ключевые слова – контроль, загрязнение, анализ, выбросы.

И. ВВЕДЕНИЕ

Город Омск является крупнейшим населенным пунктом в Омской области, который занимает 0,4 % площади области и сосредоточил в себе 59,74 % всего населения (1 178 391 чел. – на март 2017 г.). Расположен в центральной части области по обоим берегам р. Иртыш, в месте впадения в него р.Оми. На него приходится более 90 % промышленного производства области. Омск входит в первую пятерку крупнейших промышленных центров России. Большинство промышленных предприятий размещается в зонах жилой застройки. В настоящее время наибольшая часть производства сосредоточена в северо-западной части города. Здесь располагаются предприятия нефтехимии, теплоэнергетики, полигоны промышленных и бытовых отходов, золоотвалы, очистные сооружения. [1]

II. ТЕОРИЯ

По объему выпускаемой продукции лидирует отрасль нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. В Омске работают такие гиганты индустрии, как АО «Газпромнефть – ОНПЗ», ПАО «Омкшина», ПАО «Омский каучук», ОАО «Омскхимпром», ОАО «Омсктехуглерод». На этих предприятиях производится более половины промышленной продукции области (более 400 видов продукции, в том числе дизельное топливо, бензин автомобильный, мазут, масла смазочные, бензол, этилен, синтетический каучук, шины, техуглерод и др.), сосредоточено 33,4% основных фондов, занято более 12,1 % всех работников промышленности.

Десятую часть объема продукции Омской промышленности производят предприятия машиностроения и металлообработки. Почти все они сконцентрированы в г. Омске. Более половины объема производства машиностроительной отрасли приходится на военно-промышленный комплекс (ВПК). Крупнейшими его предприятиями являются ПО «Полет», ПО «Завод транспортного машиностроения», ОМП им. П. И. Баранова, ОАО «Релеро», ПО «Сибирские приборы и системы», ПО «Иртыш», ОАО «Омскагрегат» и др. Ими выпускаются ракетно-космическая техника,



авиационные двигатели, гидроаппаратура, электроизмерительные приборы, микрокриогенные и сложные радиоэлектронные системы, радиорелейные станции, медицинская и бытовая техника [2].

Строительная база области объединяет 15 заводов железобетонных изделий, восемь – стеновых материалов, блоков, завод асфальтобетона и более 100 производств по выпуску кирпича. Основная часть этой базы находится в Омске. Наиболее распространенным строительным сырьем из местных ресурсов являются глина и песок, добываемый в основном из русла Иртыша. Цемент и щебень завозятся с Урала и Казахстана.

Легкая промышленность области включает в себя более 50 предприятий, которые можно объединить в пять основных групп: текстильная, швейная, кожевенная, меховая и обувная промышленность.

III. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Омск – крупный транспортный узел, ставший важным звеном в осуществлении транспортных коммуникаций. В городе активно функционируют все виды транспорта: воздушный, речной, железнодорожный, автомобильный и трубопроводный.

Высокая концентрация промышленных объектов в областном центре, их интенсивное воздействие на природную среду, связанное с поступлением загрязняющих веществ в атмосферу, почву, поверхностные и подземные воды, приводят к существенному ухудшению как общей экологической обстановки, так и состояния здоровья населения. [1]

Существующая в настоящее время система контроля качества атмосферного воздуха г. Омска ориентирована, в основном, на определение содержания отдельных химических веществ, набор которых диктуется выбросами конкретных источников загрязнения атмосферы (ИЗА). Однако загрязнение атмосферы города, особенно в районах нефтехимических комплексов, сопровождается образованием туманов, дымки, мглы, т.е. вещества находятся как в газовой, так и в аэрозольной форме. Эти явления обусловлены химическими и фотохимическими реакциями органических и неорганических примесей, в частности аминов, аммиака, углеводов, оксидов серы и азота, сероводорода и некоторых других веществ, содержащихся в факеле промышленных выбросов. Одним из факторов образования туманов являются выбросы влаги, тепла, пара.

В воздухе г. Омска, загрязненном газообразными выбросами нефтехимических комплексов и ТЭЦ, могут протекать химические реакции с образованием кислот (азотистой, азотной, сернистой, серной), диоксида углерода, аэрозолей солей, нитрозоаминов, нитроаминов, альдегидов, кетонов, органических кислот, перекисей, диоксида азота, сернистого и серного ангидрида.

IV. АНАЛИЗ

По данным Сибирского регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института в атмосфере г. Омска идентифицировано 81 вещество, принадлежащее к 12 классам органических соединений.

Синоптико-метеорологические условия, сочетание которых способствует созданию высоких уровней загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий в жилой зоне г. Омска:

- северо-западное и юго-восточное направление ветра;
- штиль, скорость ветра 0 – 2 м/с, 3 – 4 м/с;
- наличие приземной или приподнятой инверсии;
- туман;



– антициклон, в котором циркулирует одна и та же воздушная масса.

В период слабых ветров и штилей в районах расположения нефтехимических комплексов образуются промышленные туманы, дымка, мгла.

Критерием оценки высокого уровня загрязнения атмосферы, как правило, служит наличие туманов и сильного запаха промышленного происхождения.

По данным ГУ «Омский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями», уровень загрязнения воздуха в г. Омске, определяемый содержанием таких веществ, как формальдегид и бенз(а)пирен, характеризуется как очень высокий.

Качество поверхностных вод напрямую зависит от состояния водоохранных зон рек. В границах города Омска ширина водоохранной зоны для р. Иртыша изменяется от 500 до 2000 м, для р. Оми соответственно 50 – 100 м.

Анализ данных показывает, что 15,24 % территорий водоохранных зон рек Иртыш и Омь находятся под промышленными и гражданскими зданиями, дорогами, гаражами. Площадь под свалками, складами песка, карьерами, отстойниками, золоотвалами ТЭЦ составляет 5,63 %. Территория под зелеными насаждениями составляет всего лишь 2,34 % [1].

Наибольшую опасность для рек Иртыш и Омь представляют:

- выпуски сточных, ливневых, дренажных и прочих вод;
- санкционированные и несанкционированные свалки хозяйственных и промышленных отходов;
- пруды-отстойники золоотвалов Омских ТЭЦ, особенно золоотвала ТЭЦ-4, вторая секция которого расположена в прибрежной полосе на расстоянии 25 км от уреза воды р. Иртыша;
- дюкерные переходы городской канализационной сети через р. Иртыш (4 шт.) и р. Омь (3 шт.);
- подводный переход через р. Иртыш нефтепровода и продуктопровода;
- производственные базы промышленных предприятий, расположенные в водоохранной и прибрежной зонах.

V. Вывод

Сложившаяся экологическая обстановка – следствие значительного объема выбросов загрязняющих веществ от промышленных предприятий, сосредоточенных в основном в черте города (более 80 % от областных) и автотранспортных средств, выбросы от которых составляют более 60 % от общего их количества. Непрерывно возрастающий поток автомобильного транспорта ставит проблему защиты населения от его выбросов в разряд наиболее важных.

Из вышеперечисленных объектов чрезвычайную ситуацию и экологическое бедствие могут вызвать аварии на дюкерных переходах канализационной сети и нефтепровода, эксплуатируемых более 20 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] <http://www.omsktfti.ru/userinfo/ip1/615-tehnogennoe-vozddeistvie-2011.html> (Дата обращения: 29.03.17)
[2] Калужский М. Л., Сараев А. Р. Экономика Западной Сибири: Омская область. – М.: ФГАУ ГНИИ ИТТ “Информатика”, 2012. – 697 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В.А. Акимкина, ассистент, кафедра Промышленная экология и безопасность, Инженер-эколог, e-mail fannyleech@mail.ru



УДК 665.75

СИНТЕЗ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. А. Якименко, Е. О. Реховская

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В данной работе разработана схема эффективного получения и использования возобновляемого источника энергии – биодизельного топлива (моноалкильных эфиров жирных кислот) в условиях Тюменской области. В результате разработана методика получения биодизельного топлива из растительного сырья, проведены испытания дизель-биодизель топливной смеси на тракторном дизельном моторе, сконструирован прототип устройства для синтеза, обоснована экономическая эффективность предложенной модели производства.

Ключевые слова – Возобновляемый источник энергии, энергетика, биодизельное топливо, физические характеристики.

И. ВВЕДЕНИЕ

Энергетика человечества на 80 % базируется на ископаемом топливе – нефти (35 %), угле (46 %) и газе (20,5 %). При этом моторное топливо (бензин и дизельное топливо) почти целиком получают из нефти. Ограниченность источников минерального сырья для производства топлива и невозобновляемость их в природе вынуждает искать новые источники энергии. В обозримом будущем достаточно серьезно встанет вопрос исчерпания минеральных ресурсов; предположительно через 40 – 60 лет закончатся нефтяные запасы, 70 – 90 лет до окончания газа и около 200 лет остается до исчерпания запасов угля. Также большое значение приобретает и резкие скачки цен на нефтяное сырье и продукты её переработки [1, 2]. Кроме того, немаловажно (а в некоторых случаях и приоритетно) учитывать загрязнение окружающей среды продуктами сгорания ископаемого топлива. И решение этих проблем видится в комплексной перестройке топливно-энергетического комплекса. В частности, во внедрении альтернативного топлива различного вида. Под понятием «альтернативное топливо» мы подразумеваем возобновляемый ресурс, который заменяет собой традиционные источники энергии, функционирующие на нефти, добываемом природном газе и угле, которые при сгорании выделяют в атмосферу углекислый газ, способствующий росту парникового эффекта и глобальному потеплению. Частным случаем альтернативного топлива является биодизель [3, 4].

Данная работа посвящена созданию комплекса по производству биодизельного топлива в достаточно жестких климатических условиях Северного Зауралья. Основной проблемой является недостаточное развитие производства возобновляемых источников топлива на территории Тюменской области. Одним из путей решения является внедрение биодизельного топлива в сектор сельского хозяйства региона.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для достижения поставленных целей необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику получения биодизельного топлива из растительного сырья (масло подсолнечное).



2. Провести испытание дизель-биодизель топливной смеси на тракторном дизельном моторе.
3. Описать логическую структуру производства и использования биодизеля в условиях Тюменской области.
4. Сконструировать и создать действующий прототип устройства для синтеза биодизеля в домашних условиях.
5. Обосновать экономическую эффективность предложенной модели производства.

III. ТЕОРИЯ

В основе разработки лежит процесс получения этиловых эфиров, которые обладают свойствами горючего материала. Для синтеза биодизеля были выбраны следующие реактивы – подсолнечное масло, этанол (C₂H₅OH) и катализатор (KOH). Молекулы растительного жира состоят из так называемых триглицеридов: соединений трехатомного спирта глицерина с тремя жирными кислотами [5 – 7]. В качестве основы была выбрана реакция переэтерификации триглицеридов масла с участием низкомолекулярных одноатомных спиртов (этилового спирта), что приводит в конечном итоге к образованию смеси моноалкильных эфиров жирных кислот и глицерина (Рис.1).

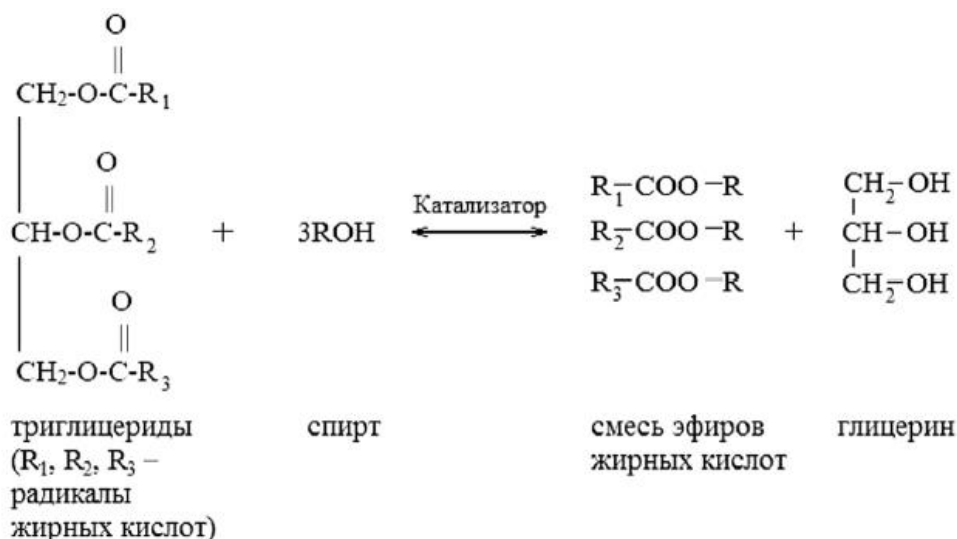


Рис 1. Уравнение реакции переэтерификации растительных масел

Именно моноалкильные эфиры жирных кислот и становятся в дальнейшем биодизельным топливом. Реакция переэтерификации протекает медленно, поэтому для её ускорения вводится катализатор (KOH). Данную методику получения биодизельного топлива возможно применить без внедрения дорогостоящего оборудования. Кроме того, в ходе исследования были найдены наиболее оптимальные с экономической точки зрения пропорции реактивов.

В качестве замены подсолнечного масла можно применять и уже использованное масло. Достаточно в процесс производства ввести дополнительную процедуру очистки масла от взвеси, к примеру, отстаиванием или фильтрацией.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Дальнейшая работа с полученным биодизелем заключалась в испытании его на реальном дизельном двигателе в условиях низких температур, так как основной этап проходил в декабре.

В качестве тестового трактора был использован Т-40АМ. Сформировано три смеси полученного биодизеля с арктическим дизельным топливом в соотношениях 30 %/70 %, 50 %/50 % и 70 %/30 %, соответственно. В результате получены данные испытаний экспериментальных смесей биодизельного топлива и арктической солярки (Табл. I).

ТАБЛИЦА I
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Диагностируемые показатели	Смесь №1	Смесь №2	Смесь №3	Контроль
Соотношение биодизеля и арктической солярки (V = 1л)	30% / 70%	50% / 50%	70% / 30 % объем	100% арктическая солярка
Устойчивость работы на холостом ходу при температуре – 10 ⁰ С	Уверенный пуск, устойчивая работа	Пуск со второго раза, устойчивая работа	Неустойчивый запуск (с 3-4 раза), двигатель постоянно глохнет.	Уверенный пуск, устойчивая работа
Устойчивость работы на холостом ходу при температуре – 5 ⁰ С	Уверенный пуск, устойчивая работа	Уверенный пуск, устойчивая работа	Неустойчивый запуск (с 3-4 раза), двигатель регулярно глохнет	Уверенный пуск, устойчивая работа
Субъективные ощущения от мощности мотора трактористом	Незначительная потеря тяги (до нескольких %)	Потеря в тяги мотора ощущается отчетливо.	Значительная потеря тяги (до 10-15 %), перебои в работе	Тяга стабильна и предсказуема.
Время работы на 1 литре топлива, мин (холостой ход)	8	5	4	9

Также было проведено сравнение основных физических характеристик полученного биодизельного топлива с традиционным арктическим дизельным топливом. Учитывались такие параметры, как плотность, температура кипения и удельная теплота сгорания. Удельная теплота сгорания измерялась по простой методике. В фарфоровой чашке сжигалось 5 мл топлива, которое нагревало 50 мл воды. Расчеты велись по формулам:

$$mQ = c \cdot m \cdot \Delta t \quad (1)$$

где Q – количество теплоты, полученное водой от сгорания топлива, Дж; c – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·К); m – масса воды, гр; Δt – разность конечной и начальной температур воды.

$$q = Q/m \quad (2)$$

где q – удельная теплота сгорания исследуемого образца топлива, МДж/кг; Q – количество теплоты, полученное водой от сгорания топлива, Дж; m – масса исследуемого топлива, гр.

Результаты исследования физических характеристик образцов топлива позволяют говорить о том, что по данным физическим показателям биодизельное топливо

обладает меньшей энергетической ёмкостью по сравнению с традиционной солярккой (Табл. II).

ТАБЛИЦА II
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВА

Физический параметр	Биодизельное топливо, 100%	Арктическая солярка
Плотность	830 г/мл	838 г/мл
Температура кипения	190 °С	220 °С
Удельная теплота сгорания	1,95 МДж/кг	2,12 МДж/кг

В результате проведенной работы предложен прототип устройства для производства биодизельного топлива (Рис. 2).



Рис 2. Прототип устройства для производства биодизельного топлива
(1 – бак на 4 литра для процесса переэтерификации; 2 – электромотор мешалки; 3 – механические приводы мешалки; 4 – блок питания для мешалки; 5 – кран для слива глицерина и промывки готового биодизеля; 6 – термометр для контроля температуры)

В результате проведенных испытаний и расчетов себестоимость 1 литра биодизеля составила порядка 30 рублей, розничная продажа дизельного топлива варьируется от 33,80 до 35,80 рублей за литр. Выгода составляет около 4 рублей с литра.

V. Выводы

1. Экспериментальными исследованиями найдено наиболее оптимальное соотношение ингредиентов, при которых выход биодизеля составляет около 86-87 %.

2. Биодизельное топливо может использоваться на автотракторной технике в зимний период.



3. В условиях Тюменской области использование биодизеля в качестве топлива (в смеси с дизельным) возможно в течение всего теплого периода года, а также вплоть до снижения суточных температур до -10°C .

4. Внедрение производства биодизеля на объектах АПК позволит экономить на каждом литре топлива от 3 до 12 рублей, что имеет большое практическое значение.

5. В рамках работы над проектом создан действующий прототип устройства, который предназначен для производства биодизельного топлива.

6. Планируется проведение дополнительных инструментальных исследований ходовых характеристик дизельных двигателей, которые работают на биодизельном топливе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Абросимов А. А. Экологические аспекты применение нефтепродуктов. – М.: Химия, 1997. – 489 с.
- [2] Булаткин Г. А. Оценка эффективности производства нетрадиционных и возобновляемых источников энергии // Вест. Рос. академии наук, 2009. Т.79, №7. С. 608 – 616.
- [3] Мановян А. К. Технология моторных топлив из альтернативных источников сырья. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 1998. – 108 с.
- [4] Федоренко В. Ф. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения. – М.: Росинформагротех, 2009. – 68 с.
- [5] Глинка Н. Л. Общая химия: учебник для бакалавров / Под ред. В. А. Попкова, А. В. Бабкова. – 18-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 898 с.
- [6] Справочник химика. Том 3. – Л.: Химия, 1965. – 1010 с.
- [7] Звонов В. А., Козлов А. В., Теренченко А. С. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив // Рос. хим. журн, 2008. № 6. С. 137 – 146.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Д. А. Якименко, бакалавр, e-mail: helena10_04@mail.ru

Е. О. Реховская, к.х.н., доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность», e-mail: helena10_04@mail.ru



УДК 504.062

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОМПЛЕКСНОГО ТИПА ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Ю. А. Козельская, И. Я. Горецкая, П. Е. Нор

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Проблема водоподготовки воды промышленного водоснабжения наиболее остро стоит в крупных индустриальных городах и небольших поселках, и в тех и в других используют воду, как теплоэнергоресурс для передачи тепла потребителю. В работе рассматривается возможность применения комплексных ингибиторов накипиобразования и коррозии, как самостоятельных элементов водоподготовки, без применения дополнительного оборудования, что приводит к повышению экономической и экологической составляющих процесса водоподготовки.

Ключевые слова – ингибитор, водоподготовка, метод.

I. ВВЕДЕНИЕ

Современные города не могут существовать без воды и электричества, именно поэтому невозможно представить современный мир без таких масштабных теплоэнергетических комплексов как ТЭЦ. Долгие годы и столетия водоподготовка не выделялась как отрасль техники и ещё менее – как отрасль химической технологии. Подготовка воды для промышленного водоснабжения принципиально отличается от других областей химической технологии: процессы водоподготовки протекают в больших объемах воды и при очень малых количествах растворенных веществ.

Так как на состав поверхностных вод существенное влияние оказывают сбросы сточных вод и различных отходов промышленных предприятий, в результате чего происходит загрязнение воды разнообразными химическими соединениями неорганического и органического характера, что отрицательно отражается на объектах теплоэнергетики, проблема водоподготовки наиболее актуальна, а значит постоянное совершенствование технологии подготовки воды и водно-химических режимов на котельных и ТЭС, становится первостепенной задачей [1].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей данного исследования является поиск путей наиболее качественной и оптимальной водоподготовки основного теплоносителя, а также выбор рационального водно-химического режима.

III. ТЕОРИЯ

Вода в теплоэнергетике играет ключевую роль, в том числе, как основной теплоноситель. Этот природный компонент широко применяется в паровых и водогрейных котлах. В процессе функционирования энергосистемы происходят потери, поэтому объем воды требует регулярного восполнения. Высокие тепловые нагрузки приводят к отложению различных солей на внутренних поверхностях агрегатов и трубопроводов. Эффективно бороться с предотвращением накипиобразования помогает водоподготовка, где природная вода подвергается



обработкам специальными физико-химическими, конструктивными и технологическими методами [1, 2].

Применяя качественную водоподготовку, как рациональный водно-химический режим обеспечивается:

- надежность, экономичность и безаварийность теплоэнергетического оборудования и тепловых сетей;
- обеспеченность предупреждения образования всех видов отложений и коррозионных повреждений на внутренних поверхностях теплоэнергетического оборудования, элементах трассы сетевой воды, включая отопительные приборы;
- экономия сжигаемого топлива, так как образующиеся отложения на поверхности нагрева обладают высоким термическим сопротивлением, что вызывает большие потери топлива.
- уменьшение сбрасываемых загрязнителей от теплоэнергетических объектов в биосферу, отрицательно влияющих на здоровье населения и окружающую среду (экологическая безопасность) [3].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Одной из основных причин внутренней коррозии систем теплоснабжения является присутствие в сетевой воде растворенных коррозионно-активных газов (кислорода и двуокиси углерода). Для их устранения на теплоэнергетических комплексах предусмотрена декарбонизация и термическая деаэрация. Но, в системах часто наблюдается повышение содержания кислорода и углекислоты. На ТЭС насыщение воды газами происходит при ее хранении в аккумуляторах и из-за подсоса воздуха через сальниковые уплотнения насосов, работающих под разрежением. В теплосетях вода насыщается кислородом при завоздушивании системы и из-за присосов сырой водопроводной воды через неплотности подогревателей горячего водоснабжения. А на многих отопительных котельных деаэрацию вообще не проводят.

При невозможности избежать насыщения воды газами, защиту от внутренней коррозии могут обеспечить только реагенты, которые способны сформировать на поверхности металла пассивирующую защитную пленку, непроницаемую для коррозионно – агрессивных газов и ионов. Поэтому в качестве наиболее качественного и оптимального пути подготовки воды предлагается применять комплексные ингибиторы, которые имеют ряд преимуществ перед способом умягчения воды [3, 4].

В основе данного подхода лежит применение химических реагентов, таких как поверхностно-активные вещества, вводимых в испаряемую воду в очень малом количестве (1...20 мг/дм³), поэтому реакция реагентов с примесями воды не будет играть существенной роли.

В качестве химического реагента рекомендуется использовать комплексный ингибитор накипиобразования и коррозии. Такой ингибитор обладает антинакипным, антикоррозионным и диспергирующим действием, что позволяет существенно удешевить и упростить монтаж дозирующего оборудования, исключить дозирование нескольких реагентов с индивидуальными узлами дозирования, то есть дозируется один реагент с использованием лишь одного узла дозирования. Доза реагента добавляется в подпиточную воду пропорционально величине подпитки. Используемый реагент имеет повышенный уровень экологических характеристик по отношению к окружающей среде и здоровью человека.

Механизм ингибирования коррозии комплексных реагентов состоит в образовании пассивирующей адсорбционной пленки на поверхности металла, состоящей из



полиядерных фосфонокарбокислых комплексов железа и кальция. Компоненты, входящие в такие ингибиторы способны встраиваться в структуру оксидного слоя на поверхности металла, постепенно уплотняя и упрочняя его, это обеспечивает мало проницаемость для коррозионно-агрессивных ионов и кислорода. Дозируемое количество в воду ингибитора, зависит от жесткости исходной воды и температуры подогрева сетевой воды [4].

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В случаях подготовки воды соответственно нормативам качества подпиточной и сетевой воды с условием использования установок умягчения и деаэрации, чаще всего не получается избежать образования отложений на теплообменном оборудовании. Для этого необходимо проводить дополнительные химические промывки или механические чистки оборудования.

При длительном применении комплексных реагентов необходимость таких промывок и дополнительной консервации теплообменного оборудования снижается и сводится практически к нулю.

Эффективность предлагаемых к применению присадок обусловлена тем, что вследствие их большой поверхностной активности кристаллизация накипобразователей на поверхности нагрева резко снижается. Поверхностно-активные вещества адсорбируются в виде мономолекулярной пленки на поверхности зародышевых кристаллов, препятствуя росту кристаллов, или затрудняя адгезию их на поверхности [2 – 4].

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Водоподготовка очень важна в теплоэнергетике. В ходе этого процесса из жидкости удаляются все вещества, способные повредить агрегатам. Игнорируя подготовку воды для парового котла, можно сильно снизить производительность аппарата и подвергнуть его риску, способствуя, тем самым выходу его из строя раньше конечного срока эксплуатации. Соединения, обуславливающие жесткость (ионы жесткости) при нагревании выпадают в осадок, закрепляются на стенках труб и котлов. Накипь имеет низкие показатели теплопроводности и будет способствовать разрушению металла.

Очистка воды в системе отопления также играет важную роль. Например, такая неподготовленная вода способна разрушить элементы комплекса и значительно повысить расход энергоресурсов. Для экономии ресурса и продления сроков службы оборудования, необходимо применять специальные очистные устройства и проводить процедуры водоподготовки воды.

Использование современных технологий водоподготовки обеспечивает рациональное использование водных и энергетических ресурсов при простоте и надежности в эксплуатации.

Примером комплексного ингибитора, который обладает перечисленными выше свойствами можно назвать ингибиторы серии Акварезалт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гужулев Э. П., Шалай В. В., Гриценко В. И., Таран М. А. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике. – Омск: ОмГТУ, 2005. – 384 с.
- [2] Лапотышкина Н. П., Сазонов Р. П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. М.: Энергоиздат, 1982. – 201 с.
- [3] Инструкция по эксплуатационному анализу воды, пара на тепловых электростанциях. М.: СПО «Союзтехэнерго», 1979. – 12 с.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



[4] Реагенты для коррекционной обработки воды «Акварезалт» // Сайт Water technology laboratory (<http://wtlspb.ru/produksiya/akvarezalt/>) [Дата обращения 31.03.2017]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ю. А. Козельская, магистр ЭРСм-161, e-mail: nor@omgtu.ru

И. Я. Горецкая, магистр ЭРСм-161, e-mail: nor@omgtu.ru

П. Е. Нор канд. хим. Наук, доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность» e-mail: nor@omgtu.ru



УДК 621.43: 661.175.5: 504.5

МЕТОД УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

И. П. Залознов, М. Д Савчук

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – в статье рассмотрены вопросы утилизации автомобильной охлаждающей жидкости, обладающей высоким уровнем токсичности. Цель работы заключается в создании метода безопасной утилизации отработавшей охлаждающей жидкости. Предложен метод термической деструкции за счет дозированного введения порций отработавшей охлаждающей жидкости к топливно-воздушной смеси двигателя внутреннего сгорания. Необходимо оценить влияние добавляемой охлаждающей жидкости на эксплуатационные свойства двигателя, а также разработать схему системы, позволяющей утилизировать охлаждающую жидкость с использованием двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова – Утилизация, охлаждающая жидкость, рабочие процессы

1. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире с каждым годом производится все большее количество автомобилей, что связано с интенсивным ростом экономики и технического потенциала общества. Вместе с ростом производства и эксплуатации автомобилей растут и экологические проблемы. Основными проблемами вредного влияния автомобильного транспорта являются выбросы отработавших газов, а также утилизация отработанных жидкостей автомобиля. На сегодняшний день существует ряд способов уменьшения количества и токсичности отработавших газов, среди которых изменение конструкции, рабочего процесса, технологии производства и специального регулирования двигателей внутреннего сгорания и их систем, применение другого вида топлива или изменение физико-химических свойств топлива, очистка выбросов от токсичных компонентов с помощью дополнительных устройств, замена традиционных двигателей новыми малотоксичными силовыми установками. Вопросы утилизации отработанных масел также широко изучены в теории и активно применяются на практике.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В нашей стране существует проблема утилизации отработанной охлаждающей жидкости. На сегодняшний день в России насчитывается более 50 миллионов автомобилей, каждый из которых имеет определенный объем охлаждающей жидкости (от 6 до 12 л), зависящий от конструкции автомобиля. Замена охлаждающей жидкости должна производиться каждые 2 – 4 года, в зависимости от рекомендаций производителя автомобиля. Таким образом, ежегодно должно утилизироваться порядка 75 млн л охлаждающей жидкости.

Большинство современных автомобильных охлаждающих жидкостей состоит из двух основных компонентов – воды и спирта (этиленгликоль или пропиленгликоль). Наиболее распространены жидкости на основе высокотоксичного этиленгликоля – многоатомного спирта, в очищенном виде представляющего собой прозрачную бесцветную жидкость без запаха слегка маслянистой консистенции



и имеющего сладковатый вкус. Реже используется пропиленгликоль, также многоатомный спирт, который обладает меньшей токсичностью и большей степенью кинематической вязкости, но имеет худшие теплоотводящие свойства и большую стоимость.

Существует ряд стандартов на охлаждающие жидкости: в России это ГОСТ 28084-89, в США – ASTM D3306, D4340, D4656, в Англии – BS 6580, во Франции – AFNOR NFR 15-601. Стандарты определяют характеристики жидкости: температуру начала кристаллизации, коррозионное воздействие на металлы, плотность, влияние на резину, устойчивость в жёсткой воде – и регламентируют испытания по их проверке. У большинства производителей автомобилей имеются собственные спецификации, в которых вместе с лабораторными тестами прописаны стендовые и пробеговые испытания. У АвтоВАЗа эта спецификация имеет название ТТМ 5.97.1172-2005, у Renault – 41-01-001/-S Type D, у Ford – WSS-M97B44-D, у Mercedes-Benz – 325.0 или 325.3, у концерна Volkswagen – система нормативов, которая нормирует жидкости по маркировке G11, G12, G12+, G12++ и G13.

Так как этиленгликоль токсичен, существует необходимость специальных технологий по утилизации отработанной охлаждающей жидкости. Наиболее распространенным способом утилизации жидкости является термическая деструкция. Основным недостатком данного способа является высокая энергоёмкость процесса, так как охлаждающая жидкость обладает высокой теплоемкостью. Также существуют технологии, которые позволяют применять способ разделения жидкостей на компоненты. После отстоя охлаждающей жидкости отделяют этиленгликоль методом прямой перегонки с применением вакуумных технологий [1].

В перечне предприятий, опубликованным министерством экологии и природных ресурсов Омской области не указаны организации, принимающие на переработку смазочно-охлаждающие жидкости. Таким образом, проблема утилизации отработанной охлаждающей жидкости в системе эксплуатации автомобильного транспорта является актуальной.

Известны методы добавки воды в топливно-воздушную смесь двигателя внутреннего сгорания. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по изучению влияния воды (как компонента топливовоздушной смеси) на рабочий процесс отражены в работах Антонова В. Е., Матиевского Д. Д., Сенчило В. В. и других. Вода в составе топливно-водных смесей позволяет снизить концентрацию оксидов азота и оксида углерода в отработавших газах, уменьшить возможность детонационного сгорания, повысить экономичность двигателя, а также мощность двигателя за счет более эффективной индикаторной диаграммы. Однако существенным недостатком таких систем является то, что в условиях отрицательных температур вода не может быть использована, так как в процессе замерзания переходит в твердую фазу, расширяется и повреждает элементы системы, что приводит к отказу.

III. ТЕОРИЯ

В качестве научной гипотезы предлагается оснастить двигатель внутреннего сгорания системой подачи отработанной охлаждающей жидкости, имеющей свойство замерзать при более низких отрицательных температурах.

Так как в составе охлаждающей жидкости также имеется спирт (этиленгликоль), то при его сгорании в цилиндре будет выделяться дополнительная энергия, что приведет к некоторому увеличению мощности и повышению топливной экономичности.

Для новой охлаждающей жидкости характерно следующее соотношение компонентов: 40 % воды и 60 % этиленгликоля [2]. Для отработанной жидкости значения, полученные на основе экспериментальной оценки, находятся в пределах 45 –70 % воды и соответственно 55 – 30 % этиленгликоля. Взяв за основу рекомендации [3] будем считать оптимальной добавку 10 % отработанной охлаждающей жидкости к топливовоздушной смеси. Зная удельную теплоту сгорания бензина $q_b = 44,0$ МДж/кг и этиленгликоля $q_э = 19,3$ МДж/кг определим количество теплоты, которое выделится при полном сгорании 10 кг бензина и 1 кг этиленгликоля. Полученное значение $Q = 449,7$ МДж позволяет оценивать дополнительную энергию от сгорания этиленгликоля в топливовоздушной смеси на уровне 2 %.

Для использования отработанной охлаждающей жидкости в качестве присадки к топливовоздушной смеси разработана схема подачи отработанной охлаждающей жидкости во впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания, представленная на рис. 1.

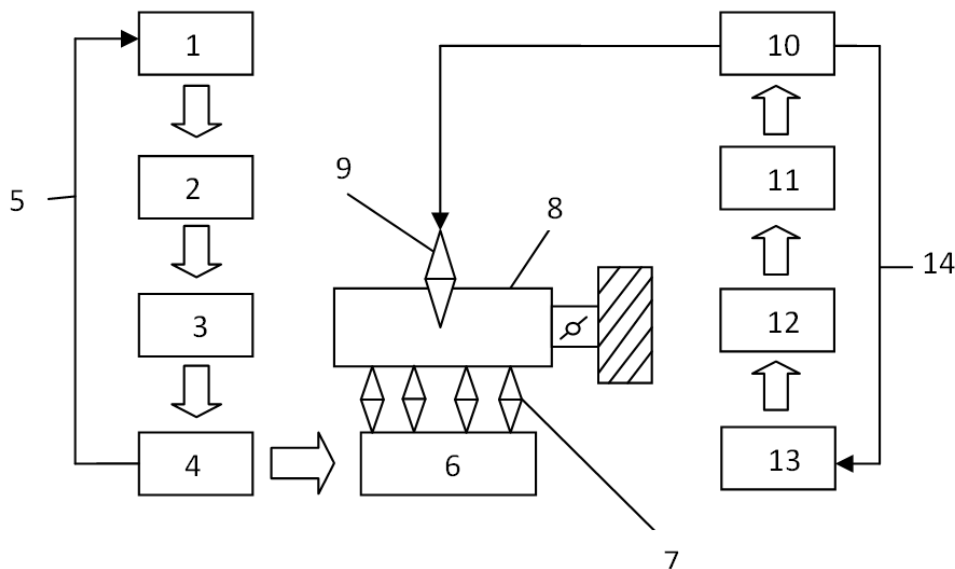


Рис.1. Схема системы питания с впрыском топлива и подачей отработанной охлаждающей жидкости

- 1 – топливный бак; 2,12 – топливный насос; 3, 11 – топливный фильтр;
4, 10 – регулятор давления топлива; 5, 14 – обратный трубопровод;
6 – топливная рампа; 7 – топливные форсунки; 8 – впускной коллектор; 9 – форсунка отработанной охлаждающей жидкости;
13 – ёмкость с отработанной охлаждающей жидкостью

Перед добавлением отработанной охлаждающей жидкости в топливовоздушную смесь жидкость необходимо подготовить. Для этого могут быть использованы стационарные отстойники, а также дополнительная система фильтрации жидкости перед подачей в двигатель.

IV. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение результатов данной работы в систему эксплуатации автомобилей позволит частично решать проблему утилизации отработавшей охлаждающей жидкости, а также повысит эффективность эксплуатации автомобилей за счет повышения эффективности работы двигателя внутреннего сгорания при дополнительной подаче водосодержащей жидкости к топливовоздушной смеси.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

ACTUAL ISSUES OF ENERGY



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Журавлев А. Б., Зарубин П. И., Орлова О. С., Измestьева Л. В., Шуб Г. А., Утилизация отработанного антифриза //Химия и технология топлив и масел, 1981, № 8. С. 16-18.
- [2]. ГОСТ 28084-89. Жидкости охлаждающие низкотемпературные. Общие технические условия. – Введ. 1990–01.07. – М.: Госстандарт СССР 1989.
- [3]. Бирюков, А.Л. Улучшение эксплуатационных и экологических показателей бензиновых двигателей путём применения топливно-водных смесей : дис ... канд. тех. наук – СПб,2011 – 177 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

И.П. Залознов, к.т.н., доцент, доцент каф. ГМиТМ, e-mail: i_zlz@mail.ru
М.Д Савчук, магистр 2 курса, e-mail: mixail.sav1993@yandex.ru



УДК 504.05

СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

Е. В. Лапова, П. Е. Нор

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – в работе представлен краткий аналитический обзор разработанных за период с 2011 по 2016 годы способов переработки и утилизации отходов от предприятий синтетических каучуков. Рассмотрены основные виды отходов, указаны их классы опасности. На основании проработки научных материалов определены наиболее значимые виды рециклинга отходов, производимых предприятиями синтетических каучуков. Сделаны выводы о необходимости внедрения в производство рассмотренных способов переработки и утилизации.

Ключевые слов – отходы синтетических каучуков, утилизация, переработка, повторное использование.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире существует проблема обращения с отходами производства и потребления. Отходы производства оказывают крайне отрицательное воздействие на состояние окружающей среды. Среди таких отходов значительную долю составляют отходы синтетических каучуков. Темпы производства и потребления изделий из синтетических каучуков быстро растут, что влечёт за собой накопление огромных объёмов отходов синтетических каучуков, подлежащих утилизации, уровень же их переработки при этом остаётся низким. Все увеличивающееся количество непригодных к употреблению отходов синтетических каучуков, подлежащих утилизации, отправляемых на пункты временного накопления или хранения, их незаконное сжигание или размещение в почве говорят о слаборазвитой сфере утилизации. За последние 7 лет прирост объема отходов синтетических каучуков, подлежащих утилизации в России составляет около 9 – 12 % в год, а рециклингу подвергается всего 1 – 2 % [4]. И в то же время в нашей стране разработано достаточное количество способов повторного использования отходов синтетических каучуков, подлежащих утилизации. Взятие на вооружение этих способов позволило бы значительно снизить нагрузку на полигоны захоронения отходов..

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача исследования заключалась в проработке материалов научных трудов, по поиску различных способов переработки и утилизации отходов синтетических каучуков, за последние пять лет.

III. ТЕОРИЯ

В связи с большими производствами и масштабами, предприятия синтетического каучука оказывают антропогенное воздействие на окружающую среду. Любой технологический процесс связан с образованием твердых, жидких (хозяйственно-бытовые, сточные воды) и газообразных (пыль, вредные примеси в атмосфере) отходов. Опасные твердые отходы представлены четырьмя классами опасности. Они требуют для своей переработки специальных технологических



процессов, которые обычно не предусмотрены на предприятиях такого типа. К твердым отходам, относятся:

– отходы каучука – коагулюм, образуется в процессах полимеризации, дегазации и выделения каучука, накапливается на внутренней поверхности аппаратуры и после тщательной дегазации от вредных газообразных и жидких продуктов, удаляется из нее. Относится к 4-му классу опасности.

– производственный мусор – отходы, образуются в процессе уборки территории и помещений, ремонта оборудования, подготовки ж/д вагонов и т.п. Относится к 4-му классу опасности.

Отходами основного производства являются каучуковые отходы, образующиеся при очистке технологического оборудования (полимеризаторов, колонн дегазации, емкостей для хранения и переработки латекса, отстойника крошки). Они собираются навалом на специальных бетонных площадках и накапливаются на них в количествах, не превышающих грузоподъемность автомобиля для вывозки. Отходы укрывают для предотвращения их разноса на промплощадках.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проработке материалов научных трудов по утилизации и рециклинга отходов предприятий синтетического каучука, были выделены следующие основные аспекты:

1. На основе отходов синтетических каучуков возможно создание более современных и эффективных строительных материалов. В частности, алюмосодержащие сточные воды, называемые мульмой, возможно использовать в бетонах в качестве жидкости для затворения. Это позволяет сократить потребление водопроводной воды, сократить время схватывания цементного теста на 40 %, увеличить прочность на сжатие бетонов в начальные сроки твердения в 4,3 раза по сравнению с прочностью на сжатие бетонов, приготовленных на воде [1, 2].

2. На основе отходов производства синтетических каучуков возможно синтезировать добавку пластификатор для бетонов ССФС (сульфированная смола фенольная сухая). Данная добавка имеет более низкую цену, по сравнению с другими добавками, а ее введение в состав бетона повышает его прочность и морозостойкость [6].

3. Пропитка древесно-волоконистых плит (ДВП) нефтеполимерной смолой, модифицированной отходом производства бутадиен-стирольных каучуков, позволяет улучшить водоотталкивающие свойства плитных материалов и повысить их прочность при изгибе [7].

4. Производство более дешевого, морозо- и водостойкого композиционного материала для изделий транспортного строительства с использованием стирол-содержащих полимеров, полученных из отходов производства синтетических каучуков [8].

5. Разработан инновационный технологический процесс утилизации отходов синтетических каучуков при изготовлении гидроизоляционных материалов. Качественным показателем разработанного материала является его долговечность, что позволяет использовать изоляционный материал по новому назначению – в основании полигона для размещения твердых коммунальных отходов, взамен латекса. Предложенный изоляционный материал обладает прочностью выше на 23 % относительно латекса [3, 4].

6. На современном рынке кровельных материалов для крыш все большим интересом пользуются кровельные мастики на основе модифицированного битума, так как нефтяные окисленные кровельные битумы марки БНК недостаточно удовлетворяют требованиям современных потребителей. В качестве модификатора рассматривают отход производства бутадиен- α -метилстирольного каучука. Это коагулюм, который по



химическому составу является бутадиен- α -метилстирольным каучуком, имеющим нетоварный вид и отличающийся значительной неоднородностью вследствие прикипания и прилипания к технологическому оборудованию. Модифицированный битум по эластичности превосходит немодифицированный битум в три раза. Использование коагулюма в качестве модификатора битумов позволяет не только утилизировать отход, но и уменьшить количество применяемого в этих целях товарного продукта (каучука) [5].

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На основании проведенного изыскания можно сделать вывод, что за пять лет разработаны следующие способы повторного использования отходов синтетических каучуков, подлежащих утилизации:

- производство более прочных и морозостойких бетонов;
- производство более прочных, при изгибе, ДВП с улучшенными водоотталкивающими свойствами;
- производство более морозо- и водостойкого композиционного материала;
- производство более прочного и долговечного изоляционного материала, используемого в основании полигона для размещения отходов;
- производство более эластичных модифицированных битумов.

V. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За 2011 – 2016 годы разработано немало способов повторного использования отходов синтетических каучуков, подлежащих утилизации. Но лишь некоторые из них взяты на вооружение промышленными предприятиями России. А ведь данные способы не только улучшают экологическое состояние окружающей среды, но и удешевляют конечный продукт, а также улучшают его физико-механические свойства. При существующей на сегодняшний день переполненности полигонов для размещения отходов просто необходимо внедрять в производство современные, более экологичные способы переработки и утилизации отходов производства, в общем, и отходов синтетических каучуков, в частности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Эмралиева С. А., Лукьянов А. В. Возможность применения отхода производства ОАО «Омский каучук» в бетонах. // Мат. 65-й науч.-техн. конф. «Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России», Омск, 28-30 ноября 2011 г. С. 126 – 130.
- [2] Эмралиева С. А. Исследование возможности утилизации твердых и жидких отходов в производстве мелкозернистых бетонов. // Мат. Междун. науч.-практ. конф. «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации», Омск, 07-09 декабря 2016 г. С. 1084 – 1088.
- [3] Горячева А. А., Дярькин Р. А., Полянская Е. А. Утилизация отходов синтетических каучуков в качестве изоляционного слоя полигона ТБО. // Журнал «XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс», 2014. № 5 (21). С. 208 – 212.
- [4] Горячева А.А., Дярькин Р.А. Инновационные решения в вопросах утилизации отходов синтетических каучуков. //Мат. III Междун. науч.-прик. конф. «Современные информационные технологии в управлении качеством», Пенза, 30 июня 2014 г. С. 62 – 65.
- [5] Химич Т. С., Кочетков А. Е. Исследование возможности использования коагулюма как добавки в составе гидроизоляционных смесей в кровельных материалах. // Мат. Междун. науч.-практ. конф. «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации», Омск, 07 – 09 декабря 2016 г. С. 1070 – 1073.



- [6] Семина И. С., Андрианов А. Ю., Чулкова И. Л. Влияние пластифицирующих добавок на морозостойкость бетонов. // Мат. Междун. науч.-практ. конф. «Архитектура, строительство, транспорт», Омск, 02 – 03 декабря 2015 г. – С. 555 – 560.
- [7] Дмитренко А. И., Филимонова О. Н., Никулин С. С., Вострикова Г. Ю. Модификация нефтеполимерной смолы из фракции С 9 отходами бутадиен-стирольного каучука и ее применение для защитной обработки ДВП.// Журнал «Известия высших учебных заведений. Лесной журнал», 2013. № 4 (334). С. 91 – 105.
- [8] Стородубцева Т. Н. Составы и механические характеристики композиционного материала для изделий транспортного строительства. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015. № 10 – 1. С. 43 – 45.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Е. В. Лапова, магистр ЭРСм-161.

П. Е. Нор, к.х.н., доцент кафедры ПЭиБ, e-mail nor@omgtu.ru



УДК 622.691.48

ВНЕДРЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПРИ РЕМОНТНЫХ РАБОТАХ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ

А. А. Толдыкина

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. – В данной статье предлагается решение задач, направленных на снижение потерь энергоресурсов и выбросов в атмосферный воздух загрязняющих веществ на магистральном газопроводе, также предлагается метод перекачивания природного газа, отключаемых на время ремонтно-восстановительных работ, далее по системе транспортирования газа. При этом для перекачивания газа применяется мобильная компрессорная станция (МКС), которая позволит в кратчайшие сроки вывести объект в ремонт и транспортировать газ из отключаемых участков дальше по газопроводу, с минимальным сбросом метана в атмосферный воздух.

Ключевые слова – эмиссия метана, мобильная компрессорная станция (МКС), ремонтные работы на магистральном газопроводе.

I. ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях высокого темпа развития газовой промышленности и роста удельного веса природного газа в мировом энергетическом балансе проблема увеличения антропогенного влияния выбросов в атмосферу метана, приобрела особую остроту и актуальность.

В процессе транспортирования газа на территории РФ и зарубежных стран ежегодно теряется от 6 % до 10 % объемов добытого газа, что способствует негативному влиянию на окружающую среду, а также влечет экономические потери.

Особую важность представляют выбросы метана, происходящие на различных этапах технологического процесса предприятий нефтегазодобывающего комплекса.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе большое внимание уделяется газовым трубопроводным сетям.

Большая часть эмиссии метана приходится на организованные источники загрязнения атмосферного воздуха, при этом ведущими источниками являются сбросные свечи (74 %), а остальная часть приходится на арматуру, включая линейные краны, вентили и задвижки.

Также в последнее время значительное внимание уделяется выбросам метана, происходящим в результате аварийных ситуаций на магистральных газопроводах.

III. ТЕОРИЯ

При проведении плановых ремонтных работ на трубопроводах и технологическом оборудовании объектов транспорта газа в атмосферу попадает большое количество природного газа, на 90 % и более состоящего из метана. Метан, в свою очередь, является признанным сильнодействующим парниковым газом с потенциалом глобального потепления. И по сравнению, например, с CO₂, метан в 23 раза эффективнее удерживает тепло в атмосфере земли, являясь, таким образом, основным виновником «парникового эффекта».

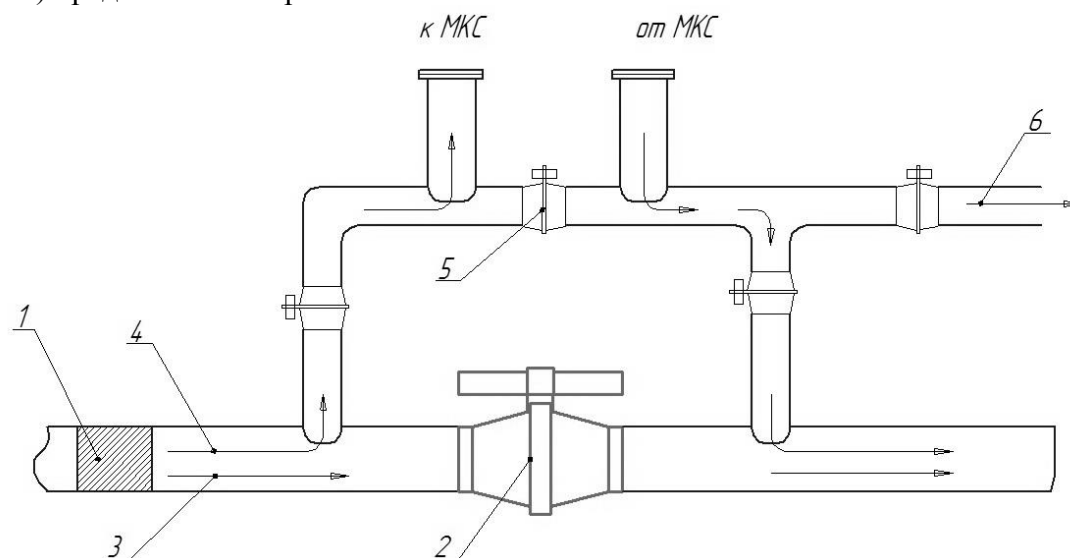
В результате проведения плановых или аварийных ремонтных работ на газовых трубопроводах количество стравливаемого газа постоянно увеличивается, поэтому возникает необходимость разработки и внедрения инновационной технологии ремонта трубопроводов исключающих эмиссию метана, с целью снижения негативного влияния на окружающую природную среду и для обеспечения экономического аспекта сохранения природного энергоресурса.

IV. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для решения данной проблемы предлагается применить мобильную компрессорную станцию (МКС), с помощью которой, газ из ремонтируемого участка газопровода будет перекачиваться через байпасную линию за отключающий линейный кран по ходу газа. Данный принцип, в основном рассчитан на плановые ремонтные работы, когда время для освобождения газа достаточно, в отличие от аварийных ситуаций.

Для подключения необходимо предусмотреть врезку двух тройников с фланцами (в перемычке между кранами обвязки) и дополнительного запорного устройства (между кранами).

Схема байпасной линии для подключения мобильной компрессорной станции (МКС) представлена на рис.1.



1 – участок МГ, освобождаемый от газа; 2 – линейный кран с крановой обвязкой; 3 – направление транспортируемого газа; 4 – направление газа перекачиваемого МКС; 5 – дополнительно установленный кран; 6 – газ на свечу.

Рис.1. Схема подключения МКС к байпасной линии

Предлагаемая схема позволит, вскрыть подземные газопроводы кранового узла, вырезать часть трубопровода (катушки), а на их место врезать тройники и дополнительный кран, без остановки транспорта газа, при условии герметичности запорной арматуры глиняными пробками на байпасной линии линейного крана.

В настоящее время российские и зарубежные предприятия занимаются разработкой мобильных компрессорных станций, специально предназначенных для перекачивания природного газа. В качестве примера, можно рассмотреть австрийскую мобильную компрессорную установку типа BS 604 (фирма-разработчик – ЛМФ, г. Леоберсдорф, Австрия). Общий вид представлен на рис.2.



Рис .2. Мобильная компрессорная установка ЛФМ типа BS 604

Внедрение мобильной компрессорной станции для перекачивания природного газа имеет ряд преимуществ:

- за счет мобильности, МКС могут передвигаться самостоятельно к месту проведения работ по автодорогам;
 - МКС использует в виде топлива перекачиваемый газ;
 - МКС не требуют для работы особой подготовки рабочей площадки.
- Всё это способствует проведению ремонтных работ в короткие сроки.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате применения данного способа уменьшается количество газа, поступающего в атмосферу, а сохраненный газ поступает непосредственно до потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Коршак А. А., Нечваль А. М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов : учебник. – Ростов н/Д:Феникс, 2016. – 540 с.
- [2] Волков М. М., Михеев А. Л. Справочник работника газовой промышленности –2-е изд. перераб. и доп. –М.:Недра,1989. – 286 с.
- [3] Котляр И. Я., Пиляк В. М. Эксплуатация магистральных газопроводов. – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Недра,1971. – 248.
- [4] Сайт: <http://www.lmf.su/Nashi-kompressory.187.0.html> –Леоберсдорфер Maschinen Fabrik RUS ООО (ЛМФ) [Дата обращения 31.03.2017]

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А.А. Толдыкина , магистр, e-mail anastasiyatoldykina@mail.ru .



УДК 620.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ТЕРРИТОРИИ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В. П. Белоглазов, Л. В. Белоглазова, А. В. Булова, В. В. Нечупаев, А. Е. Протасова,
С. В. Шлейко

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – тема актуальна в связи с серьезным уровнем загрязнения твердыми выбросами. **Цель:** оценить ситуацию с точки зрения энергетической экономики в Омской области. Задачами являются анализ вариаций использования альтернативных источников энергии в рамках Омской области; так же представлен обзор предложений омских научных исследователей для развития нетрадиционной энергетики. К методам исследования можно отнести поиск научных статей в базах данных. В результате анализа статей будут выявлены перспективные инновационные разработки. Данная статья заканчивается выводами относительно целесообразности применения тех или иных альтернативной энергетики.

Ключевые слова – ветроэнергетика, солнечная энергетика, биотопливо, Омск

I. ВВЕДЕНИЕ

В наши дни приобрел актуальность вопрос о переходе от традиционной энергетики к нетрадиционной [1]. Из-за этого уже можно говорить о перспективах их широкого применения, что является важным, поскольку запасы невозобновляемых источников энергии ограничены. Так же, очень актуальным вопросом на сегодняшний день является экологическая обстановка в отдельных регионах страны, связанная с выбросами тепловых электростанций, работающих на органическом топливе. Оценив удельные выбросы продуктов сгорания при факельном сжигании газа, мазута и угля, можно сделать вывод о величине загрязнения страны [2]. Далее детально рассмотрим экологическую ситуацию в Омском регионе и потенциальные альтернативные источники энергии, а также возможности их использования на территории Сибири. Т.к. каждый регион имеет свои особенности, необходимо в каждом из них подходить как к частному случаю, в котором важно проанализировать географическую зону расположения, оценить эффективность каждого из возобновляемых ресурсов и переходить к оценке экономической целесообразности внедрения [3]. Постановка задачи данной статьи включает в себя анализ всех ныне существующих вариантов альтернативных источников энергии и возможности их применения в Омском регионе.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В первую очередь, задачей является анализ существующей литературы, научных статей по проблеме перехода традиционной энергетики Омского региона на нетрадиционную, обладающую рядом преимуществ. Например, такие как наименьшее загрязнение окружающей среды и использование неиссякаемых (возобновляемых) источников энергии. Во-вторых, необходимо произвести анализ целесообразности применения всех упомянутых в статье возобновляемых источников в целях получения электроэнергии.



III. ТЕОРИЯ

Биоэнергетика – наука, исследующая преобразование энергии биомассы, биогаза и продуктов переработки биомассы в прочие виды энергии. Один из перспективных источников возобновляемой энергии – это биомасса. Ее основными отличительными чертами являются большой энергетический потенциал и легкая возобновляемость [4].

Вообще определение «биомасса» объединяет различные органические вещества растительного и животного происхождения, которые пригодны для переработки. Существует 3 вида биотоплива: 1) жидкое; к нему можно отнести этанол, метанол, биодизель; 2) твердое; например: дрова, солома; 3) газообразное; такое как биогаз и водород.

К самым энергопотенциальным источникам (биотопливу) можно отнести сосновые иглы, как отходы ЛПК; твердый осадок сточных вод, относимый к ТБО и канализационным стокам и трава, как отход растениеводства. Все вышеперечисленные виды биотоплива имеют максимальный по отношению к другим процент содержания метана, у них он колеблется 68 – 72 % [5].

Ветроэнергетика является отраслью энергетики, которая связана с преобразованием энергии ветра в механическую, тепловую и электрическую энергию.

Общая мощность энергии ветра на земном шаре оценивается в $2,43 \cdot 10^{15}$ МВт. Согласно оценке организации «Green peace» человек способен получить 530 000 ТВт·ч энергии в год за счет энергии ветра [6].

Солнечная энергетика – область энергетики, связанная с преобразованием солнечной энергии в электрическую и тепловую энергию.

От Солнца к Земле поступает огромное количество энергии – 123 трлн. т у.т. в год – что в 3000 раз больше, чем энергия, получаемая из всех видов топлив. Использование 0,0125 % от поступающей энергии Солнца могло бы обеспечить текущие потребности энергетики всех стран [7].

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Анализ научно-исследовательских работ и учебных пособий, позволил выявить перспективы использования солнечной энергии в г. Омск. Характерным для Омска и Омского региона является то, что солнце в данной местности движется как бы вокруг объекта, набирает наибольшую высоту, оставаясь на ней в течение дня, и опускается к вечеру. В ходе проведенных исследований было показано, что в день зимнего солнцестояния (22 декабря) продолжительность дня в Омске равна 6 часам 48 минутам, а в день летнего солнцестояния (22 июня) долгота дня составляет 17 часов 08 минут. Учитывая эти данные можно сказать, что средняя продолжительность солнечного сияния составляет 2223 ч/год. Среднее годовое количество дней в Омске (без Солнца) равняется 57 из которых 47 дней зимние. Имея такие огромные запасы солнечной энергии и огромную длительность солнечных суток, Омск вполне пригоден для развития солнечной энергетики [8].

В настоящее время солнечные и ветросолнечные электростанции не носят массовый характер, однако количество потребителей с каждым годом увеличивается.

Основными потребителями таких электростанций являются: объекты, находящиеся в отдаленных районах, в которых отсутствует энергоснабжение; потребители, делающие значительные финансовые вложения, с целью экономии на традиционных ресурсах в дальнейшем, т.к. срок окупаемости систем составляет от четырех до двенадцати лет; энтузиасты – любители, интересующиеся новыми технологиями, и ищущие новые пути для решения проблем.



Так как в Омской области большая производительность солнечного сияния, а также средняя по России скорость ветра, некоторые авторы научных публикаций придерживаются комбинированного использования этих двух ресурсов. Как, например, статья про Горно-Алтайск, который относится к зоне высокой производительности солнечного сияния и также относится к средним скоростям ветра, где объясняется, что срок окупаемости данных установок порядка 8 лет, но учитывая нестабильность экономики в нашей стране, срок может сократиться. ООО Научно-производственная фирма «Энергия» занимается как раз разработкой новых технологических решений, связанных с внедрением альтернативных источников энергии в жизнь. В Алтайском крае разработчики сделали ветросолнечную станцию близ туристической базы отдыха, которая обеспечивает базу электроэнергией для освещения, питания бытовых приборов; горячее водоснабжение поддерживается благодаря солнечному коллектору; а также предусмотрена аккумуляция тепловой энергии. Это прекрасная альтернатива энергогенераторам, когда ЛЭП находится за много км до баз [9].

Таким образом, можно сделать вывод, что территория Омской области, вполне подходит для использования всех вышеперечисленных источников энергии (особенно солнечной энергии), поскольку располагает большим количеством незадействованных ресурсов, необходимых для выработки электроэнергии. Для осуществления этого необходимы значительные финансовые вложения и заинтересованность среди производителей и различных корпораций, а также среди потребителей. Ярким примером успешного внедрения альтернативных источников энергии в жизнь является деревня Бердянка в Азовском районе Омской области где вложив 11 миллионов закупили и запустили в работу автономную систему теплоснабжения, которая включает солнечные панели и специальные тепловые коллекторы, что в дальнейшем поможет существенно сэкономить владельцам на оплате за коммунальные услуги [10].

Наибольшее распространение в мире приобрела конструкция ветроустановок с тремя лопастями, вертикальной и горизонтальной осями вращения. Считается, что ветроустановки с вертикальной осью вращения обладают преимуществом в виде того, что для начала работы им необходимы очень малые скорости ветра. Но из-за трудностей с механизмом торможения подобные ветрогенераторы не приобрели широкого практического распространения в ветроэнергетике [11].

Энергия, производимая ВЭУ, зависит от диаметра лопастей ротора и скорости ветра. Ветроустановки мощностью 10 кВт могут произвести в год около 16000 кВт·ч, а мощностью 600 кВт – 130000 кВт·ч. Большая часть (90 %) установок имеет горизонтальную ось вращения двигателя и только 10 % – вертикальную.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Работа биогазовых установок возможна практически везде, где имеются в достаточном количестве органические отходы и энергетическая биомасса. На таких территориях как Черноземье, Краснодарский край, центральная Россия и юг Сибири вполне целесообразно организовывать выработку энергии из биомассы.

Но наиболее оптимальные для применения на территории Российской Федерации, в частности Омской области, являются разработки по производству биотоплива из микроводорослей и мицелиальных грибов. Производство биотоплива из технических культур (кукурузы, рапса и т.д.) нецелесообразно, согласно ряду факторов. Технические культуры занимают крупные площади для посева, по сравнению с микроводорослями и мицелиальными грибами. Так же они уступают в простоте их выращивания и производства биотоплива из них в дальнейшем [12].

Возможности применения ветроэнергетики на территории России не одинаковы. На карте ветровых ресурсов Российской Федерации, расположенной ниже, демонстрируется расположение ветроэнергетических ресурсов на высоте пятьдесят метров над уровнем земли. В соответствии с данной картой на территории Сибири среднегодовая скорость ветра пребывает в пределах от 3 до 5 м/с (Рис. 1), что позволяет эффективно использовать ветроэнергетику в регионе.



Рис.1. Карта ветровой энергии России

Также для построения ветроэнергетических установок подходят северные (г. Мурманск, Тикси) и восточные (Петропавловск-Камчатский, Хабаровск, Владивосток) регионы России со скоростью ветра более 5 м/с.

Для построения ВЭУ на территории Сибири необходимо учитывать большое количество природных факторов. Одним из важных факторов является рельеф. Омская область расположена на юге Западно-Сибирской равнины в среднем течении Иртыша, из этого следует, что местность относительно плоская, с преобладающими абсолютными отметками 100 – 140 м.. Учитывая, что в Сибири среднегодовые скорости ветра редко превышают пределы 4,5 – 5 м/с : можно прийти к выводу, что для Омского региона наиболее предпочтительны ветроэнергетические установки малой мощности. Вместе с тем, ветроустановки с вертикальной осью вращения работают на меньших скоростях ветра (5 м/с), чем ветроустановки с горизонтальной осью (8 м/с). Основная задача данных конструкций – небольшая и непостоянная скорость вращения ротора, для решения которой, используются мультипликаторы, многополюсные генераторы и аккумуляторы энергии.

Большую часть года, с сентября по апрель, в Омске преобладает ветер юго-западного направления, его периодичность 25 – 35 % за месяц. В летнее время преобладает северо-западный ветер 20 – 23 % за месяц, менее – северный 16 – 19 % и западный 15 %.

ТАБЛИЦА I
СКОРОСТЬ ВЕТРА В ОМСКЕ

	Средняя скорость ветра	
	За отопительный период	За три наиболее холодных месяцев
Омск	5	4,9

Средняя скорость ветра (Таблица 1) обладает очевидным годовым ходом. Во все времена года, помимо лета, отслеживаются пиковые средние месячные скорости ветра 4 – 5 м/с [13].

Скорости ветра в летнее время минимальные в году, и составляют менее 4 м/с. Используя приведенные данные можно сделать вывод, что для Омского региона наиболее подходит применение ветроэнергетических установок малой мощности с вертикальной осью вращения [8].

На территории России выделяется ряд регионов, которые являются наиболее пригодными для развития солнечной энергетики в нашей стране. Такими являются некоторые районы Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока в которых годовая солнечная радиация составляет около 1300 кВт·ч/м² (Рис. 2), Количество энергии в них превосходит значения для южных регионов России, именно поэтому в этих районах наиболее целесообразно использование установок для преобразования солнечной энергии [14].

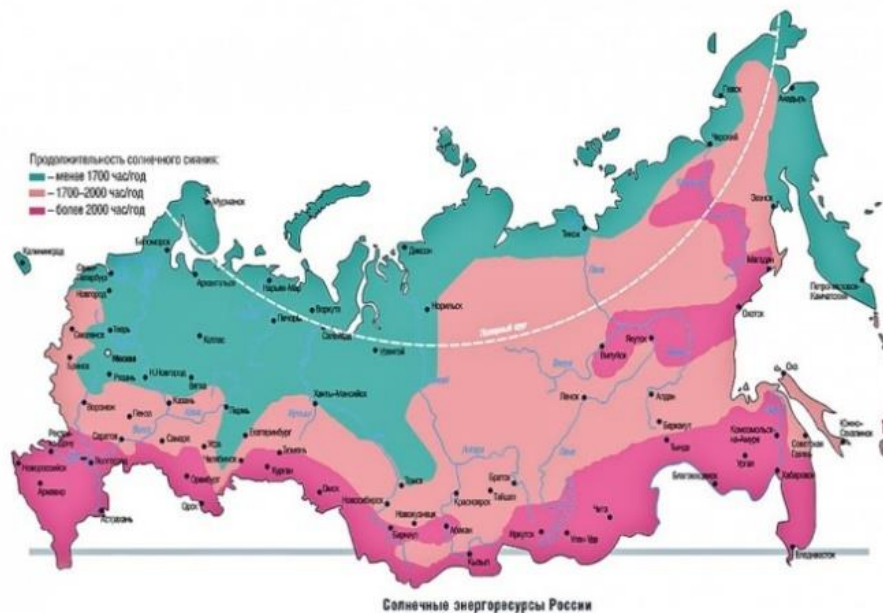


Рис. 2. Карта солнечных ресурсов России

Согласно карте солнечных ресурсов, солнечные электростанции целесообразно использовать в юго-, юго-восточной части России (г. Омск (Таблица 2) [15], Новосибирск, Иркутск и др.) где продолжительность солнечного сияния более 2000 час/год [16].

ТАБЛИЦА II
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Время, ч	82	122	192	249	290	318	299	252	191	97	71	60

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно сделать вывод, что территория России, в частности, Омская область, вполне подходит для использования всех вышеперечисленных источников энергии (особенно солнечной), поскольку располагает большим количеством незадействованных ресурсов, необходимых для выработки энергии. Для осуществления



этого необходимы значительные финансовые вложения и заинтересованность среди производителей и различных корпораций, а также среди потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гибилиско С. Альтернативная энергетика без тайн. – М.: Эксмо, 2010. – 368 с.
- [2] Данилов О.Л. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.
- [3] Трехлеб Е. Д. Альтернативные источники энергии // Современные Проблемы Инновационного Развития Науки. – Новосибирск: МЦИИ "Омега сайнс", 2016. Т. 2. С. 61 – 63.
- [4] Руди Д. Ю., Бубенчиков А. А., Бубенчикова Т. В. Перспективы применения биоэнергетики // Актуальные вопросы энергетики. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. – С. 181 – 184.
- [5] Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки – М.: Агропромиздат, 1987. – 152 с.
- [6] Альтернативная энергия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/581-plyusy-minusy-vetroenergetiki.html> (дата обращения 15.03.2017).
- [7] Альтернативные энергоносители/ Голицин М. В. [и др.]. – М.: Наука, 2004. – 159 с.
- [8] Возможность применения солнечной энергии на территории России и Омской области / Бубенчиков А. А. [и др.] – СПб.: Современная наука и практика, 2016. №4. С. 85 – 89.
- [9] Фомичев В. К., Церегородцева И. В. Использование оборудования, работающего на возобновляемых источниках энергии (солнце и ветре) в условиях Сибирского региона // Возобновляемая энергетика XXI Век энергетическая и экономическая эффективность 2016.–М.: ОИВТ РАН, 2016. – С. 177–183.
- [10] В Омской области открыли сельский клуб с отоплением на солнечных батареях [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Источник РИА Омскпресс: http://omskpress.ru/news/62625/v_omskoy_oblasti_otkrli_selskiy_klub_s_otopleniem (дата обращения 11.04.2017)
- [11] Ветроэнергетик / Год ред. Д. де Рензо, Перевод с англ. Зубарева В.В. и Дранкфурта М.О., под ред. Шефтера Я.И. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
- [12] Возможность применения биотоплива на территории России и Омской области/ Николаев М. И. [и др.] Екб: Современная наука и практика, 2015. №4. С.71 – 76.
- [13] Ветроэнергетика как источник электрической энергии / Бубенчиков А. А. [и др.] – Омск: Молодой Ученый. ООО «Издательство Молодой Ученый», 2016. – С. 35 – 38.
- [14] Использование солнечной энергии с целью замещения органического топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2013/pdf/4679.pdf> (дата обращения 15.03.2017).
- [15] Горбина Е. В. Оценка солнечного и ветропотенциала для построения гибридных электроустановок в городе Омск – Новосибирск: ООО "Центр развития научного сотрудничества", 2016. – С. 172 – 177.
- [16] Чуриков Д. А., Глухов С. В., Скачкова А. П. Оценка эффективности использования нетрадиционных источников энергии для теплоснабжения многоквартирных жилых домов в климатических условиях г. Омска // Теплофизические Основы Энергетических Технологий.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – С. 279 – 282.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

В. П. Белоглазов, к.т.н., доцент e-mail vpbn@mail.ru,
Л. В. Белоглазова, магистр, ассистент, e-mail teploblv@mail.ru,
А. Е. Простасова, студент, e-mail serg.sh_vl@mail.ru.
С. В. Шлейко, студент, e-mail serg.sh_vl@mail.ru.
В. В. Нечупаев, студент, e-mail vaduxa.97@mail.ru
А. В. Булова, студент, e-mail bulova97@mail.ru



УДК 502.55+504.61

ОСНОВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА В ПЕРИОД ЕГО РЕКОНСТРУКЦИИ

О. Ю. Жигарова

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – В статье рассматривается воздействие магистрального нефтепровода, расположенного на территории Красноярского края, в период его реконструкции на водные объекты, расположенные на территории выполнения работ. В частности выделены основные проблемы загрязнения воды, представлены и предложены мероприятия, необходимые для снижения и предотвращения негативного воздействия магистрального нефтепровода. По мере выполнения данных рекомендаций, соблюдении всех требований и норм безопасности, а также при правильном выполнении реконструкции объекта, воздействие на окружающую водную среду будет минимальным.

Ключевые слова – магистральный нефтепровод, водные объекты, загрязнение водной среды.

I. ВВЕДЕНИЕ

Исследуемый магистральный нефтепровод, протяженностью 8,294 км расположен на территории Красноярского края, при проведении работ по реконструкции он оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду, в частности на водные объекты. Для предотвращения наносимого вреда окружающей среде необходимо разработать мероприятия, которые будут применимы при проведении работ по реконструкции.

II. ТЕОРИЯ

Основными видами воздействия являются: передвижение строительной техники в зоне проведения реконструкции, а также образование строительных и бытовых отходов.

В частности, наибольшую опасность могут представлять собой дефекты нефтепроводов, не выявленные ранее методами неразрушающего контроля. Из-за их образования возможен разлив нефти или авария нефтепровода, что впоследствии может вызвать попадание нефти в водные объекты. Также загрязнение водной среды может возникнуть при хранении горючих смазочных материалов на площадке и в случае эксплуатации неисправной техники.

В производственных целях при реконструкции, а в дальнейшем и эксплуатации магистрального нефтепровода, вода используется для проведения гидравлического испытания. Для данных испытаний строится временный амбар-отстойник, куда сливается вода после гидроиспытаний. После отстаивания воды (не менее 8 часов) и отбора проб аккредитованной лабораторией вода сливается по временному трубопроводу обратно в реку. Перед сбросом воды необходимо предусмотреть проведение лабораторного контроля качества воды на соответствие установленным нормативам.

Для защиты поверхностных и подземных вод от загрязнения на период проведения реконструкции рекомендуется предусмотреть следующие мероприятия:



- осуществление работы в осенне-зимний период;
- размещение всех временных сооружений (склады, амбары для гидроиспытаний, стоянки, вагончики), обслуживание техники за пределами водоохранной зоны водных объектов;
- соблюдение правил выполнения работ в охранной зоне магистральных трубопроводов;
- исключить слив воды после гидроиспытаний в реку без отстаивания в амбарах.
- качество воды в амбаре-отстойнике должно соответствовать ее исходному состоянию, так как процесс испытаний происходит без изменения температуры и химического состава воды (эффективность очистки не менее 95 %).
- провести анализ воды лабораторией, а воду после отстаивания слить в водный объект.
- осадок, оставшийся после отстаивания в амбаре, вывести на специализированное предприятие по договору подрядной организации.
- амбары для гидроиспытаний разместить на строительной полосе за водоохранной зоной водных объектов. После опорожнения амбары засыпать местным грунтом, поверхность земли рекультивировать.

С целью предотвращения загрязнения воды, используемой для гидравлических испытаний, в процессе реконструкции необходимо принимать меры, которые исключат попадание внутрь трубопровода воды, снега, грунта и каких-либо посторонних предметов. Не допускается разгрузка труб на неподготовленную строительную площадку и волочение их по земле (для того, чтобы не повредить трубопровод). Предусмотрено эксплуатировать машины и механизмы в исправном состоянии, поэтому проливов нефтепродуктов быть не должно.

III. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге можно сделать вывод, что при правильном соблюдении предложенных видов мероприятий, в частности с применением амбаров-отстойников, с их правильной установкой, использованием и с дальнейшим их применением, воздействие на водную среду будет минимальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Федеральный закон от 10.01.2002 г. №7-ФЗ «Об охране окружающей среды»
- [2] Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ;
- [3] СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы.
- [4] ГОСТ 17.1.3.06-82. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

О. Ю. Жигарова, ассистент каф. «Промышленная экология и безопасность», e-mail: oksana_zhigarova@mail.ru



УДК 504.058

ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

М. Н. Кравец, М. В. Васина

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация – Вопрос очистки промышленных сточных вод от различных загрязнений является актуальным, так как в большинстве случаев промышленные очистные сооружения не достигают необходимой степени очистки. Важнейшим условием в решении этой проблемы является достоверный контроль за качеством очистки сточных вод. В данной работе проанализированы методы очистки сточных вод. Проанализирована эффективность механических методов очистки сточных вод на нефтеперерабатывающем предприятии. Выявлены недостатки работы очистных сооружений. Рассмотрены основные причины неэффективности механических методов очистки и сделаны выводы.

Ключевые слова – очистка, сточные воды, нефтепродукты, нефтеловушки, радиальные отстойники.

I. ВВЕДЕНИЕ

Очистные сооружения многих нефтеперерабатывающих заводов являются источниками загрязнения водных экосистем. Сточные воды, превышающие нормы требуемой степени очистки, сугубо влияют на окружающую среду. В таких водах содержатся нефтепродукты, фенолы, масла, азотсодержащие, серосодержащие и фосфорсодержащие соединения т.д. Основными загрязнителями сточных вод нефтеперерабатывающих заводов являются нефтепродукты и фенолы. ПДК нефтепродуктов в водоёмах питьевого и рыбохозяйственного назначения составляет 0,1 мг/дм³, фенола 0,25 мг/дм³. Поэтому актуальным является вопрос очистки сточных вод от этих загрязнений.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является оценка работы очистных сооружений на первой стадии очистки (механическая очистка) промышленных сточных вод нефтеперерабатывающего завода.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

Проанализировать литературные источники по методам очистки сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий.

Определить концентрацию нефтепродукта в сточных водах ПАО «Газпромнефть-ОНПЗ» на первой стадии очистки.

Определить эффективность механических методов очистки сточных вод от нефтепродуктов ПАО «Газпромнефть-ОНПЗ».

III. ТЕОРИЯ

Нефтепродукты являются основными загрязнителями сточных вод нефтеперерабатывающего комплекса. Очистные сооружения нефтеперерабатывающих заводов, как правило, состоят из трех стадий очистки. Первой стадией является механическая очистка (песколовки, нефтеловушки, радиальные отстойники). Второй стадией осуществляется физико-химическая очистка (флотация, ионный обмен,

коагуляция, деструктивные методы). Третьей стадией проводят биологическую очистку (азротенки, вторичные отстойники). Результаты очистки сточных вод на последней стадии напрямую зависят от эффективности механической очистки. В настоящий момент на Омском нефтеперерабатывающем заводе сточные воды разделены на 2 системы промышленных стоков. Механическая очистка I и II системы промстоков осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1.

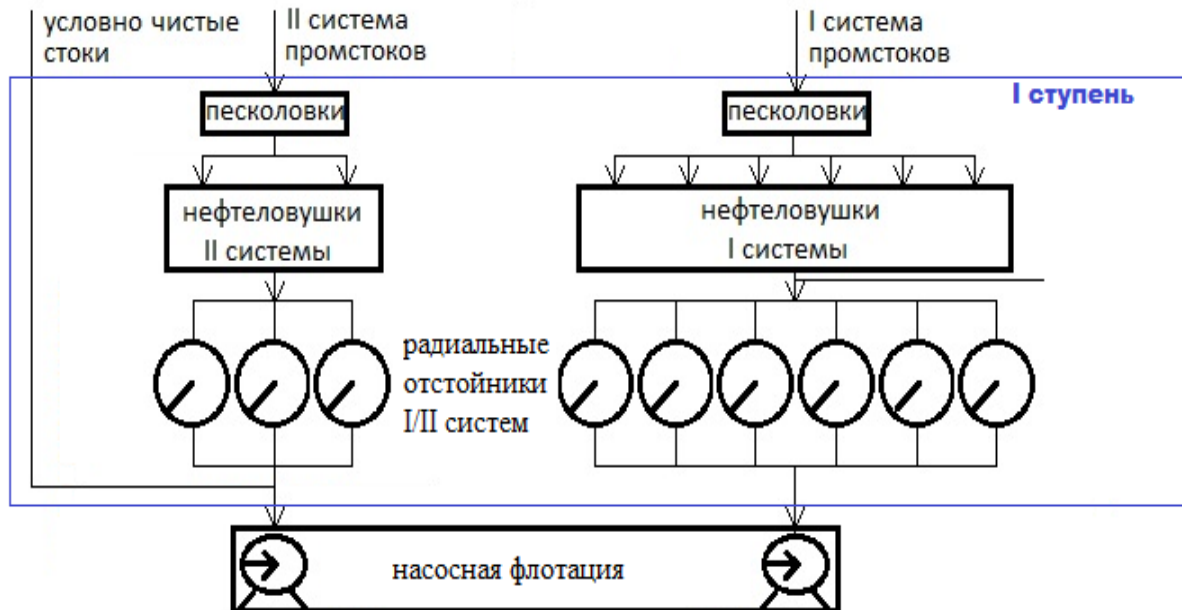


Рис. 1. Схема механической очистки очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия [1]

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

ТАБЛИЦА 1

Результаты исследований качества сточных вод I, II системы и оценка эффективности очистных сооружений НПЗ

Точка отбора проб	ПДК ₃ мг/дм	Среднее значение, мг/дм	Оценка эффективности %
I система			
Вход на нефтеловушки	2500	35487	99,4
Выход с нефтеловушек	200	195	
Вход на радиальные отстойники	200	195	9,0
Выход радиальных отстойников	200	178	
II система			
Вход на нефтеловушки	2000	4413	96,0
Выход с нефтеловушек	200	176	
Вход на радиальные отстойники	200	176	17,9
Выход радиальных отстойников	200	145	

Для оценки эффективности работы очистных сооружений отобраны и проанализированы образцы проб стоков при входе и выходе на каждой стадии очистки I и II систем. Результаты исследования проб воды, а также эффективность



механической очистки сточных вод и флотаторов I и II системы представлена в таблице 1.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам представленных в таблице 1, видно, что эффективность очистки сточных вод I и II систем нефтеловушками составляет 99,4 и 96,0 %. Таким образом превышение ПДК по нефтепродуктам в пробах I и II системы сточных вод на этой стадии не наблюдается. Но малая эффективность очистки радиальных отстойников I и II системы (9,0 % и 17,9 % соответственно), где контроль концентрации сточных вод осуществляется по нефтепродукту, говорит об обратном. Недостаточно эффективная работа нефтеловушек способствует попаданию нефтепродукта со стоками на радиальные отстойники, которые не способны очищать такие концентрации.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Таким образом, проанализировав данные полученные в ходе проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

Наибольшая концентрация нефтепродуктов в сточных водах наблюдается в промстоках I системы на входе на нефтеловушки, максимальное ее значение достигает 35487 мг/дм^3 , что в значительной степени превышает ПДК = 2500 мг/дм^3 .

На входе на нефтеловушки в промышленных стоках II системы также наблюдается превышение ПДК. Максимальное значение нефтепродуктов в этом случае составляет 4413 мг/дм^3 .

Эффективность очистки сточных вод по нефтепродукту на нефтеловушках I и II систем составляет 99,4 и 96,0 % соответственно.

Эффективность очистки радиальных отстойников I и II системы составляет 9,0 % и 17,9 % соответственно.

Возможной причиной не эффективной работы радиальных отстойников является нарушение технологического процесса, связанное с неэффективной работой нефтеловушек. Недоочищенные сточные воды попадают на радиальные отстойники, загрязняя их нефтепродуктами.

С целью повышения эффективности существующих очистных сооружений возникает необходимость модернизации механической очистки очистных сооружений нефтеперерабатывающего завода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Васина М. В., Стрельникова Н. В. Повышение эффективности механической очистки сточных вод очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия // Молодой ученый, 2016. №12. С. 555–559.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

М. Н. Кравец, бакалавр, студент e-mail: 89609949132@mail.ru

М. В. Васина, к.х.н., доцент кафедры «Промышленная экология и безопасность», e-mail: 89609949132@mail.ru

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Материалы Международной научно-практической конференции

(Россия, Омск, 17 мая 2017 года)

Ответственность за содержание материалов несут авторы

Компьютерная верстка *О. Г. Белименко*

Для дизайна обложки использованы материалы
из открытых интернет-источников

Подписано в печать 28.04.17. Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.
Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 25,5. Уч.-изд. л. 25,5.
Тираж 112 экз. Заказ 391.

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12.
Типография ОмГТУ