

ПОСТОЯННЫЙ КОМИТЕТ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Белорусский национальный технический университет
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА**

Сборник материалов секции

6 – 11 октября 2014 года

Минск
БНТУ
2014

УДК 620.9+621.311 (476:470+571)(06)
ББК 31(Бел+2Рос)я43
Э65

В сборник включены материалы секции «Энергетическая безопасность Союзного государства».

ISBN 978-985-550-658-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Хрусталева Б.М., Кундас С.П., Баитовой Е.Г., Пащинский В.А.</i> ПОДГОТОВКА КАДРОВ В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	7
<i>Доброго К.В., Хеммасиян Кашани М.М.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ БАШЕННЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН	10
<i>Романюк Ф.А., Ломан М.С., Шевалдин М.А.</i> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ	15
<i>Калиниченко А.С., Калиниченко В.А., Зелезей А.Е., Ракевич В.П.</i> НОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН	20
<i>Романюк В.Н.</i> К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ. ВЗГЛЯД В БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ И ОБОЗРИМУЮ ПЕРСПЕКТИВУ	22
<i>Фурсанов М.И., Макаревич В.В., Мышников Е.М.</i> ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ARRES ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38–10 кВ	29
<i>Ануфриев В.Н.</i> ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ	31
<i>Прокопенко Н.Н.</i> О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ И ИННОВАЦИОННОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ ДГТУ, ВУЗОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ, ЮГА РОССИИ И РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ	33
<i>Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В.</i> ОПЕРАТИВНЫЕ РАСЧЁТЫ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38–10 кВ ОЭС БЕЛАРУСИ	35
<i>Мурина А.Г., Ануфриев В.Н.</i> ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА СООРУЖЕНИЯХ С НИЗКИМИ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ	37
<i>Алексеев Ю.Г., Журкевич М.В.</i> НОВЫЕ МОДЕЛИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ	39
<i>Чумаков С.А., Малашин А.Н., Суходолов Ю.В.</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ	42
<i>Калинин А.Ю.</i> ПАТЕНТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ	47
<i>Каркоцкий Д.В., Малашин А.Н.</i> СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	50

<i>Варфоломеева О.И., Хворенков Д.А., Попов Д.Н.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ В КАНАЛАХ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ.....	55
<i>Жиров В.В., Сбойчаков К.О.</i> ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА: ПРОЕКТИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО КАК ТОЧНАЯ НАУКА.....	59
<i>Багликов А.С., Андрушкевич А.И., Адамюк О.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ	63
<i>Анищенко В.А., Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Колосова И.В.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕГРУЗОК МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ.....	65
<i>Поляков А.Л., Мисников В.А., Цыжжик В.С., Ерохин К.А., Мозговенко М.С.</i> ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ БЕЛАРУСИ.....	67
<i>Покотилов В.В., Жидович И.С.</i> СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ.....	70
<i>Левков К.Л.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ПОТОКА ПРИРОДНОГО ГАЗА	73
<i>Малашин А.Н., Менжинский А.Б.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА.....	75
<i>Медведева Е.А.</i> ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ НА РАЗВИТИЕ БРЕНДА РАБОТОДАТЕЛЯ В РАЗРЕЗЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ	78
<i>Червинский В.Л., Любчик О.А.</i> ВАРИАНТ СОЗДАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ.....	81
<i>Семененко К.И., Стогней О.В., Каширин М.А.</i> СТРУКТУРА И ПОРОГ ПЕРКОЛЯЦИИ ТОНКИХ ПЛЁНОК $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$	85
<i>Бутько Е.В., Буглак М.Ю., Сокол В.А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ КОРПУСА СУДНА.....	89
<i>Иванова-Швец Л.Н., Толкачева С.В., Гордыч Ю.С.</i> РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ.....	95
<i>Богомоллов А.В., Шайкин Д.В., Струков Г.Н., Малевич И.Х.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	100

<i>Трегубов И.М., Татьянакин Г.К., Гребенников А.А., Стогней О.В.</i>	
ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ $(Co_{40}Fe_{40}Zr_{20})_x(Al_2O_3)_{100-x}$.....	105
<i>Кулаков Г.Т., Кравченко В.В.</i>	
ФЕНОМЕН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ КАК ФАКТОР СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ГАРМОНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ	111
<i>Богомолова И.П., Василенко И.Н., Малевич И.Х.</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ СТРАТЕГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	112
<i>Магомедов М.Д., Домарев И.Е.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЯСОПРОДУКТОВОГО КЛАСТЕРА КАК НАПРАВЛЕНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	116
<i>Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Климкович П.И.</i>	
АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП НАПРЯЖЕНИЕМ 110–220 кВ	120
<i>Калентионок Е.В., Мазурек Ю.А.</i>	
ИНФОРМАЦИОННОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	121
<i>Зюбин И. А.</i>	
СТРУЙНЫЙ РАСХОДОМЕР-СЧЕТЧИК	123
<i>Ведяшкина А.В., Павлов И.Н., Сапронов М.В., Толкачев А.В.</i>	
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЕВ ЖИДКОСТИ ОКОЛО НАГРЕТЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКТОГРАФИИ.....	126
<i>Антонов А.А., Чо Г.Ч.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АСУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ И В ОБЛАСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ	130
<i>Рыженков А.В., Логинова Н.А., Беляева Е.В., Лапин Е.Е., Прищепов А.Ф.</i>	
ОБЗОР СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СИНТАКТНЫХ ПЕНАХ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ	133
<i>Матюнин В.М., Демидов А.Н., Марченков А.Ю.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА В ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЗОНАХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	146
<i>Антонов А.А., Гусев Ю.П., Трофимов В.А.</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСЧЕТА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	149
<i>Асташев М.Г., Рашитов П.А., Новиков М.А., Федорова М.И., Голодов А.В., Рожков А.Н.</i>	
ФАЗОПОВОРОТНОЕ УСТРОЙСТВО С ТИРИСТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	153
<i>Тягунов М.Г., Васьков А.Г., Абраменко Д.М.</i>	
ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ.....	155
<i>Капустина О.М.</i>	
КОМПЬЮТЕР В КУРСАХ МЕХАНИКИ И МЕХАТРОНИКИ В НИУ МЭИ: ОТ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДО АНИМАЦИИ.....	159

Лепанов М.Г., Киселев М.Г.

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЭНЕРГИИ..... 163**

Устинов В.Ф., Степанов А.С.

**РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ
УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ НАКАТОМ ГИБКИХ ЛЕНТ 168**

ПОДГОТОВКА КАДРОВ В ОБЛАСТИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Хрусталева Б.М.¹, Кундас С.П.¹, Баитовой Е.Г.¹, Пашинский В.А.²

¹*Белорусский национальный технический университет*

²*Международный государственный экологический университет им. А.Д. Сахарова*

В соответствии с Национальной программой «Развитие местных, возобновляемых и нетрадиционных энергоисточников на 2011-2015 годы планируется обеспечение за счет собственных энергоресурсов к 2015 г. не менее 30% потребления котельно-печного топлива (32% к 2020 г.).

Успешное решение указанных выше задач, связанных с обеспечением энергетической безопасности нашей страны, а также основных положений Директивы №3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства» Президента Республики Беларусь в значительной степени зависит от наличия высококвалифицированных кадров в этой области.

В Республике Беларусь организована подготовка специалистов в области энергосбережения и возобновляемых источников энергии на всех уровнях образования:

- на первой ступени высшего образования: инженер-энергомеджер;
- на второй ступени высшего образования: магистр возобновляемых энергетических ресурсов;
- кадры высшей квалификации: кандидат наук по специальности «Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии»;
- повышение квалификации по направлению «Возобновляемые источники энергии. Энергосбережение».

Для удовлетворения требований экономики страны в специалистах в области энергоэффективных технологий и энергосбережения в 1998 г. в БНТУ был разработан учебный план и стандарт специальности «Энергоэффективные технологии, энергетический менеджмент», в 2007 г. его новая редакция. В настоящее время разработан новый стандарт специальности с учетом 4-летнего срока обучения.

Согласно классификатору по данной специальности предусмотрены следующие специализации:

- Энергоэффективные технологии в энергетике;
- Энергоэффективные технологии химической промышленности;
- Энергоэффективные технологии в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве;
- Энергоэффективные технологии в агропромышленном комплексе;
- Энергоэффективные технологии в лесном комплексе;
- Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент на транспорте;
- Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов.

В настоящее время Республике Беларусь подготовка специалистов в области возобновляемых источников энергии и энергосбережения проводится следующими вузами:

- БНТУ (специализация «Энергоэффективные технологии в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве»);
- БГТУ (специализации: «Энергоэффективные технологии химической промышленности» и «Энергоэффективные технологии в жилищно-коммунальном хозяйстве»);
- МГЭУ им. А.Д. Сахарова «Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов».

Квалификация выпускников специальности «Энергоэффективные технологии, энергетический менеджмент» - «Инженер – энергомеджер».

Цикл дисциплин специализации «Энергоэффективные технологии в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве» включает:

- Теплообменные процессы и установки;
- Термодинамика реального газа;
- Энергоэффективность в ЖКХ;
- Теплоэнергетические системы;
- Прикладные аспекты механики жидкости и газа;
- Бизнес-планирование энергоэффективных проектов (курсовая работа).

Цикл дисциплин специализации «Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов» включает:

- Биоэнергетика;
- Ветроэнергетика;
- Солнечная и геотермальная энергетика;
- Гидроэнергетика;
- Эксплуатация оборудования возобновляемой энергетики;
- Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов;
- Основы проектирования оборудования возобновляемой энергетики.

Для повышения уровня знаний в области энергосбережения всех выпускников вузов Республики Беларусь в учебные планы введена дисциплина «Основы энергосбережения», которая предусматривает изучение в рамках лекционных (16 ч.), лабораторный (практических) занятий (16 ч.):

- нормативно-правовой базы и политика страны в области энергосбережения;
- применения энергоэффективных технологий, возобновляемых источников энергии;
- организации энергосбережения в различных отраслях экономики;
- вопросов энергетического менеджмента и аудита.

Подготовка магистров. В 2012 г. МГЭУ им. А.Д. Сахарова разработана программа профессиональной магистратуры по направлению «Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов», которая 23 августа 2012 Постановлением Министерства образования Республики Беларусь №103 внесена в действующий Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 011-2009 (срок обучения 1,5 – 2 года).

В настоящее время разрабатывается необходимое методическое и материально-техническое обеспечение для открытия с 2015-16 уч. года специализации «Менеджмент возобновляемых энергетических ресурсов» и профессиональной магистратуры по этому направлению в БНТУ.

Подготовка кадров высшей квалификации. Приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 12 июня 2007 г. № 111 утвержден паспорт специальности «05.14.08 – энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии».

Подготовка кандидатов технических наук по специальности 05.14.08 осуществляется в Белорусском аграрно-техническом университете (БГАТУ). В БГАТУ работает специализированный совет Д 05.31.01, которому разрешено рассмотрение диссертаций по указанной специальности.

Повышение квалификации специалистов в области возобновляемой энергетики.

Согласно приказу Министерства образования Республики Беларусь от 09.08.2007 г. №528а БНТУ и МГЭУ им. А.Д. Сахарова включены в перечень учреждений образования по повышению квалификации кадров по вопросам энерго- и ресурсосбережения и возобновляемых источников энергии.

По заданию Министерства образования Республики Беларусь проведены необходимые подготовительные работы, МГЭУ им. А.Д. Сахарова разработал учебно-методический комплекс для повышения квалификации специалистов по направлению «Возобновляемые источники энергии. Энергосбережение».

Материально-техническая база подготовки специалистов в области возобновляемой энергетики. В вузах, осуществляющих подготовку специалистов различного уровня в области энергосбережения и возобновляемых источников энергии, создана необходимая лабораторная база для проведения практической подготовки учащихся и научных исследований. В частности, в МГЭУ им. А.Д. Сахарова создан учебно-научный комплекс «Волма» - центр возобновляемых источников энергии. На территории комплекса построен учебно-гостиничный корпус для студентов и преподавателей, слушателей курсов повышения квалификации с учебными классами и научными лабораториями. Лабораторные работы проводятся на реальном оборудовании возобновляемой энергетики (солнечные фотоэлектрические батареи, солнечные водонагревательные коллекторы, ветроэнергетические установки, тепловой насос, микроГЭС, современная котельная на древесном топливе, оборудовании лаборатории биогазовых технологий). Лаборатории по энергосбережению созданы также практически во всех вузах страны.

Таким образом, в Республике Беларусь в настоящее время создано необходимое методическое обеспечение, материально-техническая база, имеются квалифицированные преподавательские кадры для осуществления подготовки специалистов в области энергосбережения и возобновляемых источников энергии на всех уровнях образования.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ БАШЕННЫХ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ ГРАДИРЕН

Доброго К.В.¹, Хеммасиян Кашани М.М.²

¹Белорусский национальный технический университет

²Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

Башенные испарительные градирни (БИГ) являются важнейшим элементом системы охлаждения воды КЭС и АЭС. Горячая вода разбрызгивается над оросителем, обладающим большой площадью поверхности и, стекая по нему, отдает тепло в воздушный поток. При этом имеет место испарение воды и относительная влажность воздуха приближается к 100 %. Теплота испарения влаги изымается из потока воды приводя к снижению ее температуры. Далее вода в капельно- струйном виде попадает в бассейн БИГ и направляется обратно конденсатор, рис. 1. Расход охлаждающей воды в современных тепловых станциях достигает 100 тысяч тонн в час, при этом до 1,5, 2 % воды может теряться в процессе испарения.

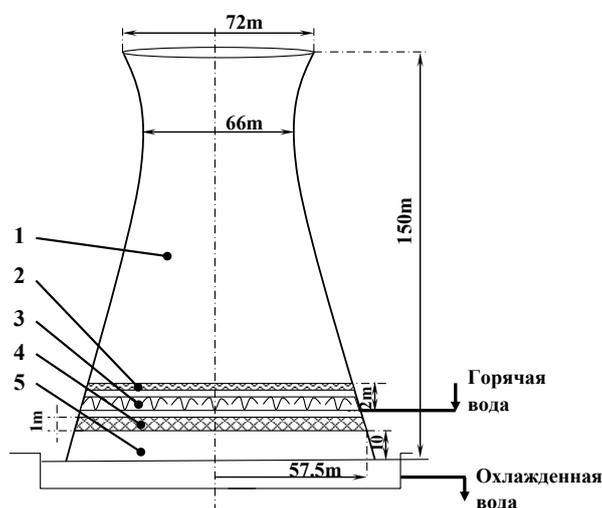


Рис. 1 - Схема башенной испарительной градирни:

1 – надоросительное пространство; 2 – каплеуловители; 3 – разбрызгиватели;
4 – ороситель; 5 – зона дождя; 6 – бассейн

Ветер – один из важнейших факторов, влияющих на производительность БИГ. Его воздействие на работу БИГ имеет сложный характер: оно нелинейно и связано с процессами внутренней аэродинамики БИГ. Исследования показывают, что полный расход паровоздушной смеси и отбираемая от теплоносителя энергия нелинейно зависят от ветра при его малых скоростях, затем уменьшаются с ростом скорости ветра из-за «запирания» выходного сечения вихревыми образованиями, а также сквозного продувания пространства под оросителем (зоны дождя). Такое уменьшение производительности продолжается вплоть до критической скорости ветра U_{cr} , а при дальнейшем увеличении скорости ветра производительность БИГ растет.

Из известных методов управления аэродинамикой БИГ, крупномасштабное завихрение потока является относительно легко реализуемым [1] и поэтому может рассматриваться как наиболее перспективный в настоящее время.

В данном докладе исследуется влияние аэродинамических элементов БИГ, таких как ветропреградительные стенки в зоне дождя и дефлекторы в надоросительном пространстве, на производительность БИГ в условиях ветровых нагрузок. С этой целью использовано

3-мерное моделирование системы стандартными средствами CFD [2]. Верификация программных средств и моделей проведена при помощи экспериментальных данных полученных для Минской ТЭЦ-4. Полная мощность теплоотдачи вычислялась как функция скорости ветра для различных аэродинамических конфигураций БИГ. В частности варьировался угол установки дефлекторов в надоросительном пространстве. Рассматривалось комбинированное использование дефлекторов в надоросительном пространстве и ветропреградительных стенок в зоне дождя. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации конструкции действующих и вновь проектируемых БИГ.

В качестве прототипа для исследований взята БИГ тепловой электрической станции Ву-Джин в г. Шанхай, Китай (рис. 1), имеющая высоту 150 м, диаметр основания 114 м и высоту входных окон 10 м. Расчетный домен представлял из себя цилиндр с радиусом и высотой 500 м. Домен разбивался на 1,8 миллионов структурированных и неструктурированных (гибридных) ячеек. Размер сетки обеспечивал устойчивую сходимость итераций и сохранялся одним и тем же для всех расчетных вариантов. Размер ячеек плавно увеличивался от стенок градирни к периферии расчетной области.

Рассматривались три конфигурации системы: БИГ без дополнительных аэродинамических элементов (рис. 2.а), БИГ оснащенная дефлекторами в надоросительном пространстве (рис. 2.б) и БИГ оснащенная ветропреградительными стенками и дефлекторами в надоросительном пространстве одновременно (рис. 2.с). Углы установки дефлекторов составляли $\alpha = 90^{\circ}, 70^{\circ}, 60^{\circ}, 52^{\circ}$ и 45° (измерены от горизонтальной плоскости). Высота ветропреградительных стенок равна высоте входных окон БИГ.

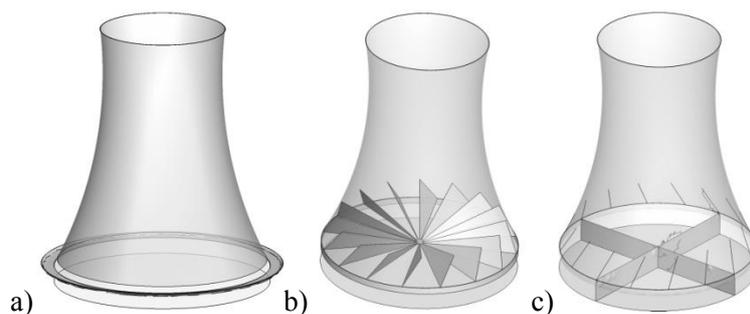


Рис. 2 - Схемы рассматриваемых БИГ. Модель с 16 дефлекторами (б) и дефлекторами и ветропреградительными стенками (с)

Ороситель, вместе с сопряженными элементами (опоры оросителя, трубопроводы, каплеуловители) моделировался при помощи встроенной во Fluent^(R) модели «радиатора». Температура «радиатора» принималась постоянной. Два основных параметра, характеризующих радиатор - коэффициент газодинамического сопротивления и коэффициент теплоотдачи - оценивались на основании экспериментальных данных. Коэффициент теплоотдачи радиатора h_{th} непосредственно связан с величиной конвективного потока. Его величина была получена путем настройки расчетного значения потока паровоздушной смеси на экспериментально полученную величину этого потока [4] при заданных внешних условиях.

Зона дождя БИГ моделировалась как высокопористая среда. Пористость была определена исходя из объема капель воды при заданном его расходе и средней скорости падения и составила $m=0,998$ для стандартных расчетных параметрах задачи. Потери импульса потока при взаимодействии с каплями рассчитывались в соответствии с моделью пористой среды FLUENT.

В соответствии с принятой моделью [2], движение газа моделировалось в квазистационарном эйлеровом приближении. Рассматривался однофазный паровоздушный поток, использовалась k-ε модель турбулентности. Задача описывалась уравнениями неразрывности, Навье-Стокса для несжимаемой вязкой жидкости и уравнением сохранения энергии.

Модель не включает расчет теплоты фазовых переходов. Поэтому для определения полного теплового баланса в системе нами принята гипотеза эквивалентности (аналогии) тепло и массопереноса в зоне оросителя и дождя.

Двумерные контуры поля температур на высоте $h=30$ m приведены на рис. 3 для БИГ конфигураций «b» и «с». Вариация температуры по сечению δT , характеризующая неоднородность теплоотдачи оросителя, а также аэродинамическое смешение в надоросительном пространстве представлена на рисунке.

Расчеты показывают, что увеличение скорости ветра в общем случае приводит к росту вариации температуры в сечении. В то же время, наведенное дефлекторами вращение потока, снижает эту вариацию. В условиях штиля все конфигурации БИГ («a», «b» и «с») генерируют схожие картины распределения температуры. Возмущения температуры, генерируемые дефлекторами незначительны. Даже слабый ветер приводит к заметной потере осевой симметрии потока и поля температур и увеличению вариации температуры по сечению, рис. 3, левая колонка. Вариация температуры более значительна при использовании ветропреградительной стенки. Анализ показывает, что система с конфигурацией «с», включающая как ветропреградительные стенки, так и дефлекторы в надоросительном пространстве, более эффективна для гомогенизации температуры по сравнению с системой «b». Можно заметить, что в этом случае аэродинамическая картина потока возмущена сильнее. В результате вращение потока приводит к уменьшению вариации температуры в случае достаточно сильного вращения ($\alpha = 60$ и 45°).

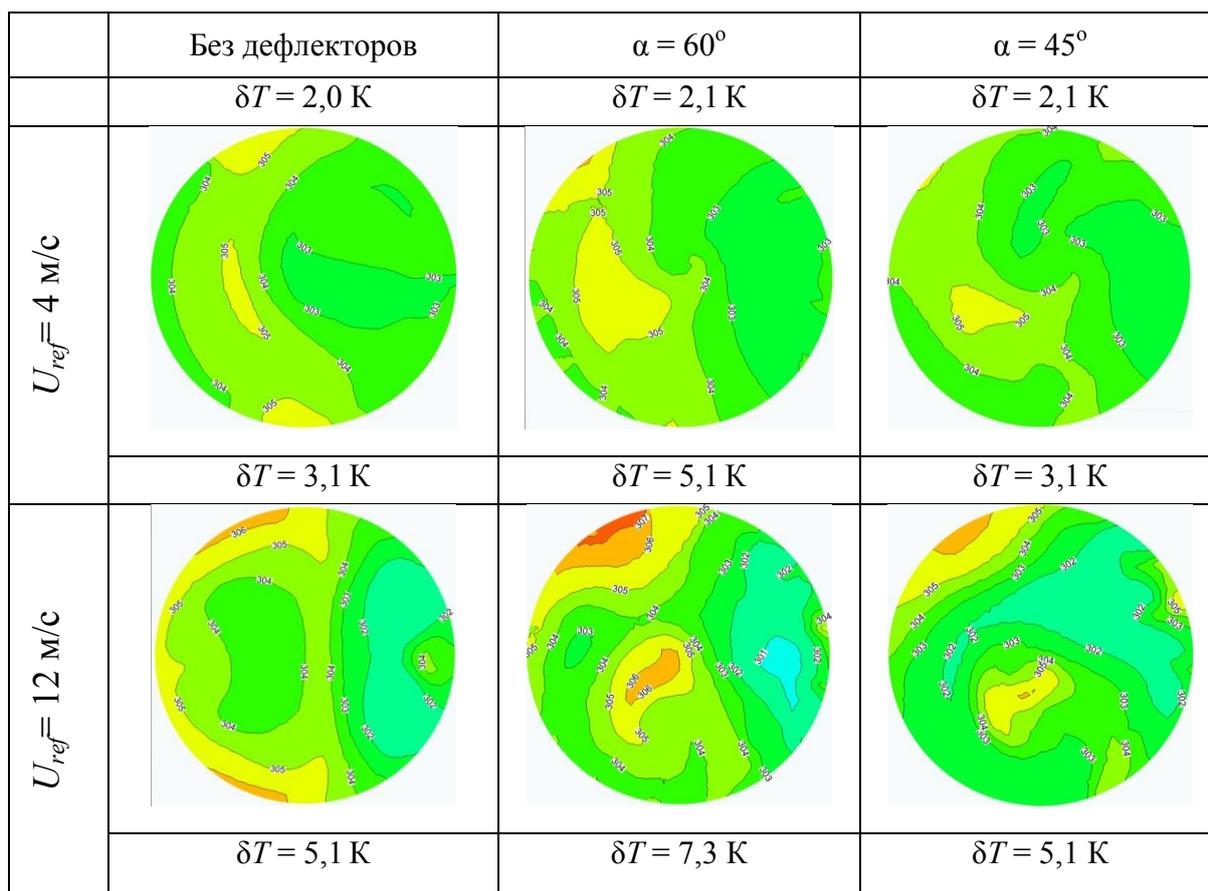


Рис. 3 - Поля температуры газовой фазы в горизонтальном сечении БИГ ($h = 30$ м) вариация температуры δT при различных скоростях ветра. Конфигурация «b». Слева направо – без дефлекторов, $\alpha = 60^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$

Для того, чтобы характеризовать работу БИГ нами рассчитан общий массовый расход паровоздушной смеси G_a . Величина расхода является интегральным показателем, отражающим как эффективность теплообмена в БИГ, так и ее аэродинамические качества,

в том числе и при взаимодействии с ветром. При малых углах установки дефлекторов $\alpha < 45^\circ$ наблюдается некоторое торможение потока. Угол установки дефлекторов $\alpha \sim 60^\circ$ обеспечивает увеличенный расход воздуха при среднем и сильном ветре.

Мощность теплоотдачи теплоносителя – основной параметр характеризующий тепловую работу градирни. Данный параметр тесно связан, но не эквивалентен полному массовому потоку охлаждающего воздуха G_a ввиду неоднородности поля скоростей потока в сечении оросителя. На рис. 4 видно, что полная мощность теплоотдачи при угле установки дефлектора $\alpha = 45^\circ$ (сильное вращение) при скорости ветра $U_{ref} = 12$ м/сек максимальна несмотря на то, что полный расход воздуха относительно низок при таких же внешних условиях.

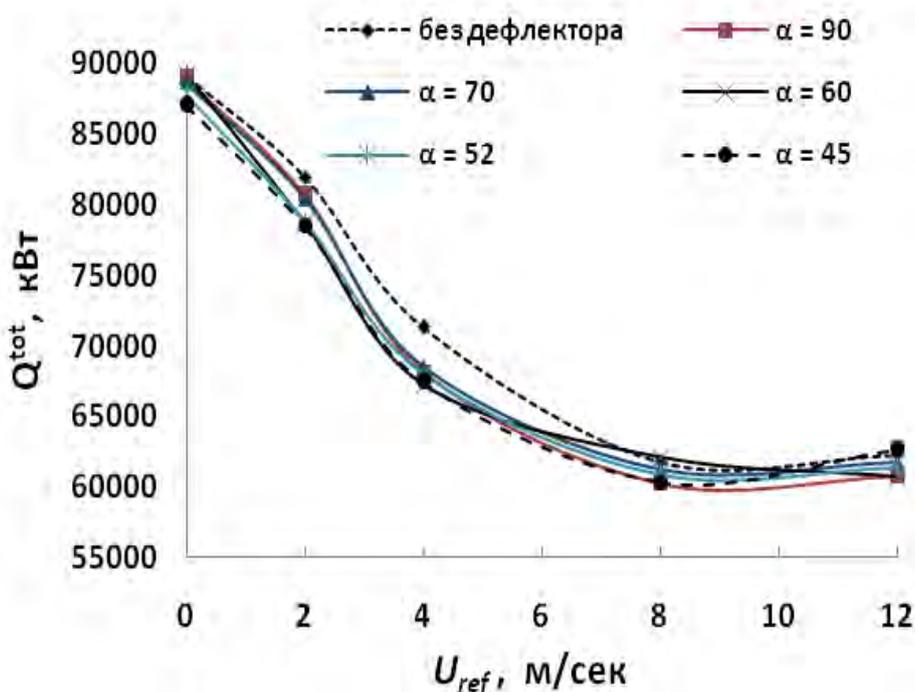


Рис. 4 - Мощность теплоотдачи теплоносителя в градирне как функция скорости ветра; конфигурация «б»

Рассмотрим вариант конфигурации градирни «с» когда ветропреградительные стенки установлены одновременно с дефлекторами в надоросительном пространстве. Такая конфигурация существенно меняет работу БИГ.

Значение критической скорости ветра уменьшается с 8 до 4 – 6 м/сек и одновременно амплитуда функций $G_a = f(U_{ref})$ уменьшается на величину порядка 3000 кг/сек. Амплитуда изменения мощности теплоотдачи как функции скорости ветра $Q^{tot} = f(U_{ref})$ уменьшается соответственно.

Данные, представленные на рис.6 показывают, что угол установки дефлекторов $\alpha = 45^\circ$ обеспечивает наилучшие условия работы БИГ при среднем и сильном ветре. Этот эффект требует более детального анализа и, в частности, исследования влияния геометрических параметров ветрозаградительных стенок на работу БИГ.

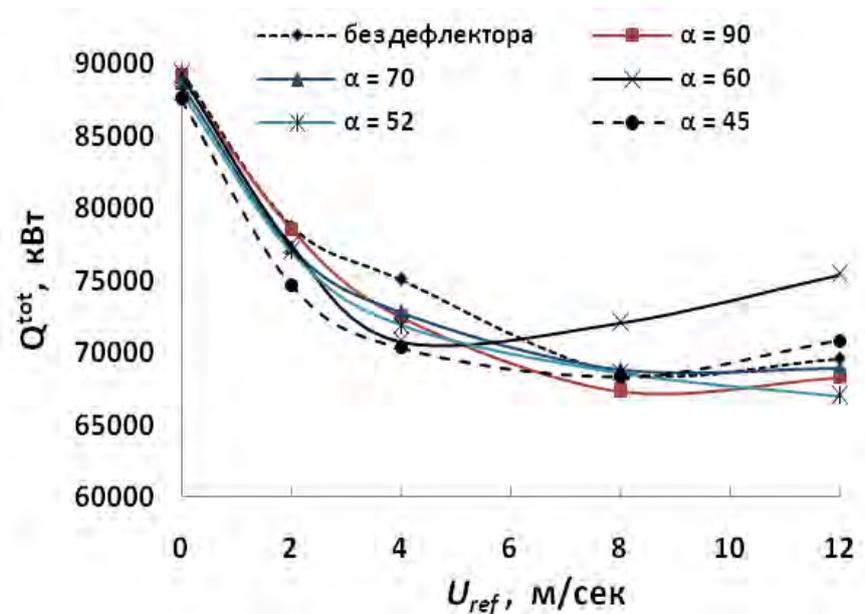


Рис. 5 - Мощность теплоотдачи теплоносителя в градирне Q^{tot} как функция скорости ветра; конфигурация «с»

Продемонстрирована нелинейная зависимость тепловой производительности БИГ от скорости ветра с минимумом (критическая скорость ветра) при $U_{cr} \sim 8$ м/с для моделируемой системы. Использование крестообразных ветроперегородок существенно не изменяет критическую скорость ветра, но улучшает ее тепловую работу при умеренном и сильном ветре. Совместное использование ветроперегородок и завихрителей в надоросительном пространстве может повысить эффективность БИГ на величину до 20–30 % при угле установки завихрителей $\alpha = 60^\circ$. Расчеты позволяют анализировать аэродинамические структуры, возникающие в БИГ и однородность поля скоростей в области оросителя.

Результаты исследования могут быть полезны для оптимизации конструкции градирен, в том числе и перспективных градирен «гибридного» типа.

Список использованных источников

1. Vlasov A. V., Vykhota S. O., Ganzha V. A., et al.. Cooling Tower, Patent of the RB, No. 1293 (1993).
2. ANSYS[®] Academic Research, Release 14.5, Help System, FLUENT, ANSYS, Inc.
3. Petruichik A., Fisenko S., Simulation of natural draft cooling tower performance, in: The 12th IAHR Symposium in Cooling Tower and Heat Exchangers, Sydney, Australia, 2001, pp. 80–86.
4. Власов А.В., Дашков Г.В., Солодухин А.Д., Фисенко С.П.. Исследование внутренней аэродинамики башенной испарительной градирни. *ИФЖ*, 2002, т.75(5), с. 1086-1091.
5. Hemmasian Kashani M. M., Dobrego K. V., Influence of Flow Rotation within a Cooling Tower on The Aerodynamic Interaction with Crosswind Flow, *J. Eng. Physics and Thermophysics*, 2014, Vol. 87, No. 2, 376-383.
6. Солодухин А.Д., Дашков Г.В. и др. Отчет о НИР № 20113267, Институт тепло - и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, Минск, 2011.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ БЕЛОРУССКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Романюк Ф.А.¹, Ломан М.С.², Шевалдин М.А.³

¹*Белорусский национальный технический университет*

²*ОАО «Белэлектромонтажналадка»*

³*ГПО «БЕЛЭНЕРГО»*

Белорусская энергосистема – это в первую очередь ГПО «Белэнерго», которое включает в себя 30 организаций, в том числе монтажные (ОАО «Центроэнергомонтаж», ОАО «Электроцентрмонтаж», ОАО «Бобрыскэнергомонтаж» и др.), строительные (ГП «Белэнергострой», ОАО «Белсельэлектросетьстрой», ОАО «Западэлектросетьстрой» и др.), наладочные организации (ОАО «Белэнергоремналадка», ОАО «Белэлектромонтажналадка» и др.) и предприятия, проектные институты (РУП «БелТЭИ», РУП «БелНИПИэнергопром», РУП «Белэнергосетьпроект»), заводы (ОАО «Белоозерский ЭМЗ» и др.), учреждения образования (УО «Минский государственный энергетический колледж») и энергоснабжающие предприятия: РУП «Брестэнерго», РУП «Витебскэнерго», РУП «Гомельэнерго», РУП «Гродноэнерго», РУП «Минскэнерго», РУП «Могилевэнерго». Также в состав ГПО «Белэнерго» входит РУП «ОДУ», которое осуществляет непрерывное оперативно-диспетчерское управление энергосистемой.

Среднесписочная численность персонала предприятий и организаций, входящих в состав ГПО «Белэнерго», составляет 63457 человек (данные на 01.01.2014г.). Установленная мощность Белорусской энергосистемы – 9221,2 МВт, которая включает в себя 12 основных электростанций высокого давления, 28 малых электростанций, 23 гидростанции и 1 ветряную установку.

Крупнейшие станции: Лукомльская ГРЭС – установленная мощность 2890 МВт, Березовская ГРЭС – 1385 МВт, Минская ТЭЦ-4 – 1035 МВт.

ГПО «Белэнерго» включает также: 1 подстанцию с высшим номинальным напряжением 750 кВ (ПС 750кВ «Белорусская»), 27 подстанций – 330 кВ; 10 подстанций – 220 кВ; >800 подстанций – 110 кВ. Общая протяженность линий 220-750кВ – 7054 км (ВЛ 750 кВ – 753 км).

Электроэнергетические сети и системы характеризуются следующими основными параметрами:

- Непрерывностью производства и потребления электроэнергии во времени;
- Быстротечностью распространения электромагнитных возмущающих воздействий;
- Неизбежностью возникновения повреждений.

Поэтому, основное назначение устройств РЗА - это:

- Локализация поврежденного электрооборудования или линии электрических сетей;
- Отключение поврежденного оборудования или линии;
- Автоматическое восстановление нормального режима работы (восстановление напряжения);
- Предотвращение ненормальных режимов таких, как асинхронный ход, качания и другие ненормальные режимы.

Оценивая количественный анализ устройств РЗА в Белорусской энергосистеме необходимо отметить, что происходит постоянный рост генерирующих мощностей, развитие электросетевого комплекса, повышение ответственности за бесперебойность электроснабжения потребителей. И в связи с этим, с 2006 по 2013 г.г., количество устройств РЗА в энергосистеме, непрерывно растет. Количество устройств РЗ увеличилось с 91500 устройств в 2006 году до порядка 98500 (выросло на 7,7%) устройств в 2013 году, аналогичная картина

и по устройствам автоматики, количество которых выросло с 22700 до 25400 устройств (рост почти на 12%).

Филиалы РУП-облэнерго с наибольшим количеством устройств РЗА: Минские кабельные сети (5109 устройств, 33,5% из них микропроцессорные), Климовичские электросети (3213, 2,0%), Слуцкие электросети (2967, 16,5%), Гродненские ЭС (2721, 39,1%), Могилевские ЭС (2614, 38,8%).

Как известно все устройства РЗА выполнены на 3 элементных базах, это электромеханические устройства, микроэлектронные (статические устройства, выполненные на транзисторах, операционных усилителях, тиристорах и других элементах) и микропроцессорные устройства. На сегодняшний день более 95% выпускаемых устройств составляют устройства на микропроцессорной элементной базе. Проводя качественный анализ устройств РЗА на объектах Белорусской энергосистемы можно выделить, что в сети 220-330кВ следующее соотношение (по данным на 01.02.2014г.): РЗА на электромеханической элементной базе – 52,2%, на микроэлектронной – 17,3%, на микропроцессорной – 30,5%; в сети 110кВ соотношения следующие: 65,4% - 8,0% - 26,6%; в сети 35кВ: 83,0% - 0,3% - 16,7%; для трансформаторов и автотрансформаторов – 81,6%, 3,5% и 14,9%; для РЗА генераторов: 50,8% - 18,2% - 31,0%; для распределительных сетей 3,5-10кВ: 68,2% - 0,6% - 31,2%. В целом по ГПО «Белэнерго»: 70,4% - 2,57% - 27,03%. Т.е. примерно треть устройств РЗА составляют устройства, выполненные на микропроцессорной элементной базе. Однако важно отметить и то, что более 50% от числа всех устройств РЗА исчерпали свой нормативный срок службы, но несмотря на это, продолжают находиться в работе и выполнять свои функции. Для примера, на объектах в Российской Федерации (по данным ОРГРЭС) процентное соотношение микропроцессорных устройств РЗА 23,9% от общего числа устройств РЗА, причем ещё в 2007 г. данный пропорциональный показатель составлял только 2,8%.

Если делать качественный анализ микропроцессорных устройств РЗА по производителям, то можно выделить следующие индикативные группы: РЗА для воздушных и кабельных линий 110-750кВ (ABB – 55,43%, SIEMENS – 17,9%, MiCOM – 11,72%, General Electric – 5,11%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 1,99%), РЗА воздушных линий 35 кВ (ABB – 9,17%, SIEMENS – 0,89%, MiCOM – 7,1%, General Electric – 4,14%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 50,89%), РЗА трансформаторов и автотрансформаторов (ABB – 22,9%, SIEMENS – 2,76%, MiCOM – 15,17%, General Electric – 5,47%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 25,44%), РЗА распределительных сетей (ABB – 9,21%, SIEMENS – 1,38%, MiCOM – 9,32%, General Electric – 1,42%, ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 68,68%), РЗА генераторов (ABB – 46,98%, SIEMENS – 7,76%, MiCOM – 13,79%, General Electric – 5,17%). В целом по ГПО «Белэнерго» следующие цифры по микропроцессорным устройствам РЗА: ОАО «Белэлектромонтажналадка»- 54,28%, ABB – 16,91%, MiCOM – 10,3%, SIEMENS – 3,61%, General Electric – 2,44%,).

В целом по России аналогичная ситуация: основные фирмы-производители устройств РЗА, установленных на объектах ЕНЭС следующие: SIEMENS – 24,3%, «ЭКРА»- 22,9%, ABB – 11,8%, «Уралэнергосервис»- 9,5%, Alstom – 9,4%, General Electric – 4,9%.

Необходимо обратить внимание на большое разнообразие фирм-производителей РЗА. Всего на объектах ГПО «Белэнерго» насчитывается более 15 производителей микропроцессорных устройств РЗА. Все эти устройства, а часто и устройства одного и того же производителя, построены на разных платформах и имеют персональное программное обеспечение и т.д. И весь огромный объем информации о широком спектре устройств должны знать специалисты СРЗА и ЭТЛ, что накладывает высокие требования к их квалификации.

Существуют определенные проблемы в области обучения специалистов по РЗА: существующая система высшего и средне-специального образования не может подготовить качественных специалистов, способных эксплуатировать современные системы РЗА. Поэтому дополнительным обучением приходится заниматься на местах, причем непрерывно. Нередко персонал осваивает новую технику посредством самообучения непосредственно на этапе её внедрения.

В 2006–2013 гг. процентное соотношение правильной работы устройств РЗА остается приблизительно на одинаково высоком уровне (99,72-99,82%). Несмотря на рост числа устройств и на работу сверх нормативного срока службы устройств РЗА, эксплуатирующему персоналу удается работать достаточно эффективно и поддерживать уровень правильной работы на достойном уровне. Этот показатель выше, чем аналогичные показатели в странах СНГ. Так показатель, представленный в докладе ОАО «Фирма ОРГРЭС» конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем. РЗА 2014» в г. Москва для объектов Российской электроэнергетики составил в 2013 году: 99,27% (для МП защит – 99,12%). Данный показатель в предыдущие годы (2007 г. – 99,18%, 2008 г. – 98,87%, 2009 г. – 98,75%, 2011 г. – 98,86 %, 2012 г. – 98,89 %).

Для устройств электроавтоматики и противоаварийной автоматики (ЭА и ПА) процент правильных срабатываний немного выше (99,9%), чем для устройств РЗА. Общее число срабатываний – около 11000 в год.

В связи с ростом количества устройств и развитием сетей, повышается также и ответственность за бесперебойное электроснабжения потребителей. По каждому сбою в работе оборудования проводится детальное расследование и подробный анализ. Надежность работы электрических сетей (как высоковольтных, так и распределительных) и электрооборудования электростанций и подстанций напрямую зависит от работы служб РЗА.

Анализ неправильной работы устройств РЗА приведен по категориям: всего (по причинам, связанных с эксплуатацией РЗА) и отдельно из этого числа количество срабатываний по вине персонала. Проанализировать полученную статистическую информацию довольно сложно, т.к. наблюдаются как всплески так и снижения числа отказов по годам. Объективную причину этому явлению давать сложно, но следует отметить значительный вклад персонала в поддержание высокого процента правильной работы устройств РЗА. Несмотря на все сложности, высокую ответственность и ограничение средств на эксплуатационную деятельность, данная кривая не растет значительно вверх, а колеблется в определенном диапазоне.

Отдельно следует выделить анализ работы устройств РЗА на микропроцессорной элементной базе (МП). Новые МП-устройства при правильном подходе к их эксплуатации и соответствующей квалификации обслуживающего персонала по сравнению с аналогичными устройствами, выполненными на микроэлектронной и электромеханической элементной базе, более надежны, обладают более высокой быстродействием, проще в эксплуатации, более точны в измерениях, более чувствительны к минимальным значениям аварийных и ненормальных параметров, более удобны в эксплуатации, компактны и т.д. Также необходимо отметить, что архитектура, принципы построения и алгоритмы функционирования систем РЗА остаются такими же, как и 30-40 лет назад. Т.е. РЗА в этом плане одна из самых консервативных отраслей электроэнергетики, хотя и тут не обходится без нововведений и инновационных технологий, что в первую очередь связано с применением микропроцессорной техники. Что также накладывает определённые трудности, и в частности непрерывное обновление устройств РЗА (т.е. МП-устройства, что выпускались в начале 2000х годов уже не просто не купить на рынке, но и комплектующие к ним, найти у поставщиков и производителей весьма проблематично), несмотря на порой громкие заявления про «универсальность» аппаратной базы для данных устройств. Также следует отметить необходимость выполнения дополнительных работ по определению электромагнитной совместимости на объектах ГПО «Белэнерго» при установке хотя бы 1 комплекта МП-защит, что связано с крупными затратами.

Анализируя статистику за 2006-2013 гг. по микропроцессорным защитам для сети 6–35 кВ, видно, что количество устройств на МП элементной базе для данного класса сетей с 2006 года росло в прямолинейной зависимости, однако в последние годы темпы роста количества устройств немного снизились. Также выросло и число правильных срабатываний, а число неправильных срабатываний является достаточно малым, и нет значительного прироста числа неправильных срабатываний для данного типа защитных устройств. Таким обра-

зом, данные МП-устройства достаточно надежны, несмотря на имеющиеся проблемы и сложности, возникающие при их эксплуатации, в том числе связанные с их разнотипностью.

Аналогичная картина и для устройств РЗА оборудования напряжением 110-330 кВ. Количество этих устройств постепенно увеличивается. Количество правильных срабатываний также непрерывно растет.

Одной из задач персонала служб РЗА и электротехнических лабораторий является определение места повреждения на линиях электропередач 6-750 кВ. Т.к. линии сети 35-750кВ имеют значительную протяженность, в том числе длины линий составляют в среднем для 35-110кВ – 16,7 км и 20,6км, а для сети 220-330кВ - 48км и 54,66 км, а для ВЛ 750 кВ – 753 км. При отключении линий, особенно для ВЛ 330 кВ и 750 кВ, необходимо знать точное место повреждения или участок, где произошло повреждение, чтобы устранить его как можно быстрее. Для этого служат устройства ОМП. Также данные устройства служат и для регистрации аварийных событий. Эти функции могут выполнять и МП-устройства защиты, но в то же время все равно остается необходимость установки отдельных регистраторов аварийных событий. Основные производители указанных устройств, эксплуатирующихся в данный момент на объектах ГПО «Белэнерго» являются: ООО «Парма», ООО «Регина-Р», ЗАО «Радиус Автоматика», ООО НПП «Экра» и другие.

Численность сотрудников служб РЗА и электротехнических лабораторий энергоснабжающих предприятий и РУП «ОДУ», обслуживающих и занимающихся вопросам эксплуатации устройств и аппаратуры РЗА суммарно по ГПО «Белэнерго»на 01.02.2014 г. составляет: инженерно-технические работники - 575 специалистов и электромонтеров - 521 работник, т.е. суммарно 1096 человек (~1,5% от общего числа работников Белорусской энергосистемы). Большинство специалистов имеют значительный опыт работы: 61% от нормативной численности для инженерно-технических работников и 56% для электромонтеров.

ОАО «Белэлектромонтажналадка»- одно из ведущих инжиниринговых предприятий в белорусской энергосистеме. Предприятие основано в 1964 г. как Минский территориальный наладочный участок треста «Электроцентрмонтаж». Основной вид деятельности до 1991 года - наладочные работы на крупных энергетических объектах (Минские ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4, Лукомльская ГРЭС, Курская, Смоленская, Нововоронежская АЭС и др.) В 1992 году на базе Минского территориального участка было образовано Белорусское монтажно-наладочное предприятие «Белэлектромонтажналадка».

В сложный экономический период 90-х гг. предприятие диверсифицировало свою деятельность, помимо наладки стало выполнять проектные и монтажные работы, выпускать электротехническое оборудование. В 1991 года на предприятии сформировано специальное конструкторское бюро (СКБ), которое занимается разработкой и выпуском цифровых устройств. В тесном сотрудничестве СКБ со научными специалистами энергетического факультета БНТУ были разработаны основные принципы и алгоритмы релейной защиты на микропроцессорной базе, проведены их исследования, изготовлены опытные образцы и выполнены их испытания. В 1998 году был начат серийный выпуск микропроцессорных устройств релейной защиты. С 2000 года в структуре «Белэлектромонтажналадка» функционирует исследовательский центр, который объединяет три лаборатории: информационных измерительных систем, специальных измерений и экспериментальная лаборатория средств релейной защиты и автоматики.

На сегодняшний день ОАО «Белэлектромонтажналадка» - ведущий разработчик микропроцессорных устройств РЗА в Беларуси. Устройства РЗА производства «Белэлектромонтажналадка» полностью закрывают потребности понижающих подстанций 110 кВ и ниже. Линейка микропроцессорных защит производства «Белэлектромонтажналадка» включает в себя терминалы защиты линий с одно- и двусторонним питанием, защиты по напряжению и частоте, защиты вводных и секционных выключателей, электродвигателей, основной дифференциальной и резервной независимой защиты трансформаторов, дифференциальной и дуговой защиты сборных шин. Значительная часть микропроцессорных защит разработана по государственным программам инновационного развития и импортозамещения. Ведется раз-

работка терминала дистанционной защиты линии 110 кВ, выпуск которого позволит решить систему РЗА распределительных подстанций 110 кВ полностью на белорусских устройствах. Объем выпуска устройств РЗА – 2500-3000 устройств в год, общее количество произведенных устройств – более 25000.

Терминалы РЗА производства «Белэлектромонтажналадка» установлены и успешно эксплуатируются на объектах всех областных энергосистем Республики Беларусь, на крупных промышленных предприятиях (БелАЗ, МАЗ, Минский тракторный завод, Белорусский металлургический завод и др.). а также в ряде российских энергосистем («Белгородэнерго», «Брянскэнерго», «Мосэнерго», «Новгородэнерго», «Тюменьэнерго» и др.).

ОАО «Белэлектромонтажналадка» - многопрофильное предприятие с собственными конструкторской, производственной и испытательной базами. Предприятие выполняет полный комплекс работ по проектированию, поставке, монтажу, наладке, ремонту, испытанию и сервисному обслуживанию энергетического оборудования, АСУ ТП, АСКУЭ, КИПиА. «Белэлектромонтажналадка» производит: ячейки КРУ, КСО, вакуумные выключатели по лицензии Siemens AG; низковольтные шкафы постоянного и переменного тока; микропроцессорные устройства РЗА и контроллеры; блоки питания; ВЧ-аппаратуру передачи команд.

Штат ОАО «Белэлектромонтажналадка» - 600 человек, более половины имеют высшее образование. Средний возраст сотрудников – около 35 лет. В том числе более 100 высококвалифицированных наладчиков, обладающими опытом и навыками работы как устройствами РЗА производства ОАО «Белэлектромонтажналадка», так и других производителей (ABB, Siemens, General Electric, Alstom, Areva и др.). Штат управления перспективного развития, которое занимается разработкой и производством устройств РЗА – 53 человека.

Направлениями перспективного развития системы РЗА в Белорусской энергосистеме являются:

1. Замена устройств на электромеханической и микроэлектронной элементной базе на микропроцессорные устройства РЗА.
2. Повсеместное внедрение систем АСУ ТП (SCADA) на объектах энергетики и интеграция в указанных системах устройств релейной защиты и автоматики.
3. Внедрение цифровой подстанции, где взаимодействие устройств организовано на горизонтальном уровне по протоколу IEC 61850.
4. Внедрение Real Time Digital Simulator (RTDS) - современного симулятора переходных процессов энергосистемы.

НОРМАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРОВЫХ ТУРБИН*Калиниченко А.С.¹, Калиниченко В.А.¹, Зелезей А.Е.¹, Ракевич В.П.²**¹Белорусский национальный технический университет**²ОАО «Белэнергоремналадка»*

Опыт эксплуатации многоцилиндровых паровых турбин показал, что возникает ряд проблем, связанных с тепловыми перемещениями узлов турбоагрегатов. При этом, силы трения поверхностей скольжения корпусов подшипников и шпоночных узлов цилиндров оказывают существенное влияние на перемещение корпусов подшипников. Нарушения в тепломеханическом состоянии турбоагрегатов ограничивают электрическую и тепловую мощность турбины и влияют на надежность оборудования, в частности: - неполное тепловое расширение турбины при прогреве и пуске; - недовозврат корпусов подшипников в исходное положение после остывания цилиндров и фундамента турбины; - непрогнозируемое изменение вибросостояния валопровода турбины при переменных режимах; и др. Все эти дефекты прямо или косвенно связаны с нерасчетным перемещением корпусов подшипников по фундаментным рамам, а также опорных лап по шпоночным узлам.

Необходимо принимать во внимание также дефекты и особенности фундаментов и опорных конструкций корпусов подшипников, поскольку на некоторых турбинах имеет место неравномерная осадка фундаментов. Вследствие этого корпуса подшипников не только оседают на разную величину, но и отклоняются от вертикали по одной или двум плоскостям. Перечисленные дефекты проявляются в различных переменных режимах эксплуатации паровых турбин. Наиболее неблагоприятный режим с точки зрения проявления дефектов тепловых расширений – естественное остывание из горячего состояния. В этом режиме может быть определена величина теплового не возврата расширения турбины по корпусам подшипников до холодного состояния.

Специалистами ОАО «Белэнергоремналадка» была разработана конструкторская и технологическая документация по установке деталей из антифрикционных материалов под конкретные узлы трения. Наиболее удовлетворяющими по стабильности и допустимым величинам триботехнических характеристик для всех узлов паровых турбин являются композиционные материалы с макрогетерогенной структурой, разработанные учеными Белорусского национального технического университета.

Композиционные материалы получены с использованием литейной технологии, что обеспечивает низкую стоимость по сравнению с композитами, полученными методами порошковой металлургии и позволяет изготавливать достаточно крупные детали любой формы.

Впервые литые композиционные материалы были применены на турбине Т-250-240 (ст. №6 Минской ТЭЦ-4) в 1998 г. Во время аварийного капитального ремонта в 1998 г. было принято решение о применении композиционных материалов с макрогетерогенной структурой для устранения вышеописанных дефектов. Для увеличения подвижности корпусов подшипников пластины из композиционных материалов установили в плоскости скольжения фундаментной рамы и подошвы корпуса подшипника, а для снижения вероятности заклинивания продольных шпонок – были установлены композитные вставки в продольные шпоночные пазы всех корпусов подшипников. После выполнения всех этих мероприятий были проведены тепломеханические испытания турбины, которые подтвердили правильность принятого решения и показали положительный эффект применения литых композиционных материалов.

Во время капитального ремонта в 2003 г. были обследованы корпуса подшипников, композиционные вставки и продольные шпонки. Инструментальные измерения показали, что состояние всех этих элементов хорошее, следов износа композитных материалов нет,

на продольных шпонках нет натиров или задиров. В настоящее время турбина эксплуатируется, и ее состояние также остается хорошим.

В период с 1998г. по 20014г. в белорусской энергосистеме мероприятия по нормализации тепловых перемещений турбин с применением только разработанных композиционных материалов или в сочетании с другими антифрикционными материалами выполнены на шестнадцати различных типов турбинах: К-300-240, Т-250-240, Т-100-130, Т-180/210-130, ПТ-60-130/13, ПТ-65-130/13, ТК-330-240, ПТ-50-130/13, ПТ-135/165-130. То есть, охвачены практически все виды турбин белорусской энергетической системы.

Как показывает опыт эксплуатации этих турбин разработанная технологии нормализации тепловых перемещений турбин с использованием деталей из композиционных материалов с макрогетерогенной структурой позволяет практически полностью решить проблемы, обусловленные осадкой фундаментов, тепловых перемещений многоцилиндровых турбин. Решены задачи по улучшению вибросостояния. В целом это позволило снять ограничения по режимам эксплуатации турбоагрегата. Накопленного опыта достаточно для применения данной технологии на турбине любого типа при наличии проблем тепловых расширений.

Экономический эффект от применения разработанной технологии ремонта с применением композиционных материалов с макрогетерогенной структурой сложно оценить из-за необходимости учета большого количества факторов. Можно оценить для частного случая, например, Т-250-240 УТМЗ с применением литых композиционных материалов при снятии ограничений по двухступенчатой схеме подогрева сетевой воды при определенном режиме работы.

Предполагаемый экономический эффект определялся сравнением необходимого количества удельного расхода теплоты на выработку электроэнергии по одно- и двухступенчатой схеме подогрева сетевой воды при равных электрической и тепловой нагрузках. Для этого использованы нормативные энергетические характеристики турбины Т-250-240 Минской ТЭЦ-4. До проведения работ по нормализации тепломеханического состояния турбина работала в одноступенчатом режиме.

При мощности блока $N=200$ МВт (средняя мощность блока за год) и тепловой нагрузке $Q_t=180$ Гкал/час, удельное количество теплоты по одноступенчатой схеме равно $q_1=1370$ ккал/кВт, удельное количество теплоты по двухступенчатой схеме равно $q_2=1350$ ккал/кВт. При средней годовой выработке электроэнергии одним блоком $\mathcal{E} = 1\,200\,000$ кВт/ч получим годовую экономию количества теплоты по приблизительной оценке в год 24×10^6 Гкал или 3721 тонн условного топлива. В пересчете на натуральное топливо (мазут М-100) это составляет 2700 тонн. Это экономический эффект достигается только за счет снятия ограничений по двухступенчатой схеме подогрева сетевой.

Таким образом, разработанные технология ремонта и композиционные материалы с макрогетерогенной структурой позволили после реконструкции паровых турбин обеспечить их тепломеханическое состояние на уровне вновь смонтированных. Работы по нормализации тепломеханического состояния турбоагрегатов охватывает практически все типы применяемых в Республике Беларусь турбины. Имеющийся опыт позволяет использовать разработанную технологию для реконструкции любых паровых турбин.

К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ И СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В БЕЛАРУСИ. ВЗГЛЯД В БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ И ОБОЗРИМУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

Романюк В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Введение

В связи с необходимостью разработки новой долгосрочной стратегии совершенствования экономики Беларуси на период до 2030–2050 г.г., гармонично сочетающего инновационные и эволюционные изменения хозяйственного механизма, чрезвычайно актуально определиться с тенденциями дальнейшего развития систем теплоснабжения и энергоснабжения промышленности, предприятия которой в основной массе используют теплотехнологии. Уже к 2015–2020 г. в мире прогнозируется резкий рост стоимости всех ресурсов, что вызовет падение производства на фоне растущего загрязнения окружающей среды, и вызванное им изменение климата [1, 2]. В этой связи разработка первоочередных мер по подготовке экономического механизма страны к грядущим изменениям на сырьевых и энергетических рынках и необходима, и очень своевременна.

Исходное состояние

Безусловно, развитие систем теплоснабжения, на которые приходится до 40 % потребляемых в Беларуси топливно-энергетических ресурсов, должно быть связано с энергосбережением. Сегодня необходимо не просто повышение, а кардинальное увеличение эффективности использования энергоресурсов на всех стадиях: производства, передачи и их потребления. Система теплоснабжения является важной составляющей созданного в последние 60 лет хозяйственного комплекса страны. Этот комплекс не может быть кардинально изменен даже за десятилетие из-за ограниченности ресурсов финансовых, людских, временных и т.п.

Каждый хозяйственный комплекс характеризуется сложившейся индивидуальной структурой энергобаланса, включающего первичные и вторичные энергоресурсы, побочные потоки энергии¹. Что характеризует хозяйственный комплекс Беларуси? Прежде всего, развитая газовая инфраструктура в широком смысле: газотранспортная система; теплотехнологии, ориентированные на применение природного газа; специалисты, подготовленные для работы с этим топливом.

Используемые в Беларуси первичные энергоресурсы составляют $\approx 0,3$ % мирового потребления, в том числе до $\approx 0,5$ % потребления природного газа [5]. Если мы прекратим всякую деятельность, связанную с потреблением топлива, очевиден факт, что значимых изменений ни в экологической ситуации, ни в объёмах запасов невозобновляемых энергоресурсов на планете Земля не произойдёт. Однако это не означает, что мы не должны бережно относиться как к окружающей среде, так и потреблению первичных энергоресурсов. Вместе с тем, не представляется разумным «бежать впереди планеты всей», интенсивно развивая технологии энергообеспечения, которые сегодня в сравнении с альтернативными решениями крайне дороги, а потому ведут, по большому счету, только к перерасходу столь необходимых стране средств. По сути, они инвестируются в разработку и производство соответствующих технологий и оборудования в отдельных, заметим, далеко не бедных, странах.

Более взвешенно следует рассматривать и использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые, конечно, привлекательны, но объективно не способны обеспечить у нас необходимого изменения ситуации. ВИЭ можно и нужно развивать, но не в ущерб

¹ Вторичные энергоресурсы — это преобразованные потоки энергии: электроэнергия, тепловая энергия с различными энергоносителями. В этом контексте использован термин «вторичные энергоресурсы». Широко используемое понятие ВЭР, не совсем корректно и вносит путаницу. Поэтому в статье, как предписывает соответствующая литература, применяется термин «Побочные энергоресурсы».

(за счёт) промышленности и энергетике, отвлекая и без того ограниченные ресурсы от более радикальных шагов по сокращению потребления импортируемого топлива. Пагубно и загружать реальный сектор экономики связанным увеличением тарифов на электроэнергию, компенсируя затраты на покупку электроэнергии у производителей полученную преобразованием энергии ветра, солнечного излучения, использования биогаза и т. п.

Аналогичный подход в части взвешенности решений, справедлив и в отношении экологии. Не следует вводить чрезмерные, неоправданные требования, например, по выбросам оксидов азота, затрудняя, а то и блокируя ввод экономически выгодных установок, например, на базе газо-поршневых агрегатов, давая дорогу другим, например, газотурбинным, микро-турбинным установкам, менее экономичным и более энергозатратным применительно к используемым на промышленных предприятиях типоразмеров. В результате такой заботы об экологии получаем в 1,5 раза большие выбросы диоксида углерода ответственного за парниковый эффект, борьба с которым приобрела статус первостепенной мировой задачи.

Исходя из сказанного, на наш взгляд, представляется наиболее целесообразным дальнейшие шаги по развитию энергосбережения в Беларуси ориентировать на использование природного газа, разведанных запасов которого, по оценкам РАН и признанных мировых институтов, хватит на 200–250 лет при сохранении нынешнего уровня энергопотребления [6–8]. Неизбежный рост цены природного газа можно компенсировать значительным (до 40 %) повышением эффективности его использования [9]. Кроме того, ввод атомной электростанции на треть снизит его потребление в электроэнергетике.

Развитие энергообеспечения

Согласно концепции интенсивного энергосбережения, сформулированной профессором А. Д. Ключниковым, почти четверть века возглавлявшим факультет промышленной теплоэнергетики МЭИ, следует, что для достижения максимального энергосберегающего потенциала надо расширять систему, энергосберегающую базу, вовлекаемую в процесс рационализации энергоиспользования [10, 11]. Это ключевой момент, на который следует обратить внимание. Расширение энергосберегающей базы ускорит решение стоящей перед нами глобальной задачи обеспечения относительной энергетической безопасности. К сожалению, абсолютная энергетическая безопасность на сегодня, следует признать, недостижима.

Методология энергосбережения. Адрес энергосберегающего потенциала известен, это теплотехнологии, конечная стадия энергоиспользования, ради которой, собственно, и добываются первичные энергоресурсы и где теоретические затраты на проведение тепловой обработки зачастую не превышают 10 % фактического энергопотребления [10, 11]. Аналогичная ситуация, хотя и несколько лучшая, с теплоснабжением городов и поселков городского типа, где требуемый прорыв в снижении потребления топлива может быть обеспечен, в основном, за счет расширения энергосберегающей базы. Традиционная методическая основа решения проблемы энергосбережения, отличающаяся дискретностью энергетического анализа в узких границах отдельных технологических агрегатов и в рамках частных мероприятий, оказывается недостаточной для исследований, нацеленных на выявление предельно полного резерва энергосбережения в технологических комплексах материального производства, основное ядро которого, как это ни странно звучит, часто находится преимущественно вне физических границ отдельных конечных приемников энергии – в зонах контакта технологических полупродуктов и продуктов с окружающей средой. Поэтому предпосылкой радикального сдвига в решении проблемы энергосбережения в сфере материального производства является внедрение новой методической основы, базирующейся на системном подходе [10, 11]. Главные особенности этой методологии:

1. Объектом энергетического анализа служат замкнутые отраслевые технологические комплексы материального производства, которые только и могут формировать базу поиска крупномасштабного энергосберегающего эффекта.
2. Конкретным средством поиска крупномасштабного энергосберегающего эффекта выступает полная совокупность выявляемых технологических, энергетических, теплотехнических и технических мероприятий интенсивного энергосбережения.

При этом в условиях многоступенчатых технологий особое значение приобретают технологические мероприятия.

Непосредственно предприятия должны активизировать работы направленные на:

1. Выявление и разработку энергосберегающих решений существующих теплотехнологий.
2. Модернизацию технологий и их энергообеспечения. Последнее наиболее просто осуществить на базе когенерации как традиционной, так и теплотехнологической. Если традиционная когенерация расширяет теплофикацию количественно, вовлекая в процесс комбинированной выработки энергопотоков мелкие потребители тепловой энергии, теплотехнологическая когенерация расширяет теплофикацию качественно, вовлекая в нею потребителей тепловой энергии, требующие идеально-газовые теплоносители и высокотемпературные органические теплоносители. Теплотехнологическая когенерация, при которой двигатели внутреннего сгорания встраиваются непосредственно в теплотехнологию, более выгодна. Во-первых, потому, что используется уже установленное теплоутилизационное оборудование, которым являются технологические установки. Во-вторых, имеет место замещение прямого сжигания природного газа для проведения средне- и низкотемпературных тепловых операций, где оно наименее эффективно с термодинамических позиций.

При разумной энергетической политике распределенные источники, мощность которых уже сегодня в стране превысила 0,6 ГВт и может превысить 1 ГВт, способны существенно облегчить обеспечение графиков электропотребления ОЭС Беларуси. Актуальность последнего обусловлена предстоящим вводом в строй Белорусской АЭС.

3. Утилизацию сбросных потоков:
 - 3.1. Средне- и высокотемпературных.
 - 3.2. Низкотемпературных с помощью абсорбционных тепловых насосов (АБТН), обеспечивающих уже на сегодняшнем уровне не менее 40 % снижение расхода топлива и, главное, финансов на получение сетевой воды и технологической горячей воды.
4. Замену электроэнергии механической, тепловыми формами энергии для крупных потребителей. Это и замена электрического привода различными тепловыми двигателями, прежде всего двигателями внутреннего сгорания. Это замена парокомпрессионных холодильных машин абсорбционными установками при наличии дешевой тепловой энергии когенерационных источников и ей подобных.
5. Вытеснение редуцирования (дросселирование) потоков адиабатным расширением с выработкой электроэнергии (утилизационные газовые и паровые турбины). При этом целесообразно рассмотреть несколько по иному использование паровых отопительных котельных с сетевыми паровыми подогревателями, допустимая нагрузка которых может достигать 30 Гкал/час.

Безусловно, для решения стоящих задач требуются квалифицированные кадры, которых в настоящее время остро не хватает и необходимо неформально развивать систему их подготовки.

Требуется усовершенствовать систему тендерного отбора исполнителей проектов. Сегодня зачастую отдается предпочтение организациям, которые, в конечном счете, дискредитируют проектные решения, поскольку не имеют ни опыта, ни кадров требуемой квалификации, но берутся выполнить работы при минимальной оплате, рассчитывая привлечь специалистов, часто случайных.

Необходимо обеспечить закупки современного, высокоэффективного оборудования и добиться ответственности специалистов за принятые решения. Формально это имеет место, на деле из-за отсутствия квалификации и (или) государственной позиции у заказчиков, поставщики оборудования добиваются решений исходя из своих частных интересов, заручившись зачастую поддержкой институтов, призванных исключить подобное. Яркий пример

тому - неоправданно широкое распространение микротурбинных и газотурбинных установок на промышленных предприятиях с игнорированием всех технико-экономических показателей и необходимых расчетов.

Однако и этого недостаточно для экономики Беларуси и, в этом контексте, для достижения результата, в котором остро нуждается хозяйственный механизм страны, необходимо расширение энергосберегающей базы с выходом за границы предприятий путем объединения их теплоэнергетических систем с системами теплоснабжения и иными системами энергообеспечения сопряженных населенных пунктов. В результате такого объединения, и это заслуживает внимания, будет иметь место расширение и изменение состава теплогенерирующих источников систем теплоснабжения, что, в конечном итоге, приведет к качественному изменению последних подобного тому, что имело место в двадцатые годы прошлого века в СССР. Тогда был сделан шаг по изменению всей существовавшей системы энергоснабжения: апробирован переход от автономного тепло- и электроснабжения к комбинированному производству соответствующих энергоресурсов

В нашем случае речь идет об использовании в системе централизованного теплоснабжения побочных энергетических потоков промышленного производства и не только наряду с традиционными теплоисточниками, такими как котельные и ТЭЦ, работа которых основана на потреблении первичных энергоресурсов. К побочным потокам, о которых здесь идет речь, следует отнести, прежде всего, низкотемпературные тепловые потоки, в избытке образующиеся как при реализации промышленных теплотехнологий, так и в жилищно-коммунальном хозяйстве (канализационные стоки).

Энергетическая база систем теплоснабжения и ее развитие

Низкотемпературные (до 50 °С) тепловые потоки, которые в той или иной степени организованы, составляют не менее 30 % тепловых выбросов промышленных предприятий. Поскольку все потребление энергии промышленными предприятиями, в конечном счёте, рассеивается в окружающей среде в тепловой форме, нетрудно определить величину и отметить значительный потенциал рассматриваемого теплового потока, поскольку на промышленность приходится до 40 % энергоресурсов, расходуемых в стране. Коммунальному хозяйству требуется приблизительно такое же количество энергоресурсов, как и промышленности, т. е. те же 40 % общего потребления. Расходуемая системами горячего водоснабжения энергия, в конечном итоге, также рассеивается в окружающей среде с канализационными стоками и, как принято считать, составляет до 30 % энергии, необходимой системам теплоснабжения. Однако низкая температура упомянутых потоков коммунальных и промышленных не позволяет их повторное прямое использование.

Среднетемпературные (до 120 °С) тепловые выбросы промышленных предприятий и, в ряде случаев, тепловые потоки с более высокой температурой используются частично или вовсе не используются из-за отсутствия спроса. При этом, как правило, потенциальные потребители, такие как системы теплоснабжения, расположенные по соседству с источниками выбрасываемых тепловых потоков, игнорируются. Между тем, объём этих тепловых выбросов, их энергосберегающий потенциал соизмерим с вышеупомянутыми низкотемпературными побочными тепловыми потоками промышленного производства. Например, Белорусский металлургический завод, по данным энергоаудита, в 2000 г. рассеивал технологические побочные тепловые потоки в воздушных охладителях с температурой и в объеме достаточных для теплоснабжения г. Жлобин в межотопительный период, т. е. для закрытия потребности горячего водоснабжения города, а это 30 % потребности системы теплоснабжения. И это величина энергосбережения может быть только увеличена за счет утилизации низкотемпературных потоков либо завода, либо коммунальных на величину до $(100 \% - 30 \%) \cdot 40 \% = 28 \%$ общей потребности теплоснабжения. В итоге можно рассчитывать на снижение потребления топлива на теплоснабжение города порядка 50 %.

Котельные в системе теплоснабжения страны занимают одно из доминирующих мест, многие из них являются производственно-отопительными. Рядом с ними, в большинстве случаев, имеются промышленные предприятия, на которых те или иные тепловые низкотем-

пературные потоки предприятий рассеиваются в окружающей среде градирнями систем оборотного водоснабжения, или сбрасываются в канализацию. Связано это с тем, что температура их низка и не позволяет найти потребителей теплоты охлаждения этих потоков. Так, Борисовское СП «ФреБор» ООО, по приблизительным оценкам, сбрасывает в отопительный период через испарительные градирни тепловой поток мощностью до 6 МВт. Технологический, непрерывный сброс теплоты системой оборотного водоснабжения ОАО «Мозырсьоль», в первом приближении, оценивается потоком мощностью до 20 МВт. Завод «Полимир» ОАО «Нафтан» вынужден непрерывно рассеивать через градирни тепловой поток мощностью от 100 МВт в отопительный период до 200 МВт в межотопительный период. Отделочные производства предприятий легкой промышленности сбрасывают в среднем в сутки не менее 20 ГДж с канализационной водой, использование которой возможно и внутри самих предприятий несмотря на то, что производство ориентировано на паровой теплоноситель. Использование теплоты стоков отделочных производств возможно и внешними потребителями. Во всех случаях, по предварительным оценкам, достигается заметное улучшение финансового положения предприятий. Отметим еще раз, что все перечисленные потоки не используются, поскольку их температура низка.

Сегодня изменилась техническая база, например, появились эффективные абсорбционные тепловые насосы (АБТН), позволяющие изменить ситуацию с утилизацией низкотемпературных тепловых потоков и принести значительную финансовую выгоду.

Техническая база

Если говорить об утилизации среднетемпературных потоков и потоков с более высокой температурой, то вопросы возникают лишь в отношении согласования и взаимовыгодного объединения интересов различных субъектов хозяйствования и предприятий, поскольку необходимое техническое обеспечение, прежде всего, теплообменные аппараты, в том числе и успешно работающие на потоках загрязнённых, агрессивных и других сред, имеются в достаточном ассортименте. Прежде всего, это теплообменники ТТАИ, выпускаемые ООО «Кедр» в г. Гомель, широко известные в стране и хорошо себя зарекомендовавшие на протяжении десятилетия [14].

Сегодня ситуация изменилась и, в дополнение к изменениям в оценке энергоресурсов, появились надёжные и удобные в эксплуатации абсорбционные бромисто-литиевые тепловые насосы (АБТН), получившие название чиллеров [16]. Они достаточно дешевые, выпускаются рядом компаний с мировым именем, что косвенно свидетельствует об их популярности и широком применении в развитых странах. Например, АБТН наиболее успешной в мире и широко известной у нас китайской корпорацией BROAD. Период их эксплуатации составляет 20 лет, в ходе которых не нужны расходные материалы. Это, конечно, при условии ответственной эксплуатации, что при наличии квалифицированного персонала и опыта в условиях Беларуси не является проблемой. Дополнительной нагрузки на экологию при использовании АБТН не создается. Их типоразмерный ряд охватывает диапазон от десятков киловатт до десятков мегаватт мощности отпускаемого теплового потока сетевой воды, нагреваемой до 85 °С, что достаточно для решения обозначенной задачи. Утилизируют АБТН тепловые потоки в диапазоне температур от 12 до 50 °С. Тепловые потоки с более высокой температурой целесообразно, как доказано, использовать непосредственно. Приводом для АБТН, и это важно, служит относительно дешевая тепловая энергия. Возможные теплоносители: пар, дымовые газы, перегретая вода, наконец, топливо жидкое и газообразное. В последнем случае имеется возможность увеличивать мощность отпускаемого потока теплоты от АБТН и выполнять функции водогрейного котла и за счет дополнительного потребления топлива сверх того, что требуется для утилизации имеющегося теплового потока. Соотношение потоков, составляющих баланс энергии АБТН, определяется их энергетическим КПД (отопительным коэффициентом, коэффициентом преобразования). Сегодня это соотношение таково: утилизируемый низкотемпературный поток — 40 %, затраты энергии теплогенерирующего источника — 60 %, поток теплоты сетевой воды — 100 %. Соответствующие решения проектировщиков (по схемам использования и подбору параметров теплоносителей) могут обес-

печить работу АБТН с более высоким коэффициентом преобразования, и снизить затраты энергии теплогенерирующего источника с 60 до 45 %, соответственно увеличив вклад утилизируемых потоков и снизив долю потока топлива. В случае широкого использования АБТН соотношение весов утилизируемого теплового потока и затрат теплоты теплогенерирующим источником может быть несколько улучшено и за счёт заинтересованности изготовителей в изменении характеристик теплопередающих пучков теплообменников АБТН.

Однако уже сегодня АБТН обеспечивают, при сопряжении с котельными, до 40 % экономии топлива и, соответственно, средств на его покупку, что крайне важно. Ведь топливная составляющая себестоимости отпускаемой котельной тепловой энергии высока и может достигать 90 %. Оправданно, в этой связи, ожидание высоких экономических показателей проектов модернизации. Естественно, необходимо наличие соответствующих побочных тепловых потоков.

Из рассмотрения следует, что проблем, нерешаемых в техническом плане, нет. Остается лишь заинтересовать предприятия и организации различных ведомств в переходе к качественно новой системе централизованного теплоснабжения, и этот переход станет достойным ответом на вызов времени.

Выводы

1. Теплотехнологии, базирующиеся на использовании природного газа, являются основной базой энергосбережения в республике и, в этой связи, целесообразно дальнейшие шаги по развитию энергообеспечения и энергосбережения ориентировать в направлении повышения эффективности использования именно этого топлива с тем, чтобы потребность в импорте природного газа снизилась на десятки процентов.
2. Дальнейшее развитие энергосбережения, ориентированного на реализацию максимального энергосберегающего потенциала, должно базироваться на принципах системного подхода, которые и заложены в основу концепции интенсивного энергосбережения.
3. Необходимо рассмотреть вопрос о качественном изменении системы теплоснабжения городов, предусматривающем объединение теплоэнергетических систем промышленных предприятий, энергосистемы и ЖКХ в части использования в системе централизованного теплоснабжения побочных энергетических потоков. Это позволит снизить потребление топлива системами теплоснабжения на 30 %, что приведёт к экономии до 10 % потребляемых в стране первичных энергоресурсов, улучшит экологическую обстановку, облегчит покрытие суточных графиков генерации электроэнергии, что актуально с вводом АЭС и, в связи с этим, обеспечит дальнейшую системную экономию топлива.
4. Для согласования и объединения интересов различных субъектов хозяйствования, необходимо создание соответствующей законодательной базы, регулирующей взаимоотношения предприятий промышленности и водопроводно-канализационного хозяйства, с одной стороны, при использовании их тепловых потоков в системах теплоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства и энергетики, с другой стороны. Техническая база и квалифицированный персонал для реализации предлагаемых изменений в Беларуси имеются. Современные апробированные технологии также доступны, и их внедрение не является проблемой.

Изложенное указывает на целесообразность и необходимость внесения в план перспективных национальных проектов, приоритетных на 2016–2030 г. входящих в разрабатываемый документ «Стратегия. Республика Беларусь-2030: формирование экономики знаний» положение о необходимости развития систем централизованного теплоснабжения за счет использования побочных тепловых потоков промышленных предприятий, станций очистки канализационных стоков на базе абсорбционных тепловых насосов, что, по предварительным

оценкам, обеспечит снижение потребления топлива системами централизованного тепло-снабжения не менее 30 %.

Список использованных источников

1. Пророков Н. «Пределы роста»: мир приближается к коллапсу [электронный ресурс]: 2014. Режим доступа: <http://theoryandpractice.ru/posts/9566-predely-rosta> Дата доступа: 11.09.2014.
2. Медоуз, Д. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Медоуз, Й. Рандерс, Д. Медоуз. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 342 с.
3. Лаверов, Н.П. Топливно-энергетические ресурсы: состояние и рациональное использование / Н.П. Лаверов // Энергетика России: проблемы и перспективы: тр. науч. сессии РАН: общ. собрание РАН 19 -21 декабря 2005 г. / под ред. В.Е. Фортотова, Ю.Г. Леонова; РАН. М.: Наука, 2006. С. 21 - 29.
4. Михалевич, А.А. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: компоненты, вызовы, угрозы [электронный ресурс]: 2010. Режим доступа: http://nmnby.eu/pub/0911/energy_security.pdf Дата доступа: 26.03.2010.
5. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в промышленных теплотехнологиях / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Т.В. Бубырь // Энергия и Менеджмент. № 6. 2013. С. 8–12.
6. Коротаяев, Ю.П. Природный газ доминанта современной и будущей энергетики России и мира / Ю.П. Коротаяев. М.: Нефть и газ, 1996. 83 с.
7. Судо, М.М. Энергетические ресурсы. Нефть и природный газ. Век уходящий / М.М. Судо, Э.Р. Казанкова // Россия в окружающем мире: аналитический ежегодник / Международный независимый эколого-политологический университет. М., 1998. С. 10–22.
8. Глава ВР попросил инвестиций в энергетику на 30 триллионов долларов. [электронный ресурс]: TUT.BY / НОВОСТИ. 2009. Режим доступа:<http://news.tut.by/150361.html> Дата доступа: 20.10.2009.
9. Романюк, В.Н. Интенсивное энергосбережение в теплотехнологических системах промышленного производства строительных материалов: дис. докт. техн. наук: 05.14.04 / В.Н. Романюк; БНТУ. Мн., 2010. 365 с.
10. Ключников, А.Д. Предпосылки радикального повышения эффективности работ в области энергосбережения / А.Д. Ключников // Промышленная энергетика. № 4. 2001. С. 12–17.
11. Ключников, А.Д. Интенсивное энергосбережение: предпосылки, методы, следствия / А.Д. Ключников // Теплоэнергетика. № 11. 2000. С. 12–16.
12. Шински, Ф. Управление процессами по критерию экономии энергии / Ф. Шински. М.: Мир, 1981. 388 с.
13. Богачева, А.И. Паровинтовая машина ПВМ-1000 обеспечивает электроэнергией центральную котельную в г. Муравленко / А.И. Богачева, М.Н. Никитин, А.Н. Шаповалов // Турбины и дизели. № 3 (май-июнь). □ 2011. С. 48 - 51
14. Барон, В.Г. Легенды и мифы современной теплотехники (пластинчатые теплообменные аппараты и кожухотрубные аппараты ТТАИ) / В.Г. Барон // Энергоэффективность. № 2. 2007. С. 17-19.
15. Кошкин, Н.Н. Холодильные машины: Учебн. для вузов по специальности «Холодильные машины и установки» / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек и др. Под общ. ред. И.А. Сакуна. Ленинград: Машиностроение, 1985. 510 с.
16. Романюк, В.Н. Абсорбционные тепловые насосы в теплоэнергетических системах промышленных предприятий для снижения энергетических и финансовых затрат / В.Н. Романюк, А.А. Бобич, Д.Б. Муслина и др. // Энергия и менеджмент 2013. № 2. С. 49.

**ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ARRES ДЛЯ АНАЛИЗА
РЕЖИМОВ И ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,38–10 кВ**

*Фурсанов М.И., Макаревич В.В., Мышкова Е.М.
Белорусский национальный технический университет*

Демонстрируется усовершенствованная версия программного комплекса ARRES, разработанного в НИИЛ «Электроэнергетические системы и их автоматизация» энергетического факультета Белорусского национального технического университета.

Комплекс предназначен для решения широкого круга эксплуатационных и проектных задач расчёта и анализа режимов и потерь электроэнергии распределительных электрических сетей 0,38–10 кВ.

Эксплуатационные задачи:

1. Расчёт параметров режима и потерь электроэнергии в электрических сетях 0,38–10 кВ по режимным данным сетей 6–10 кВ на основе схем распределительных линий (РЛ) 0,38–10 кВ в однолинейном исполнении с указанием числа фаз. В качестве режимной информации используются графики активных и реактивных нагрузок вводов 6–10 кВ силовых трансформаторов, полученные по данным цифровых систем учета или расчетным путем на основе факторного анализа или пропуска электрической энергии по отходящим линиям 6–10 кВ. Кроме того, задаются средние мощности активные и реактивные мощности и типовые графики потребителей электрических сетей 0,38 кВ.

2. Пофазный расчёт параметров режима и потерь электроэнергии. Методика позволяет выполнять расчёты технических потерь электроэнергии в сетях 0,38–10 кВ на основе пофазных схем замещения.

3. Расчёт параметров режима и потерь электроэнергии по данным нагрузок потребителей при кодировании схемы сети пофазно.

4. Расчёт параметров режима и потерь электроэнергии по данным ГУ и известном полезном отпуске каждому потребителю (оплаченной потребителем электроэнергии), при этом параметры ГУ распределяются пропорционально данным по оплате за потреблённую электроэнергию.

5. Оптимальное подключение нагрузок по фазам – оптимальное подключение потребителей по фазам с целью достижения минимума несимметрии токов и напряжений.

Помимо эксплуатационных задач комплекс позволяет решать задачи проектирования (модернизации) электрических сетей 0,38 кВ:

1. Электрический расчёт проектируемой распределительной линии (РЛ), где выполняется суммирование проектных нагрузок проектируемой РЛ, далее определяется потокораспределение, рассчитываются токи и потоки мощности по участкам РЛ, напряжения в узлах и потери напряжения по участкам, потери мощности по участкам и токи однофазных, двухфазных и трехфазных коротких замыканий во всех узлах схемы проектируемой РЛ.

2. Выбор коммутационных аппаратов на головных участках линии. Предлагается список всех подходящих по расчетным параметрам предохранителей и автоматических выключателей из справочников.

3. Выбор числа и мощности трансформаторов проектируемой подстанции. Производится выбор типа нагрузки подстанции с характерным расчётным сезоном и среднесуточной температурой предусматривается резервирование с соседними подстанциями.

4. Определение габаритов при переходе через инженерные сооружения. По выбранному участку проектируемой РЛ будет графически отображен выбранный участок

РЛ (пролёт) с реальной кривой провисания провода и отметкой габарита у инженерного сооружения.

5. Оптимальное подключение потребителей по фазам по критериям минимума несимметрии токов и напряжений (фазировка).

Для удобства восприятия исходной информации предлагается табличная и графическая формы ее представления. В качестве исходной информации используются топология и параметры схем замещения и режимные данные: средние мощности и типовые графики потребителей электрических сетей 0,38 кВ, по сети 6–10 кВ графики активных и реактивных нагрузок вводов 6-10 кВ силовых трансформаторов 35-750 кВ, полученные по данным цифровых систем учёта или отпуски электрической энергии по данным приборов учёта на отходящих линиях 6-10 кВ.

Графическое отображение схемы формируется на основе топологии сети и предусматривает два режима:

1. Создание графического отображения существующей схемы РЛ 0,38 кВ на основе закодированной информации в табличном редакторе.

2. Создание новой схемы РЛ 0,38 кВ в графическом редакторе.

Комплекс ARRES представляет широкие сервисные возможности по вводу и переработке топологической и режимной информации, удобный интерфейс отображения, предварительного просмотра, печати и конвертации в MS Excel всех результатов расчёта.

Вывод: Рассмотренный комплекс используется во многих структурных подразделениях энергосистемы Республики Беларусь: РУП «Могилёвэнерго», РУП «Брестэнерго», РУП «Гродноэнерго», РУП «Гомельэнерго», применяется в учебном процессе при выполнении курсовых и дипломных проектов.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ ЗДАНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ

Ануфриев В.Н.

Белорусский национальный технический университет

Одним из перспективных направлений ресурсосбережения является снижение затрат энергии и других ресурсов при эксплуатации зданий. Известно, что длительное время градостроительная политика имела экстенсивный характер. При строительстве зданий определяющим было внедрение технических решений снижающих стоимость строительства. Такой подход приводил в большинстве случаев к росту удельных затрат тепловой и электрической энергии при последующей эксплуатации построенных зданий. Значительный рост стоимости энергоресурсов привел к необходимости переосмысления прежних принципов проектирования и строительства зданий в направлении более рационального использования энергии, широкого применения энергоэффективных конструктивных элементов, материалов и инженерных систем.

В странах ЕС базисным документом в этой области является Директива 2010/31/ЕС Энергетические характеристики зданий [1], которая определяет также основные положения по энергосертификации зданий. Для имплементации Директивы разработан ряд стандартов, регламентирующих порядок оценки отдельных инженерных систем зданий.

В Республике Беларусь энергосбережение в настоящее время также является актуальным направлением деятельности, что отражено в ряде законодательных и нормативных правовых актов. В этой части возможность введения системы энергетической сертификации зданий базируется на положениях Директивы № 3 Президента Республики Беларусь, Указе Президента Республики Беларусь № 433, Законе Республики Беларусь «Об энергосбережении» [2,3,4]. Возможность введения системы энергетической сертификации зданий основывается на реализации положений статей 11-14 Закона Республики Беларусь «Об энергосбережении» [4], который устанавливает принципы технического нормирования, стандартизации, подтверждения соответствия требованиям ТНПА в области технического нормирования и стандартизации и обеспечения единства измерений в сфере энергосбережения, которые регламентируют рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и их экономию, а также устанавливает общие требования к порядку проведения энергетического обследования предприятий, учреждений, организаций, которые могут быть использованы при установлении области применения энергетической сертификации зданий.

В Республике Беларусь действует система сертификации, правовые основы которой установлены Законом Республики Беларусь «Об оценке соответствия требованиям технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации» [5,6]. Таким образом, внедрение энергетической сертификации зданий может быть реализовано в рамках существующей законодательной базы.

Вместе с тем, при наличии отдельных технических нормативных правовых актов по определению параметров энергопотребления зданий [7, 8], в Республике Беларусь отсутствует развитая, комплексная система стандартов, регламентирующих порядок определения энергетических характеристик зданий и их оценку. Из двух возможных вариантов решения данной задачи: разработки собственной системы или адаптации стандартов ЕС, выбран второй вариант и проводится работа по введению серии европейских стандартов по определению энергетических характеристик зданий и показателей их энергоэффективности в качестве национальных с идентичной степенью соответствия, а также разработка национальных приложений к ним. В частности переведены и прошли процедуры согласования стандарты, связанные с определением параметров систем отопления и горячего водоснабжения. [9-15]. Ряд стандартов находятся на стадии подготовки к рассмотрению и согласованиям. Особенностью подхода к стандартизации методов определения энергетических характеристик данных ин-

женерных систем является их подразделение на подсистемы: производства тепла (тепловые пункты, котлы, тепловые насосы, солнечные коллекторы и т.д.), распределения тепла (циркуляционные контуры, системы трубопроводов) и передачи тепла (отопительные приборы, водоразборные приборы горячего водоснабжения). Исходя из указанной структуры, определяется потребность в тепловой и вспомогательной энергии, рекуперлируемые и не рекуперлируемые тепловые потери для каждой из подсистем и для инженерной системы в целом.

По завершению работ по данной программе перечень ТНПА пополнится национальными стандартами с идентичной степенью соответствия европейским стандартам, что позволит установить порядок классификации зданий по их энергоэффективности, и установить требования к содержанию и порядку составления энергетического паспорта при проектировании и эксплуатации зданий.

Список использованных источников

1. Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
1. 2 Экономия и Бережливость – главные факторы энергетической безопасности государства. Директива Президента № 3 от 14.06.2007.
2. Указ Президента Республики Беларусь №433 от 17.09.2007 «Об утверждении концепции энергетической безопасности».
3. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» 15 июля 1998 г. № 190-3.
4. Закон Республики Беларусь «Об оценке соответствия требованиям технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации» от 5 января 2004 г. № 269-3.
5. Закон Республики Беларусь 31 декабря 2010 г. № 228-3 «О внесении изменений и дополнений в некоторые законы Республики Беларусь по вопросам оценки соответствия требованиям технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации».
6. ТКП 45-2.04-196-2010 (02250) Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики. Правила определения.
7. ГОСТ 25891-83 Здания и сооружения. Методы определения сопротивления воздухопроницаемости ограждающих конструкций.
8. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы».
9. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы», часть 1. Общие требования.
10. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы», часть 2-1. Системы передачи тепла для отопления.
11. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы», часть 2-3. Системы распределения тепла для отопления зданий.
12. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы», часть 3-1. Системы горячего водоснабжения, характеристика водопотребления (режимы водоразбора).
13. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы», часть 3-2. Системы горячего водоснабжения, распределение.
14. EN 15316 «Системы отопления зданий. Метод расчета энергетических характеристик и показателей эффективности системы», часть 3-3. Системы горячего водоснабжения, производство тепла.

**О НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ И ИННОВАЦИОННОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ ДГТУ,
ВУЗОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ, ЮГА РОССИИ И РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ***Прокопенко Н.Н.**Донской государственный технический университет*

Национальная академия наук Беларуси представила План-перспектив стратегии развития экономики Беларуси до 2030, в рамках которого, наука и образование рассматриваются основой инновационных разработок, видения, использования ресурсов, организации производства.

Одним из важнейших инструментов инновационного развития науки и образования выступают Межгосударственные объединения, решающие задачи интеграции ресурсов в сфере инноваций, обеспечивая решение задачи перехода экономик Ростовской области России и Беларуси на новый технологический уклад.

В Донском государственном техническом университете ведется большая работа в рамках российско-белорусского сотрудничества, которая определила необходимость создания Межгосударственных объединений - Международного исследовательского центра коллективного пользования Союзного государства (МИЦКП СГ) и Межнационального консорциума образовательных, научно-исследовательских организаций и производств «Новый элемент». Руководство деятельностью вышеназванных структур осуществляет Объединенный Центр инновационных образовательных, научных исследований и производств (ОЦ ДГТУ). Директор ОЦ ДГТУ д.п.н, профессор Н.К. Карпова.

Основные цели Международного исследовательского центра Союзного государства состоят в обеспечении выполнения фундаментальных и прикладных инновационных разработок, используя уникальное аналитическое, испытательное и технологическое оборудование, а так же потенциал профессорско-преподавательского состава и научных работников ДГТУ, Вузов, НИИ Ростовской области, Юга России и Республики Беларусь.

Межнациональный консорциум призван решать конкретные задачи, а именно способствовать реализации инновационных научных разработок в промышленное производство.

На сегодняшний день формализовать ведущиеся проектные разработки в рамках вышеназванных структур выразили желание ЮФУ, БГУ, БНТУ, БГУИР (Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники), ГЦ «Белмикроанализ, ГНПО «Планар», Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом» (ОАО «Приборный завод «Сигнал»), ОАО «Концерн Радиоэлектронные технологии» (ОАО «КБ «Связь», «ВНИИ «Градиент», ОАО «ТНИИС», ОАО «НИИ СИИС») ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение» (ОАО «Горизонт») и другие.

Объединенным Центром ДГТУ сформирован комплекс инновационных исследований, включающий свыше 500 проектов. Ученые Ростовской области, Юга России и Беларуси сосредоточили усилия на гуманитарном, медицинском, химико-биологическом, агропромышленном, инженерном, физико-математическом направлениях, информационных, микро- и нанотехнологиях.

Тематика проектов разнопланова: «Разработка экологически безопасных технологий утилизации и применения отходов нефтегазового комплекса», «Выращивание сельскохозяйственных растений по системе малообъемной технологии», «Агропромтехнология экологического земледелия», «Георадиолокационная диагностика объектов инфраструктуры автомобильных и железных дорог», «Получение износостойких покрытий и их применение в автомобильном транспорте и медицине», «Разработка общей схемы плавки гололеда в районе электрических сетей», «Создание фотодинамических молекулярных систем для мониторинга экологического состояния водных ресурсов», «Решение комплексных проблем по самоуплотняющимся бетонам и сухим строительным смесям», «Диагностика оценки и риска

предразрушающего состояния потенциально опасных конструкций с целью предотвращения или ликвидации последствий аварии, техногенной катастрофы» и другие.

Инновационные исследования осуществляются в Международных научно-учебно-производственных лабораториях, которые входят в организационную структуру Международного исследовательского центра. Такие лаборатории работают в БГУ, ОАО «Интеграл», ДГТУ, ВУЗах, НИИ, КБ Юга России. Персональный состав представлен ведущими учеными.

Объединенным Центром ДГТУ сформирован комплекс изделий (порядка 200) готовых к серийному производству, включающий оборудования для разработки донных отложений, горнодобывающее оборудование, программный комплекс эффективного управления процессом формирования поездов, зерноочистительный агрегат (разработки ДГТУ), оборудование для сушки и обеззараживания зерна, предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур; обеззараживание зерновой основы для приготовления комбикормов (ТНИИС) и др.

Представляет интерес СВЧ Пастеризатор для обеззараживания жидких продуктов: молока, соков, вина, детского питания, консервов. Выстроена технологическая производственная цепочка: Таганрогский научно-исследовательский Институт связи – ОАО «Горизонт» – ОАО «Продмаш». Эта уникальная разработка обеспечит сохранение натуральных качеств продуктов без использования консервантов.

Деятельность Межгосударственных объединений позволит осуществить внедрение проектов в промышленное производство, реализовав на практике технологическую цепочку: инновационный проект - инновационный продукт – потребитель и послужить в перспективе необходимой базой для вхождения в экономическое пространство Евразийского Союза.

В ДГТУ разработаны Основные положения Стратегии инновационного развития науки и образования Ростовской области, Юга России и Республики Беларусь.

Стратегия формируется на период до 2030 года и включает реализацию Программ:

- Инновационное развитие науки, образования и технологий Ростовской области, Юга России и Республики Беларусь;
- Развитие инновационной инфраструктуры Союзного государства;
- Подготовка кадров для Ростовской области, Юга России и Республики Беларусь.

Программы структурируют комплекс краткосрочных, среднесрочных, долгосрочных инновационных проектных разработок. Проекты выступают основой стратегического программирования, контекстом которого выступает социально-экономическая среда.

В качестве пилотных проектов Стратегии инновационного развития науки и образования предложены: Международный исследовательский центр коллективного пользования Союзного государства (МИЦКП СГ) и Межнациональный консорциум образовательных, научно-исследовательских организаций и производств «Новый элемент».

Реализация пилотных проектов позволит создать инновационную инфраструктуру, способствующую интеграции ресурсов, формированию конкурентоспособного инновационного сектора научных исследований и разработок, ориентированную на модернизацию экономики Ростовской области, Юга России и Республики Беларусь на основе реально действующей технологической цепочки – инновационный проект – инновационный продукт – потребитель.

ОПЕРАТИВНЫЕ РАСЧЁТЫ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 0,38–10 кВ ОЭС БЕЛАРУСИ

Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В.

Белорусский национальный технический университет

Под оперативными расчетами понимается определение нагрузочных потерь электроэнергии на основе режимной информации (электроэнергии, активных и реактивных мощностей, коэффициентов мощности, токов, напряжений) оперативно получаемой по данным диспетчерских ведомостей, оперативных измерительных комплексов и автоматизированных систем учета и контроля электроэнергии. Ранее проведение таких расчетов в электрических сетях 0,38 – 10 кВ не представлялось возможным из-за отсутствия необходимых режимных данных. В ближайшие годы в Республике Беларусь предусматривается установка цифровых учётов электроэнергии на всех низковольтных вводах 6–10 кВ питающих трансформаторов, линиях связи с соседними энергоподразделениями и головных участках распределительных линий 6–10 кВ, т.е. ожидается практическая обвязка цифровыми учётами всех точек поступления электрической энергии в сети 0,38–10 кВ, что как раз и позволяет выполнять оперативные расчеты потерь электроэнергии в данных сетях методами, ранее не применявшимися из-за отсутствия необходимых режимных данных.

Разработана методика оперативного расчёта потерь электроэнергии, позволяющая определять потери в электрических сетях 0,38 кВ на основе режимной информации сетей 10 кВ. Для выполнения оперативных расчётов технических потерь электрическую сеть 0,38-10 кВ в расчётном периоде необходимо представлять в виде совокупности пофазных схем замещения.

В качестве исходной информации используются топология и параметры схем замещения и режимные данные: средние мощности и типовые графики потребителей электрических сетей 0,38 кВ, по сети 6–10 кВ графики активных и реактивных нагрузок вводов 6-10 кВ силовых трансформаторов 35-750 кВ, полученные по данным цифровых систем учёта или в результате моделирования графиков электрических нагрузок на основе факторного анализа.

Методика содержит структурный алгоритм оперативных расчётов технических потерь в сетях 0,38-10 кВ:

1. На основе графиков нагрузок вводов 6–10 кВ определяются активные и реактивные мощности нагрузок n -х потребителей схем замещения сети 0,38 кВ за k -й час расчётного периода.
2. По ним вычисляются токи в фазных и нулевых проводах ветвей в сети 0,38–10 кВ.
3. Рассчитываются нагрузочные потери активной мощности в ветвях распределительных линий.
4. Рассчитываются совокупные потери электроэнергии в сети в виде суммы технических потерь электроэнергии в ветвях всех схем замещения.

Выводы

1. Разработана методика оперативного расчёта потерь электроэнергии, позволяющая определять потери в электрических сетях 0,38 кВ на основе режимной информации сетей 10 кВ
2. Предложенная методика позволяет повысить точность определения потерь электроэнергии в сетях 6-10 кВ за счёт более точного распределения нагрузок между трансформаторами потребительских подстанций, по сравнению с традиционным распределением нагрузки ЦП пропорционально установленным мощностям трансформаторов потребительских подстанций.

3. Методика позволяет анализировать величину прироста потерь в указанных сетях из-за несимметричного подключения потребителей и схемной несимметрии за счёт пофазного расчёта схем 6-10-0,38 кВ.

Список использованных источников

1. Фурсанов М.И., Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. - Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение», 2005. - 207 с.: ил.
2. Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В. Учёт потребительских энергоисточников в расчётах распределительных электрических сетей 6-10 кВ. «Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ. Энергетика». - 2011. - № 4. - С. 15 - 17.
3. Фурсанов М.И., Золотой А.А., Макаревич В.В. Расчёт режимов и потерь мощности в электрических сетях 0,38 кВ с учётом повторного заземления нулевого провода «Изв. высш. учебн. заведений и энерг. объединений СНГ. Энергетика». - 2007. - № 5. - С. 5 - 18.
4. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР - 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986 - 648 с.: ил.

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НА СООРУЖЕНИЯХ С НИЗКИМИ РЕСУРСО- И ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ

Мурина А.Г., Ануфриев В.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время практика проектирования и строительства систем водоотведения небольших населенных пунктов и отдельных объектов основана на принципах используемых для создания инженерной инфраструктуры больших населенных пунктов с организацией централизованных систем канализации. Создание централизованных систем водоотведения в сельской местности и отдельных объектов является весьма затратным, особенно при необходимости транспорта сточных вод на очистку на значительные расстояния. С другой стороны застройка без организации водоотведения, применение примитивных санитарно-технических устройств в индивидуальной застройке (выгребы) и традиционных простейших сооружений для очистки сточных вод небольшой производительности для сельских населенных пунктов (поля фильтрации) ведет к значительному негативному воздействию на окружающую среду, ухудшает санитарную обстановку, делает проживание людей в таких условиях весьма некомфортным. В связи с чем, актуальной задачей является разработка технических решений связанных с очисткой сточных вод в нецентрализованных системах водоотведения, которые бы обладали надежностью, простотой в эксплуатации, экономичностью, характеризовались бы низким энергопотреблением и позволяли обеспечивать выполнение современных природоохранных и санитарных требований.

Как известно, наиболее распространенными видами очистных сооружений, которые используются для очистки сточных вод малых отдельных объектов являются биологические пруды и поля фильтрации.

При простоте устройства и надежность работы биологических пруды при минимальном текущем обслуживании, они подвержены заилению, характеризуются низкой скоростью окислительных процессов, особенно в условиях низких температур и требуют значительных площадей для их размещения.

Поля фильтрации к настоящему времени морально устарели как вид очистных сооружений, и их эксплуатация оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду из-за просачивания значительной части расхода частично очищенной сточной воды в грунт и ее последующего попадания в подземные воды. Кроме того эксплуатация таких сооружений сопровождается неприятными запахами, размножением насекомых и т.д. В соответствии с Водной стратегией Республики Беларусь планируется сокращение к 2015 году использования полей фильтрации в Беларуси на 50%.

В связи с чем, актуальным является проблема в замене полей фильтрации на более совершенные и эффективные сооружения. Один из возможных вариантов для нецентрализованных систем применение сооружений с биологической очисткой сточных вод в искусственно созданных условиях. Существует ряд разновидностей таких сооружений, как правило, заводского изготовления в которых используются процессы очистки активным илом или биопленкой. Большим преимуществом таких сооружений является их компактность. Вместе с тем, их характеризует более высокая стоимость и существенное энергопотребление, связанное с необходимостью создания аэрации иловой смеси.

Как альтернативное решение задачи очистки сточных вод отдельных объектов может рассматриваться применение грунтово-растительных площадок, в которых для очистки используется слой фильтрующей загрузки и влаголюбивая растительность, которая высаживается над фильтрующей загрузкой.

Простота грунтово-растительных площадок определяет их эффективность для очистки сточных вод небольших населенных пунктов. При создании таких сооружений при условии оптимального для них рельефа (уклоны в пределах 0,005-0,01) они характеризуются мини-

мальным расходом энергии при их эксплуатации, что позволяет использовать их в сельских районах и районах, в которых отсутствует развитая инженерная инфраструктура.

В настоящее время правила проектирование данного типа сооружений в ТНПА Республики Беларусь детально не регламентируются. В связи с чем, одной из задач связанной с обеспечением широкого применения таких сооружений, является проведение исследований по адаптации технических решений к климатическим условиям Республики Беларусь и разработке усовершенствованных конструкций таких сооружений.

НОВЫЕ МОДЕЛИ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Алексеев Ю.Г., Журкевич М.В.

Белорусский национальный технический университет

Для создания и развития малого и среднего предпринимательства чрезвычайно важна финансовая поддержка на начальном этапе. Банки отказываются кредитовать многие предприятия, находящиеся на начальном этапе развития, относя их к высокорисковым вложениям. Специалисты венчурных фондов, банков, крупных компаний, успешные бизнес ангелы отмечают следующие проблемы: недостаточно развит сервис по сведению проектных команд с потенциальными инвесторами, нет системы привлечения денежных средств физических лиц для целевого финансирования конкретных инновационных проектов.

Одним из выходов из ситуации является создание краудфандинговых платформ. Это позволит использовать технологии для облегчения движения капитала и других ресурсов для создания предприятий малого бизнеса, в том числе в тех случаях, когда банки отказывают в кредитовании. Суть краудфандинговой платформы в том, что она позволяет размещать ваши идеи реализации коммерческого предприятия онлайн, а затем обеспечивает инвесторам возможность приобретать акции или доли в создающейся компании. Платформа является посредником между предпринимателями и инвесторами. Еще одно преимущество краудфандинга по сравнению с традиционными займами это возможность предпринимателей оценить общественный интерес к своей продукции. Краудфандинговая платформа – Интернет сервис по сбору средств на коммерческие и благотворительные цели [1].

Цели для сбора средств могут быть совершенно разными, например поддержка со стороны поклонников музыкальной группы; поддержка политических кампаний; финансирование стартап-компаний и малого бизнеса, создание свободного программного обеспечения. Взамен люди получают моральное удовлетворение, подарки, упоминание в списке авторов, доступ к дополнительным материалам, право решать судьбу проекта.

Интересный и правильно преподнесенный проект, без проблем может набрать аудиторию в 10 тысяч человек за пару дней. Ведь механизм очень прост, достаточно несколько раз нажать кнопку мыши, ввести данные кредитной карты и отправить свой взнос. Наибольший вклад краудфандинга в развитие бизнеса заключается в поддержке стартапов. выход на рынок и продвижение [2].

Инициаторы проектов и инвесторы отмечают следующие проблемы: недостаточно развит сервис по сведению проектных команд с потенциальными инвесторами, существующие финансовые инструменты поддержки малого бизнеса не соответствуют его реальным потребностям, ограничены возможности начинающих инноваторов привлечь стартовый капитал, получить гранты, займы и кредиты. Создание краудфандинговой платформы потенциально обеспечивает возможность привлечения инвестиций в инновационные проекты.

Краудфандинговая платформа привлечения инвестиционных средств – качественно новый инфраструктурный элемент инновационной инфраструктуры, способствующий: увеличению реализации инновационных проектов, обеспечению качественного менеджмента на стадии привлечения инвестиций для инновационных проектов, упрощению вовлечения представителей научно-технического сектора, высших учебных заведений и потенциальных инвесторов в процесс коммерциализации разработок и инновационных идей. стимулированию инвестиций в инновационные сферы экономики.

Прямыми задачами краудфандинговой платформы являются проведение постоянной кампании по сбору средств на коммерческие проекты и информационное обеспечение участников инвестиционной деятельности. К долгосрочным задачам можно отнести систематизация и анализ инновационной деятельности, создание баз данных инвесторов и проектов с возможностью статистического анализа рыночных предпочтений.

Первым направлением краудфандинговой платформы является ее деятельность как комплекса мероприятий по отбору, оценке и подготовке инновационных проектов и компаний к инвестированию (до инвестиционной стадии).

Вторым направлением краудфандинговой платформы является ее деятельность как базы данных, содержащая информацию о участниках инновационных процессов (юридических и физических лицах, инновационных проектах, заявках инициаторов проектов на привлечение инвестиций, заявках-предложениях инвесторов на финансирование проектов).

И третьим направлением краудфандинговой платформы является ее деятельность как сервиса, который позволяет клиентам ознакомиться с проектами и найти перспективный и эффективный проект для финансовых вложений, проводить кампании по сбору средств на коммерческие проекты.

Основные направления оказываемых услуг краудфандинговой платформы является содействие в привлечении инвестиционных ресурсов (оказание помощи в проведении экспертизы проекта, оценка проекта; помощь в поиске и привлечении стратегических партнеров и инвесторов) и помощь в установлении контактов и заключении хозяйственных сделок. Также платформой могут оказываться услуги по экспертной оценке эффективности проекта, предварительной оценке стоимости бизнеса, подготовке и сопровождению основных условий инвестиционной сделки, инвестированию проектов, подбору проектов, технологий для заказчиков и инвесторов, подготовке документов для регистрации предприятия, подготовке договоров, внутренних документов фирмы, электронному документообороту.

Для инвесторов может использоваться две модели финансирования: акционирования и микрокредитования конкретных проектов.

Процедуры, связанные с акциями, сложны для небольших краудфандинговых проектов. Чтобы избежать излишних трудностей платформы используют несколько моделей. Модель сотрудничества, потенциальных спонсоров привлекают как членов закрытого инвестиционного клуба, а предложение не делается публично. Клубная модель, индивидуальные вклады объединяются и передаются юридическим организациям, которые инвестируют в проекты.

При использовании модели микрофинансирования физические лица предоставляют небольшие суммы инициаторам проектов в виде кредитов на согласованных сторонами условиях. Используются две основные модели. Модель микрокредитования, микрокредитование является предоставлением финансовых услуг клиентам с низкими доходами, которые не имеют доступа к банковским и сопутствующим услугам. Деньги собраны толпой и управляются посредником. Модель кредитования «от одного к другому», финансовая операция (заем), которая происходит непосредственно между физическими лицами без посредничества традиционных финансовых учреждений. Займодавцы могут одолжить небольшую сумму денег и какой-либо компании.

Краудфандинговая платформа – это, в первую очередь, виртуальная инвестиционная модель, главной целью которой является поиск средств под инновационные проекты.

В Республике Беларусь рынок краудфандинга совершенно не развит. Процесс создания такой платформы включает в себя 2 направления: маркетинговая и рекламная кампании.

Маркетинговая кампания. Планируется использовать опыт крупнейших платформ в мире, которые внедряют анализаторы статистики и рейтинги популярности для оценки эффективности своей работы. Для привлечения постоянных пользователей и увеличения посещаемости сайта краудфандинговой платформы необходима разработка рекламной кампании, которая включает в себя выпуск и рассылку рекламных буклетов в организации инновационной инфраструктуры Республики Беларусь и других стран, регистрацию в справочниках и каталогах сети Интернет, контекстную и баннерную рекламу, размещение ссылок на внешних ресурсах, организацию электронной почты и рассылки, написание, рассылка и размещение на других Интернет ресурсах пресс-релизов.

Таким образом создание краудфандинговой платформы позволит создать новый эффективный механизм коммерциализации научно-технических разработок, перспективных идей молодых ученых и поддержать начинающие инновационные проекты. Также национальная

краудфандинговая платформа даст новый толчок в развитии национальной инновационной системы.

Список использованных источников

1. Двинских В.В., Шевченко Д.А. Краудфандинг для инвестиционных проектов: особенности построения сайта // Международный университет природы, общества и человека «Дубна». 2011. С.50.
2. Борис Барабанов. Музыка на доверии // Огонёк. — 2012. — № 2 (5211).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ

*Чумаков С.А, Малашин А.Н., Суходолов Ю.В.
Военная академия Республики Беларусь*

Традиционно при разработке и модернизации вооружения больше внимание уделяется совершенствованию информационных процессов и огневых возможностей техники, тогда как энергетические процессы, протекающие в образцах вооружения, практически не исследованы.

Система электроснабжения (СЭС) является неотъемлемой частью автономного образца вооружения (АОВ), без которой его функционирование невозможно. Задача СЭС как функциональной системы образца вооружения, состоит в бесперебойном обеспечении потребителей электрической энергией требуемыми номиналами и качеством во всех режимах работы. При создании высококомобильных образцов вооружения к этим общим требованиям добавляются новые, в виде жестких ограничений на массогабаритные показатели СЭС.

Электропитание автономного АОВ может осуществляться от госэнергосети в пункте постоянной дислокации, а так же от средств автономного электроснабжения (САЭС) при выполнении задач по предназначению (см. рисунок 1).

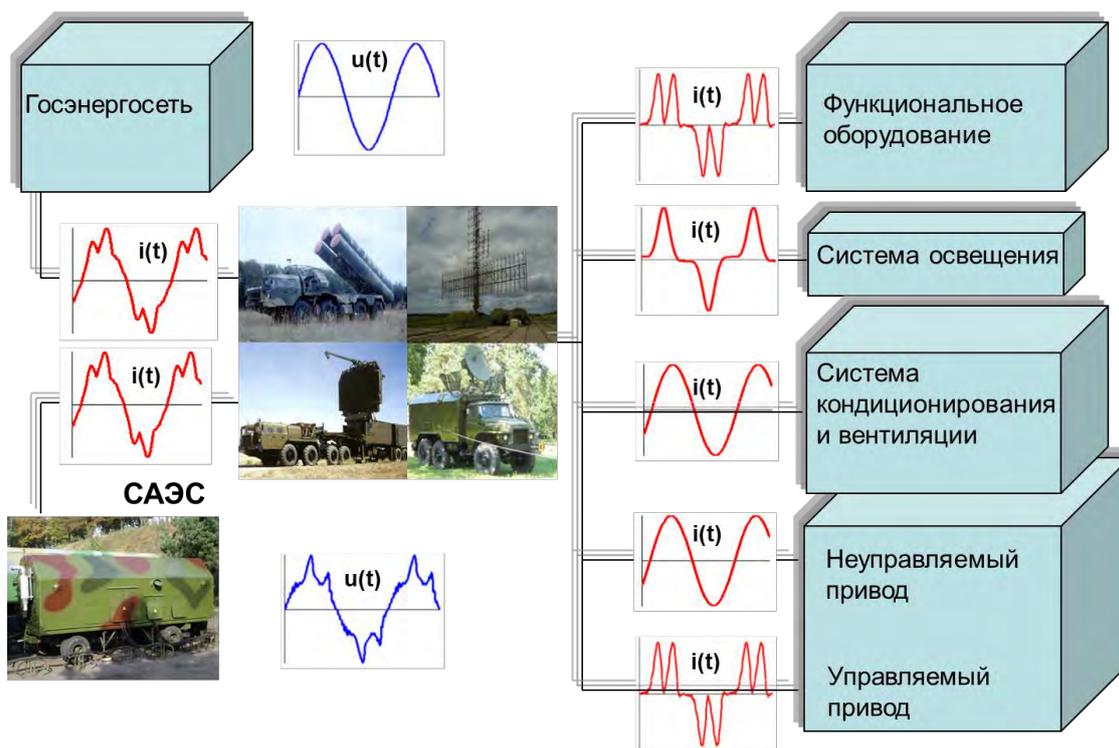


Рис. 1 – Структура оборудования АОВ; искажения форм потребляемого тока и питающего напряжения

Современный образец вооружения включает в себя оборудование, которое условно можно разделить на следующие группы:

- функциональное оборудование, обеспечивающее решение информационных задач боевой работы АОВ;
- система освещения,
- система кондиционирования и вентиляции;
- приводное оборудование.

Данное оборудование имеет в своем составе выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и другие потребители, вольт-амперные характеристики которых нелинейны. Наличие таких потребителей приводит к искажению формы потребляемого тока, а в случае питания АОВ от САЭС – к искажению формы питающего напряжения (см. рисунок 1). Данные искажения отрицательно влияют на питающую сеть переменного тока, которое выражается:

- в ухудшении электромагнитной совместимости оборудования;
- в увеличении потерь энергии в системе,
- в повышении вероятности возникновения резонансных явлений в СЭС,
- в нарушении работы специальной вычислительной техники, устройств релейной защиты и автоматики,
- в ускоренном старении изоляции основного электрооборудования,

Кроме того (см. рисунок 2) искажения приводят:

- к снижению параметров трансформаторов, питающих электронные нагрузки
- к увеличению действующего значения тока (I) и тепловых потерь (P) при увеличении коэффициента гармонического искажения (THD)
- к сокращению срока службы оборудования, на пример, при коэффициенте искажения напряжения питания, близком к 10 % сокращение срока службы составляет для однофазных электрических машин 32,5 %, для трёхфазных электрических машин 18 %, для трансформаторов 5 %.

Снижение активной составляющей мощности трансформаторов, питающих электронные нагрузки

Рост действующего значения тока (I) и тепловых потерь (P) при искажении напряжения

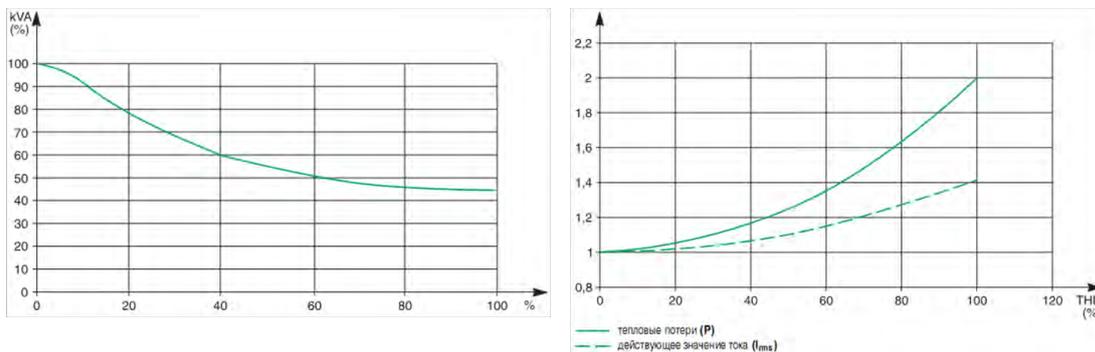


Рис. 2 – Влияние искажений

Искажение токов и напряжений приводит к появлению неактивных составляющих мощности (см. рисунок 3), которые могут достигать 30%. Неактивные составляющие мощности необходимо компенсировать.

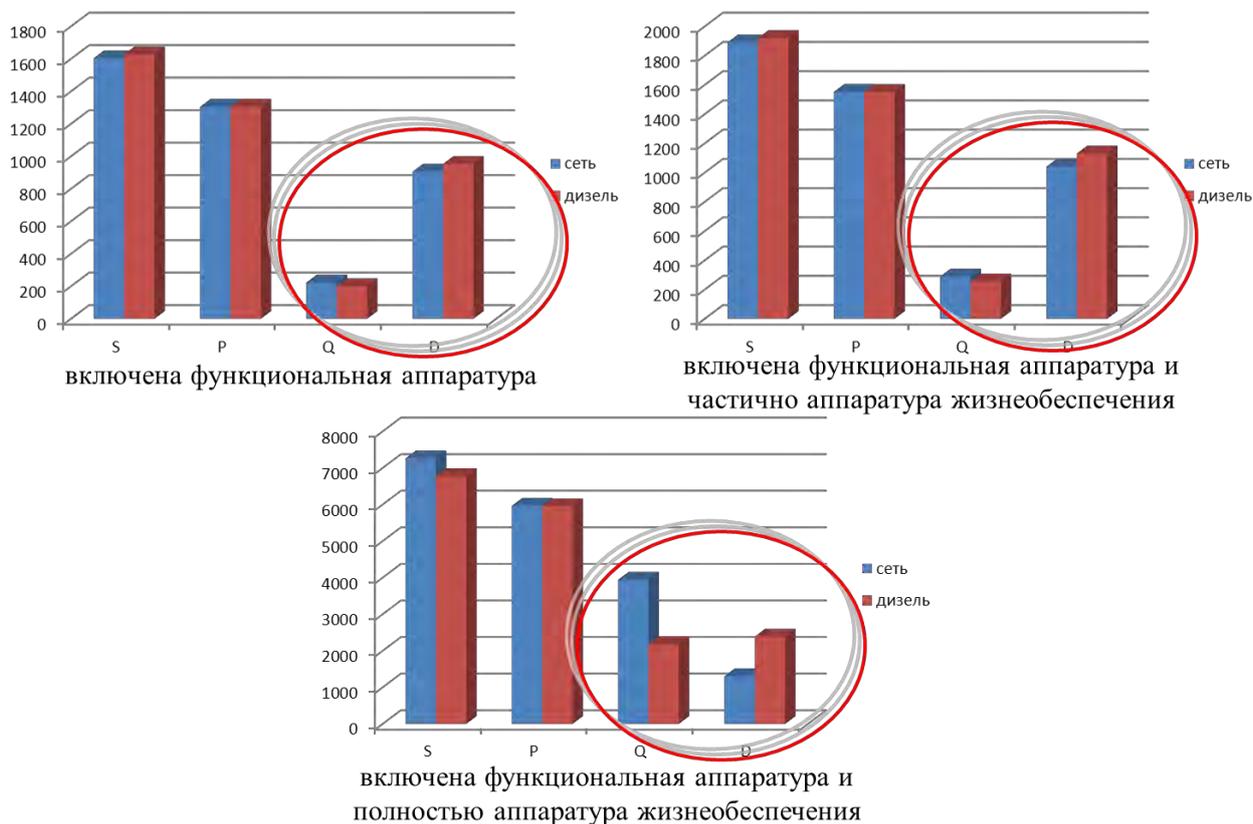


Рис. 3 – Неактивные составляющие мощности

Выше изложенное приводит к тому, что в САЭС АОВ применяют первичные источники с существенно завышенной мощностью. Анализ показывает, что данное завышение составляет 2 и более раза.

В настоящее время в ведущих государствах мира (США, Япония, Швеция, Россия) большое внимание уделяется вопросам разработки способов и средств, позволяющих устранить негативное влияние неактивных составляющих мощности для обеспечения требуемого качества электроэнергии и устранения взаимного влияния параллельно работающего оборудования со стороны питающей сети, т.е. созданию систем управления процессами генерирования, передачи и распределения электрической энергии.

На сегодняшний день существуют технические возможности разработки систем компенсации неактивных составляющих мощности на основе активных фильтров (АФ).

В последние годы заметно увеличение количества публикаций в российской и зарубежной литературе, посвященных активным фильтрам, вопросам автоматического управления и исследованию качества компенсации неактивных составляющих мощности посредством АФ. Однако, вопросы эффективного регулирования АФ и исследования достигаемых регулировочных, фильтрующих и компенсационных свойств с учетом особенностей работы автономных образцов вооружения от САЭС не исследованы.

Система компенсации неактивных составляющих мощности подключается параллельно системе САЭС – АОВ и должна включать в себя (см. рисунок 4):

- измерительную систему, решающую задачу вычисления пассивной составляющей мгновенного тока;
- систему управления, осуществляющую преобразование полученного тока в сигнал задания тока активного фильтра;
- систему управления силовой частью, которая преобразует сигнал задания тока активного фильтра в закон переключения силовых вентилях силовой части;
- силовую часть, которая формирует ток компенсации.

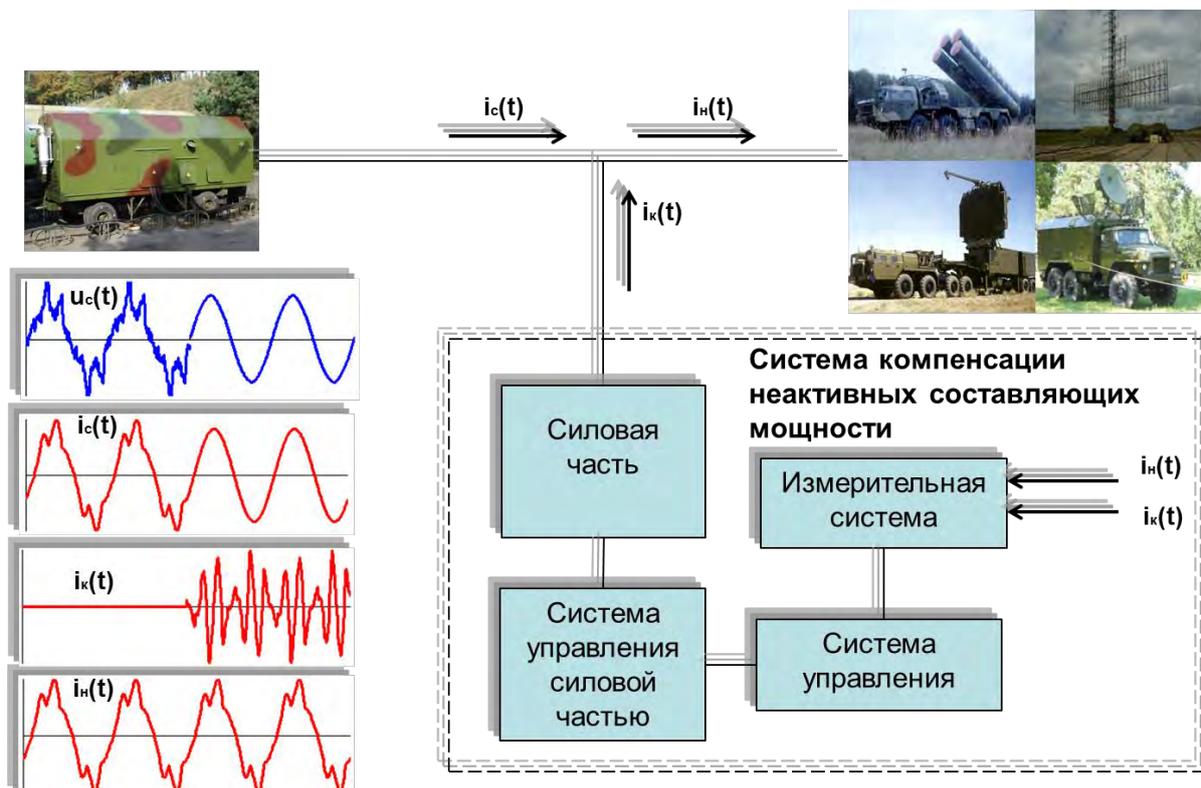


Рис. 4 – Структура системы компенсации неактивных составляющих мощности

Известно несколько основных способов управления АФ, разработанных в разное время. Все они могут быть представлены как ряд простых действий, выполняемых теми или иными узлами системы управления, и могут быть в конечном итоге сведены к следующему:

1. вычисление пассивной составляющей мгновенного тока/ напряжения сети;
2. преобразование полученного тока задания АФ в закон переключения силовых вентилей АФ.

Вычисление пассивной составляющей мгновенного тока предлагается проводить по выражениям для амплитуд и начальных фаз гармонических составляющих тока, полученных на основе анализа временных параметров кривой тока [2]. Преимуществом данного метода является высокое быстродействие, основанное на одновременном вычислении амплитуд I_n и начальных фаз ψ_n спектральных составляющих за $1/2$ периода повторения тока и отказ от использования полосовых фильтров.

Преобразование полученного тока задания АФ в закон переключения силовых вентилей АФ и синтез алгоритма управления предлагается проводить в классе систем оптимальных по быстродействию на основе теории спиральных векторов [3].

Разработка и внедрение устройств коррекции качества электрической энергии на основе активного фильтра в системах электроснабжения автономных образцов вооружения обеспечит:

- синусоидальность формы напряжения и тока питающей сети;
- компенсацию неактивных составляющих полной мощности;
- увеличение срока службы электрооборудования на 20-30%;
- снижение потерь в электрооборудовании до 20%;
- снижение мощности первичных источников САЭС;
- снижение расхода топлива первичных источников САЭС.

Список использованных источников

1. Гармоники в электрических системах: Пер. с англ./ Дж. Аррилага, Дбрэдди, П.Боджер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.: ил.
2. Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А. Активный фильтр как новый элемент энергосберегающих систем электропривода // *Электричество*. – 2000. – № 3. – С.46–54.
3. Волков А.В., Волков В.А. Компенсация мощности искажений и реактивной мощности посредством активного фильтра с прогнозируемым релейным управлением // *Электротехника*. – 2008. – № 3. – С. 2–10.
4. Остриев В.Н., Мосин Р.В. Экспериментальные исследования трехфазного активного фильтра для применения в современных электронных преобразователях // *Электричество*. – 2003. – № 7. – С. 63–66.
5. Akagi H., Kim H., Ogasawara S., The theory of instantaneous power in three-phase four-wiresystems: a comprehensive approach. IEEE–IAS Annual Meeting 1999 Conference Record, Vol. 1, pp. 431–439, 1999.
6. Патент на изобретение РБ «Способ определения начальных фаз высших гармонических составляющих периодического сигнала» №16873 от 26.11.2012.
7. Малашин А.Н. Балцевич Ю.С. Расчет неустановившихся процессов в электрических цепях на основе понятия спирального вектора // *Вестник ВАРБ*. – 2009. – №1. – С. 68–75.
8. Малашин А.Н. Чумаков С.А. Анализ электромагнитных процессов в электрических цепях при воздействии импульсов, описываемых гармоническими и экспоненциальными функциями // *Сб. научных статей ВА РБ* – 2013. – №24. – С. 91–100.
9. Малашин, А. Н. Синтез оптимального управления силовым понижающим преобразователем методом спиральных векторов / А. Н. Малашин // *Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь*. – 2010. – № 1. – С. 49–55.

ПАТЕНТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Калинин А.Ю.

Белорусский национальный технический университет

Одной из ключевых задач развития экономики Союзного государства является обеспечение конкурентоспособности энергетического сектора Союзного государства. Для этого необходимо, чтобы создаваемые и внедряемые технические решения в данном секторе соответствовали мировому техническому уровню.

Под техническим уровнем понимается относительная характеристика, основанная на сопоставлении совокупности показателей технического совершенства оцениваемого решения и базовых образцов. При этом под техническим совершенством, понимается совокупность наиболее существенных свойств, определяющих качество, и характеризующих научно-технические достижения в развитии данного решения. Техническое совершенство характеризуется набором показателей и выражается совокупностью их значений.

Технический уровень должен оцениваться на всех этапах жизненного цикла продукции (технических решений) — с начала разработки, когда формируется идеальный образ будущей продукции, до этапа массового производства, а также ее вытеснения с рынка более совершенными образцами продукции аналогичного назначения.

Для обеспечения соответствия мировому техническому уровню особое значение имеет анализ патентной информации. Стоит отметить, что по оценкам экспертов около 60% сведений содержащихся в патентной информации отсутствует в других источниках научно-технической информации.

Патентная информация – это совокупность сведений о результатах научно-технической деятельности, содержащихся в описаниях, прилагаемых к заявкам и патентам на изобретения, о правовом статусе патентов, об условиях реализации прав, вытекающих из патентов.

В сравнении с другими видами информации патентная информация обладает следующими преимуществами:

1. Является наиболее важной частью научно-технической информации, т.к. является отражением результата научно-исследовательских и опытно-конструкторских, преимущественно прикладных работ, направленных на разработку новых или совершенствование известных технических решений, которые будут непосредственно использоваться.

2. Это самая последняя на дату подачи заявки информация о достигнутом техническом уровне в той области, к которой она отнесена, так как заявители всегда стараются подать заявку как можно быстрее с тем, чтобы получить монопольное право на использование.

3. Официально публикуется в патентных документах, классифицируются по единой Международной патентной классификации (МПК), что значительно облегчает поиск документов по нужной тематике.

4. Патентная информация и патентные документы издаются в соответствии со стандартами ВОИС. Документы имеют четкую унифицированную структуру, что в значительной степени облегчает знакомство с содержащейся в них информацией.

5. Формула изобретения, в которой излагается существо предлагаемого нового решения задачи, содержит перечень как известных ранее признаков технического решения задачи, так и новых признаков, на охрану которых притязает заявитель. Новые признаки – это путь приближения к наиболее полному удовлетворению общественных потребностей.

6. При составлении описания требуется показать предысторию технического развития до заявляемого решения и четко определить различие между тем, что было известно и тем, что предлагается. Поэтому практически каждое описание – это исследование предшествующего технического уровня. Во многих случаях описания сопровождаются поясняющими

чертежами, а техническое решение описывается как в статическом положении, так и в динамике (в работе) с примерами использования.

7. В каждом патентном документе содержится информация о стране происхождения, заявителе, патентообладателе, авторах – изобретателях и стране их проживания, о территории, на которой действует исключительное право патентообладателя на предлагаемое техническое решение.

8. Если сведения в патентном документе опубликованы, то любое лицо, фирма, предприятие или организация тех стран, где изобретение не зарегистрировано (патент не выдан), имеет возможность использовать его без разрешения патентообладателя безвозмездно.

9. Ознакомление с патентной информацией дает возможность не только оценить идею, положенную в основу изобретения, не только дает возможность использовать изобретение безвозмездно, если оно не защищено патентом на территории своей страны, но еще дает отправную точку для творческого поиска новых решений, совершенствования известных и создания новых изобретений.

10. Каждый патентный документ содержит обширные библиографические сведения, которые находятся на его первой странице. Каждый элемент библиографии идентифицируется двузначным цифровым кодом (коды INID), которые являются общепринятыми для всего мирового сообщества и способствуют пониманию библиографических данных без знания языка, на котором патентный документ издан.

Носителем патентной информации является патентный документ.

Патентный документ – это официально публикуемый и непубликуемый документ, содержащий сведения о результатах научно-исследовательских, проектно-конструкторских и других подобных работ, заявленных или признанных изобретениями, промышленными образцами, полезными моделями, сортами растений, а также сведения об охране прав изобретателей, патентообладателей, владельцев свидетельств о регистрации товарных знаков, знаков обслуживания, наименований мест происхождения товаров.

К патентным документам относятся официальные публикации патентных ведомств, включающие:

- официальные бюллетени;
- описания к заявкам на изобретения;
- описания изобретений к патентам;
- описания полезных моделей к патентам;
- описания сортов растений к патентам;
- сведения о промышленных образцах;
- официальные указатели патентов на объекты промышленной собственности;
- официальные публикации о регистрации товарных знаков и знаков обслуживания;
- изменения в состоянии правовой охраны объектов промышленной собственности;
- ежегодные отчеты патентных ведомств стран мира.

Анализ патентной информации осуществляется в ходе патентных исследований.

При этом процесс проведения патентных исследований включает следующие основные этапы:

- разработка задания на проведение патентных исследований;
- разработка регламента поиска информации;
- поиск и отбор патентной и другой научно-технической и конъюнктурно-коммерческой информации;
- составление отчета о поиске;
- обработка, систематизация и анализ отобранной информации;
- обобщение результатов и составление отчета о патентных исследованиях.

В настоящее время под патентными исследованиями понимаются информационно-аналитические исследования, проводимые в процессе создания, освоения и реализации продукции с целью обеспечения высокого технического уровня и конкурентоспособности этой

продукции, а также сокращения затрат на ее создание за счет использования мирового информационного ресурса.

В зависимости от стадий и этапов жизненного цикла продукции патентные исследования различаются по типу решаемых задач с выделением трех видов патентных исследований:

1. Патентно-информационные – при прогнозировании, выявлении тенденций и направлений развития отраслей, подотраслей промышленности или продукции, при планировании и проведении НИР, при подготовке к проектным разработкам.

2. Патентно-технические – предшествуют стадии проектных, конструкторских и технологических работ, разработке эскизных проектов, при создании опытных образцов, их серийном производстве и совершенствовании технологии, продукции.

3. Патентно-конъюнктурные – предшествуют расширенному воспроизводству и при расширенном воспроизводстве, при ликвидации узких мест производства, при обосновании утилизации.

В основе этих исследований – постоянное сопоставление своей продукции с продукцией конкурентов, своего портфеля патентов с портфелем конкурентов. При каждом из данных видов патентные исследования включают статистический анализ и содержательный анализ.

Таким образом, проведение патентных исследований представляет собой действенный инструмент по обеспечению конкурентоспособности новых технических решений, на основе сопоставления и анализа разрабатываемых технических решений и лучших существующих аналогов.

Список использованных источников

1. Управление качеством и конкурентоспособностью промышленной продукции на основе патентных исследований: Методическое пособие / Э.П. Скорняков. – Изд. 3е, Пересмотр. и доп. – М.: Патент, 2006. – 150 с. : ил., табл.

2. Методические рекомендации по проведению патентных исследований. Э.П. Скорняков, Т.Б. Омарова, О.В. Чельшева – М.: ВНИИПИ, 1997. – 171 с.

3. Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1180-99 «Патентные исследования. Содержание и порядок проведения».

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Каркоцкий Д.В., Малашин А.Н.
Военная академия Республики Беларусь*

В настоящее время важное место в стратегии развития электроэнергетики занимают автономные системы электроснабжения (АСЭС). В последнее время АСЭС получают все более широкое распространение в системе электроснабжения не только специального, но и общего применения. Указанные системы используются почти во всех областях народного хозяйства. Области применения таких систем охватывают различного рода электроагрегаты (стационарные, передвижные) и управляемые электромеханические системы (строительно-дорожные, транспортные, генераторы, которые работают на статические преобразователи частоты и электромашинные агрегаты), системы бесперебойного питания ответственных потребителей, в том числе современных вычислительных комплексов. Структура таких систем электроснабжения и состав источников электроэнергии определяются как общими требованиями, предъявляемыми к системам электроснабжения любого назначения, так и специальными требованиями, характеризующими особенности электроснабжения конкретных объектов.

Однако, источники электроэнергии автономных систем электроснабжения наряду с очевидными достоинствами имеют и значительные недостатки, основные из которых – высокий расход топлива на выработку 1 кВтч электроэнергии и большая масса АСЭС.

Основным способом улучшения технических показателей АСЭС является выбор источников и преобразователей электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками из совокупности известных технических решений, выходные параметры которых удовлетворяют требованиям потребителей. Однако, такие структуры АСЭС в комплексе могут быть не оптимальными, с точки зрения их критериев эффективности (масса АСЭС, расход топлива и т.п.).

В основе ранее отмеченных недостатков систем электроснабжения лежит отсутствие научно обоснованных методик оптимизации АСЭС, что не позволяет разрабатывать системы электроснабжения требуемого качества, обосновывать требования для разработки АСЭС, которые позволят улучшить основные показатели объектов, в состав которых входят АСЭС, за счет внедрения новых технологий в электроснабжении.

В настоящее время существует большое количество работ, связанных с определением оптимальной структуры различных технических объектов. Однако данные работы невозможно напрямую применить к задаче синтеза структуры АСЭС. Поэтому существует острая необходимость проведения структурного синтеза АСЭС по выбранному критерию эффективности.

Как правило, показатели критерия эффективности (капиталовложения, эксплуатационные затраты и удельные затраты на единицу мощности) являются основными при проектировании АСЭС. Значение этих показателей значительно увеличивается, если к системе предъявляются повышенные требования к бесперебойности электроснабжения, показателям надежности функциональных элементов, качеству электроэнергии, КПД и массогабаритным показателям.

Критерий эффективности, оцениваемый массогабаритными показателями, охватывает, как установленную массу и объем функционального элемента, узла, блока, подсистемы, системы, так и удельную их массу, а также объем, на единицу установленной мощности. Для транспортных АСЭС важным показателем является масса топлива. Минимизация массогабаритных показателей транспортных АСЭС является приоритетным критерием в их разработке. В результате вышесказанного при решении задачи повышения технической эффективности АСЭС в качестве критерия эффективности принят комплексный показатель «по-

ходная масса», в котором учитывается, как суммарная масса устройств АСЭС, так и масса топлива, расходуемого за цикл функционирования технического объекта.

В результате проведенного анализа вариантов построения АСЭС составлена обобщенная графовая модель АСЭС (рисунок 1).

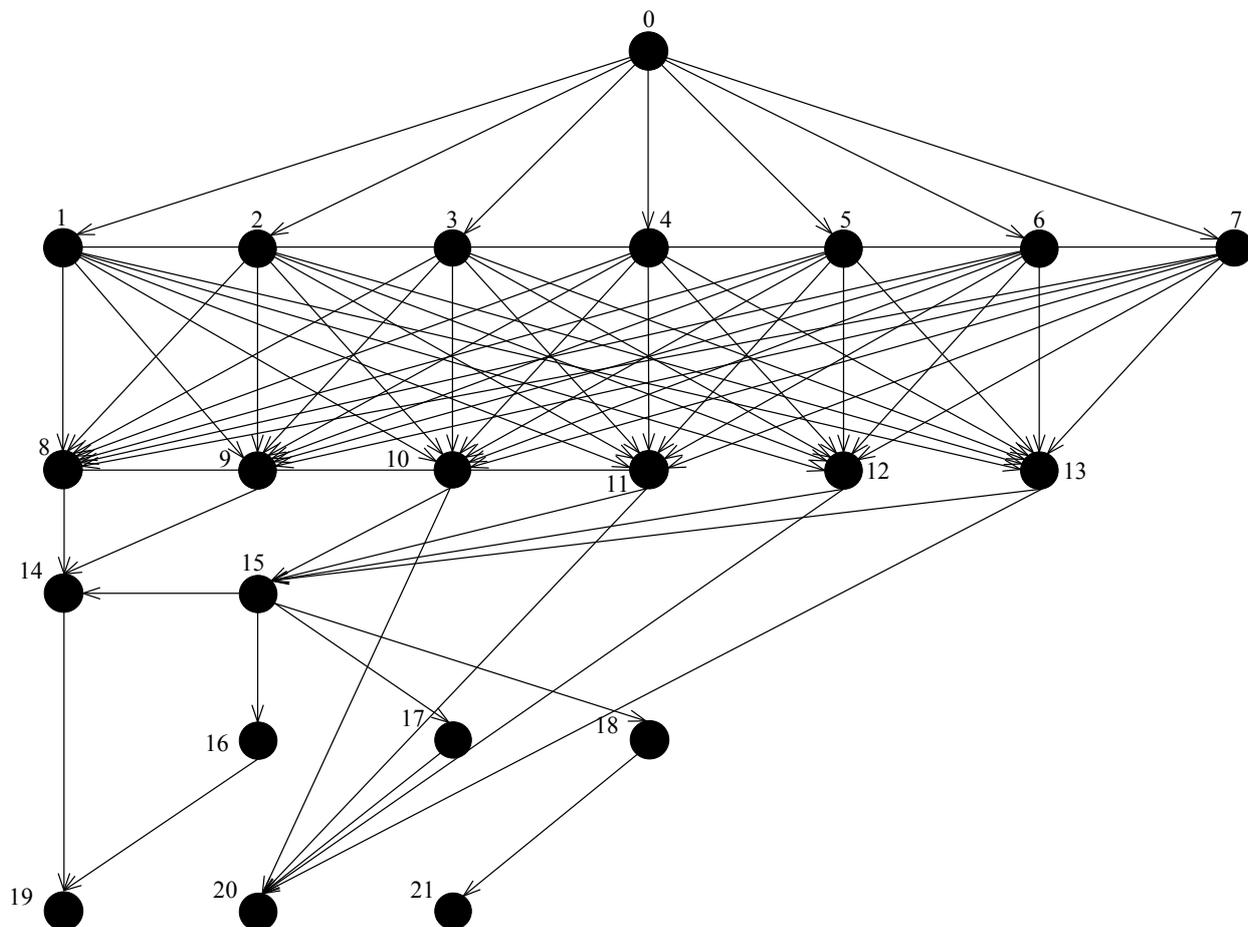


Рис. 1 – Обобщенная графовая модель АСЭС вида

Вершинами обобщенной графовой модели $G = (X_j, H_Q)$ являются функциональные узлы (таблица 1), а ребрами – виды энергии.

Для удобства решения оптимизационной задачи графовая модель $G = (X_j, H_Q)$ будет представлена в виде графовой модели $G = (S_Q, F_j)$, в котором вершины являются виды энергии, а ребрами графа являются функциональные узлы АСЭС (рисунок 2).

Графы удобны при описании любых структур САЭ, в том числе с многоступенчатым преобразованием электроэнергии. Графы кодируются матрицами инциденций (рисунок 3).

Таблица 1 – Вершины обобщенной графовой модели $G = (X_j, H_Q)$

Вершина графовой модели	Наименование технического устройства
x ₁	Бензиновый карбюраторный двигатель
x ₂	Бензиновый инжекторный двигатель
x ₃	Бензиновый двигатель с непосредственным впрыском топлива
x ₄	Дизельный двигатель
x ₅	Дизельный двигатель с турбонаддувом
x ₆	Газовый двигатель
x ₇	Газотурбинный двигатель
x ₈	Коллекторный генератор постоянного тока
x ₉	Бесколлекторный генератор постоянного тока
x ₁₀	Синхронный генератор с электромагнитным возбуждением
x ₁₁	Синхронный генератор с магнитоэлектрическим возбуждением
x ₁₂	Синхронный генератор с самовозбуждением
x ₁₃	Асинхронный генератор с самовозбуждением
x ₁₄	Зарядно-распределительное устройство
x ₁₅	Активный выпрямитель (400В)
x ₁₆	Преобразователь постоянного напряжения(400В > 12/24В)
x ₁₇	Инвертор тока (380В 50Гц)
x ₁₈	Инвертор тока (380В 400Гц)
x ₁₉	Электроэнергия (12/24В)
x ₂₀	Электроэнергия (380В 50Гц)
x ₂₁	Электроэнергия (380В 400Гц)

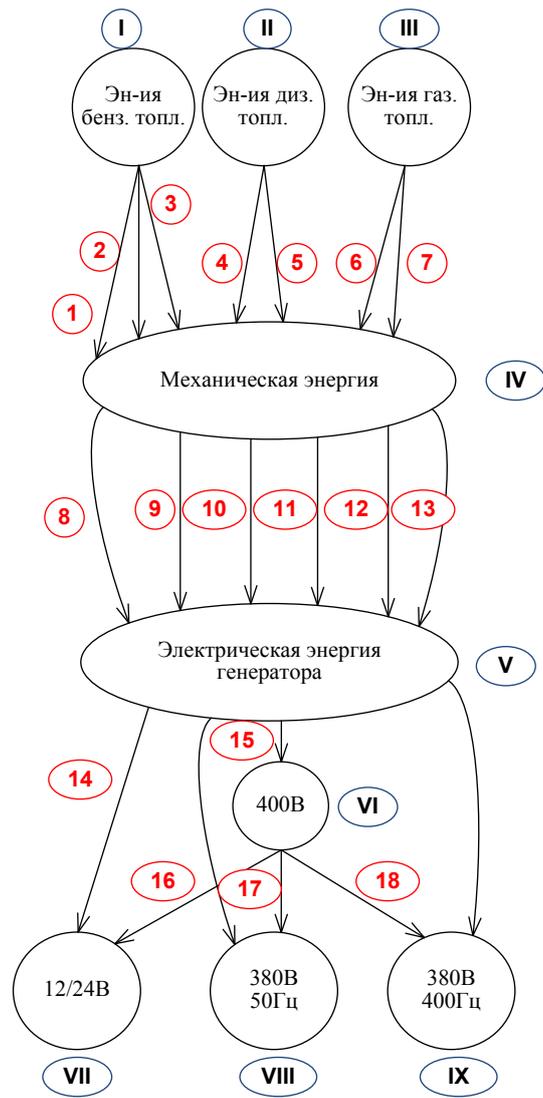


Рис. 2 – Обобщенная графовая модель АСЭС вида $G = (S_Q, F_j)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
I	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
IV	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	
V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3 – Матрица инцидентий графовая модель АСЭС вида $G = (S_Q, F_j)$

В виду существования большого разнообразия вариантов структур АСЭС необходимо определить оптимальное количество и типы энергетических каналов, совокупность структурных элементов АСЭС.

Формализация задачи.

Обозначим:

количество энергетических каналов СЭС автономных ОВ и ВТ (электроагрегатов) составляет $w=1,2,\dots,z$;

$$m_{АСЭС} = \sum_{w=1}^z \left(\sum_{i=1}^n \Delta m_{\delta i} \cdot P_{ном i} + \sum_{j=1}^m \Delta m_{\epsilon j} \cdot P_{ном j} + \sum_{k=1}^p \Delta m_{\eta k} \cdot P_{ном k} + m_{Тик} \right) - \text{удельная массы СЭС ав-}$$

тономных ОВ и ВТ;

где $i=1,2,\dots,n$ – вариант приводного двигателя;

$j=1,2,\dots,m$ – вариант генератора;

$k=1,2,\dots,p$ – вариант преобразователя электроэнергии;

$\Delta m_{\delta}, \Delta m_{\epsilon}, \Delta m_{\eta}$ – удельные массы приводных двигателей, генераторов и преобразователей электроэнергии соответственно;

$m_{Тик}$ – масса потребляемого топлива за установленное время работы;

$P_{ном}$ – номинальные мощности приводных двигателей, генераторов и преобразователей электроэнергии соответственно.

Ограничения задачи:

1. Общая мощность СЭС автономных ОВ и ВТ должна быть больше максимально потребляемой мощности нагрузкой.
2. Энергетический канал АСЭС должен представлять собой отдельный электроагрегат.

$$\begin{cases} \sum_{w=1}^z P_{ni} \geq P_{треб} \\ i = j = k = w \end{cases}$$

Задача оптимизации структуры СЭС автономных ОВ и ВТ имеет следующую постановку: определить минимум целевой функции в виде удельной массы СЭС автономных ОВ и ВТ:

Математическая модель задачи:

$$F(\Delta m_{\delta}, \Delta m_{\epsilon}, \Delta m_{\eta}, m_T) = \sum_{w=1}^z \left(\sum_{i=1}^n \Delta m_{\delta i} \cdot P_{ном i} + \sum_{j=1}^m \Delta m_{\epsilon j} \cdot P_{ном j} + \sum_{k=1}^p \Delta m_{\eta k} \cdot P_{ном k} + m_{Тик} \right) \rightarrow \min$$

при условии

$$\begin{cases} \sum_{w=1}^z P_{ni} \geq P_{треб} \\ i = j = k = w \end{cases}$$

Выражение (1) и система условий (2) является математической моделью задачи определения оптимального состава структуры СЭС автономных ОВ и ВТ в прямой постановке. Она относится к классу задач детерминированной, дискретной, однокритериальной оптимизации.

Для ее решения можно использовать программное обеспечение MS Excel или математические пакеты типа Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple и др.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ
С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫМИ СВОЙСТВАМИ
В КАНАЛАХ С ПРЕПЯТСТВИЯМИ**

*Варфоломеева О.И., Хворенков Д.А., Попов Д.Н.
Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова*

Известно [1-3], что внутренние течения с теплообменом в каналах с препятствиями характеризуются особенной структурой потока, содержащей существенные изменения проекций скорости и циркуляционные зоны. Вместе с тем подобные течения нефтепродуктов в проточных частях технических устройств нефтедобычи, нефтепереработки и топливных хозяйств могут иметь нестабильные вязкопластичные показатели. Так, движущийся мазут марки М100 при температуре менее 50°C рассматривается уже как псевдопластичная жидкость [4], что вносит определенные коррективы в структуру течения и может оказывать обратное влияние инерционных процессов на тепловые [5, 6].

Для расчета процессов гидродинамики и теплообмена, происходящих в классических системах хранения и подачи жидкого топлива, авторами применялась математическая модель [6], разработанная на основе двухмерных нестационарных уравнений Навье-Стокса, записанных в естественных (скорость-давление) переменных. В настоящей статье рассматривается несколько иной подход, основанный на использовании уравнений динамики несжимаемой ($\rho = const$) неньютоновской жидкости в преобразованных (ω - завихренность, ψ - функция тока) переменных и степенного реологического закона:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \xi_x \frac{\partial(u\omega)}{\partial \xi} + \eta_y \frac{\partial(v\omega)}{\partial \eta} = \frac{\xi_x^2}{\rho} \frac{\partial^2(\mu_{eff}\omega)}{\partial \xi^2} + \frac{\xi_{xx}}{\rho} \frac{\partial(\mu_{eff}\omega)}{\partial \xi} + \frac{\eta_y^2}{y\rho} \frac{\partial^2(y\mu_{eff}\omega)}{\partial \eta^2} + \\ + \frac{1}{y\rho} \left(\eta_{yy} - \frac{\eta_y}{y} \right) \frac{\partial(y\mu_{eff}\omega)}{\partial \eta} - \beta g \eta_y \frac{\partial T}{\partial \eta} \\ \xi_x^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + \xi_{xx} \frac{\partial \psi}{\partial \xi} + \eta_y^2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial \eta^2} + \left(\eta_{yy} - \frac{\eta_y}{y} \right) \frac{\partial \psi}{\partial \eta} = -\omega \cdot y, \end{aligned} \quad (1)$$

где u и v - проекции вектора скорости по осям x и y соответственно; T - температура;

$a = \frac{\lambda}{c\rho}$, λ и β - коэффициенты температуропроводности, теплоемкости и температурного

расширения жидкости; c - теплоемкость; $\mu_{eff} = k\Phi^{0,5(n-1)}$ - эффективная вязкость; $k = p \{ \exp_{10}[\exp_{10}(9,855 - 3,745 \lg T) - 0,8] 10^{-6} \}$ и n - мера консистенции и показатель неньютоновского поведения жидкости;

$\Phi = 2 \left[\left(\xi_x \frac{\partial u}{\partial \xi} \right)^2 + \left(\eta_y \frac{\partial v}{\partial \eta} \right)^2 + \left(\frac{v}{y} \right)^2 \right] + \left(\eta_y \frac{\partial u}{\partial \eta} + \xi_x \frac{\partial v}{\partial \xi} \right)^2$ - интенсивность сдвиговых деформаций.

За счет введения новых независимых переменных ξ и η система (1) с коэффициентами ξ_x , η_y , ξ_{xx} , η_{yy} (где $\xi_x = \frac{\partial \xi}{\partial x}$ и т. д.) адаптирована для расчетных областей покрытых прямолинейной ортогональной неравномерной сеткой со сгущением узлов в продольном и поперечном направлениях в местах, где ожидаются большие градиенты искомых величин. Кроме того, систему уравнений необходимо дополнить начальными и следующими граничными условиями:

- на входе в расчетную область задаются условия невозмущенного потока

$$u = V_0(y), \quad \psi = V_0(y)(Ay + By^2), \quad v = \omega = 0, \quad T = T_0;$$

- на оси (плоскости) симметрии ставятся условия

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial y} = \psi = v = \omega = 0;$$

- на выходе задаются «мягкие» условия

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0;$$

на твердых поверхностях выставляются граничные условия I, либо III рода для температуры и условие Тома для вихря.

Конечно-разностные аппроксимации производных, входящих в уравнения (1) традиционно [7] выражаются в виде:

- $\frac{\partial \phi}{\partial t} \approx \frac{\phi_{i,j}^{n+1} - \phi_{i,j}^n}{\Delta t}$ (где $\phi = (\omega, T)$) для производных по времени;
- центральных разностей для производных уравнения Пуассона, проекций скоростей, а также диффузионных и источниковых членов уравнений переноса;
- схемы Торранса [8] для конвективных производных в первом и третьем уравнении системы.

Полученные таким образом конечно-разностные аналоги уравнения переноса завихренности и энергии удобно решать продольно-поперечной прогонкой. Для решения уравнения Пуассона для функции тока вполне приемлемо использовать метод последовательной верхней релаксации. Представленные ниже результаты были получены методом установления по времени.

На рис. 1 показано сравнение профилей скорости ламинарного стабилизированного течения в трубе с различными показателями степени, полученных численно и расчетом по формуле [9];

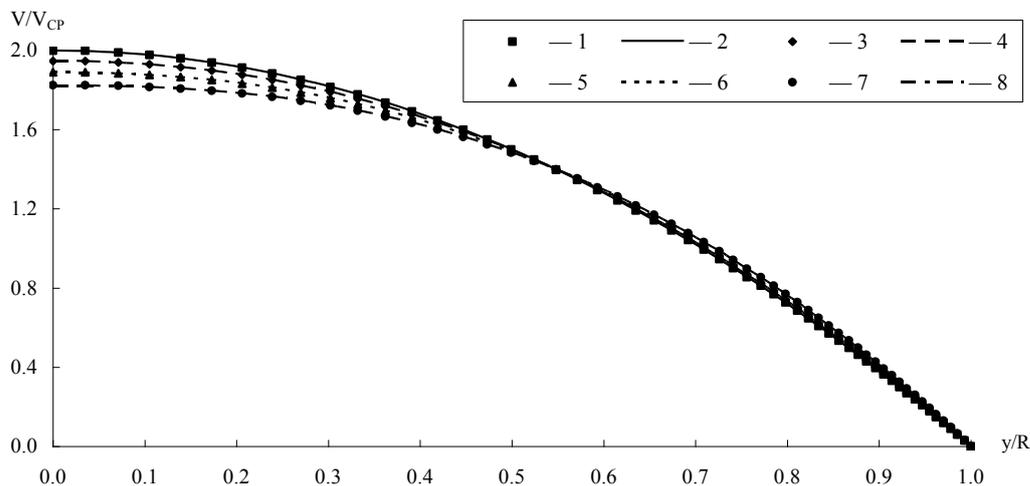


Рис. 1 - Расчетные профили скорости:

- 1, 3, 5, 7 – численный расчет при $n=1.0$, $n=0.9$, $n=0.8$, $n=0.7$ соответственно;
 2, 4, 6, 8 – результаты расчетов по формуле (2) при $n=1.0$, $n=0.9$, $n=0.8$, $n=0.7$ соответственно

$$V = V_{CP} \cdot \left(\frac{3n+1}{n+1} \right) \left[1 - \left(\frac{y}{R} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (2)$$

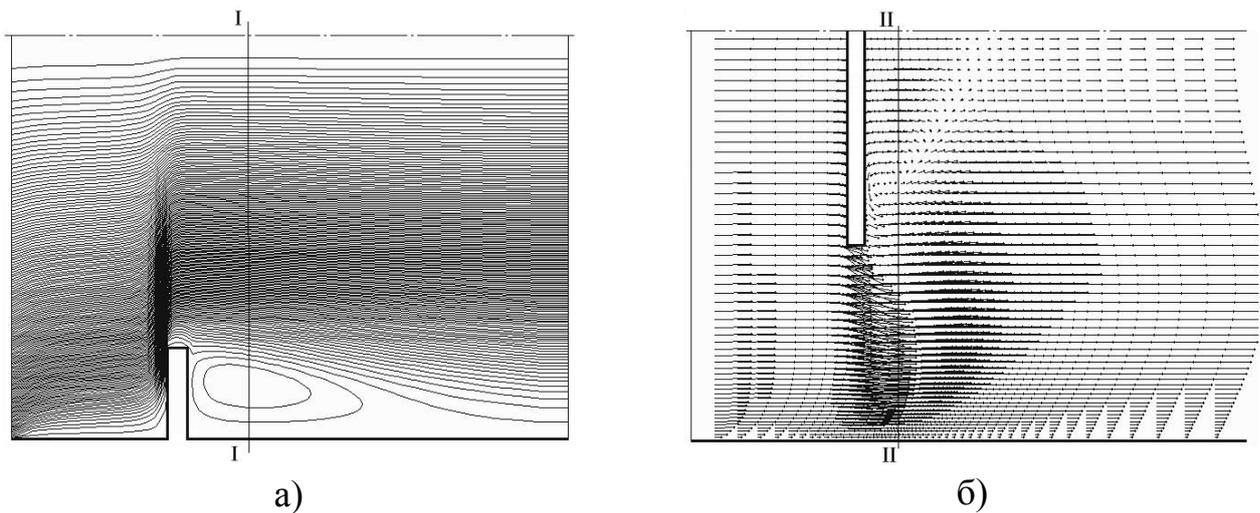


Рис. 2 - Результаты расчетов обтекания препятствий в трубе: а) – линии тока при обтекании выступа на стенке; б) – векторное поле при обтекании центрального тела (горизонтальный масштаб в пять раз меньше масштаба по вертикали)

Относительное расхождение значений во всех случаях не превысило 0,15 %.

На рис. 2 показаны гидродинамические ситуации, полученные в результате расчетов течений относительно выступа высотой на поверхности стенки трубы (рис. 2, а) и центрального тела радиусом при значении обобщенного числа Рейнольдса:

$$Re' = \frac{(2R)^n V_{CP}^{2-n} \rho}{\frac{k}{8} \left(\frac{6n+2}{n} \right)^n};$$

равного 2000. Здесь наглядно представляются области локального повышения скорости и зоны возвратно-циркуляционного движения жидкости. Для характерных сечений «I-I» и «II-II» построены графики изменения осевой скорости по радиальной координате (рис. 3, 4).

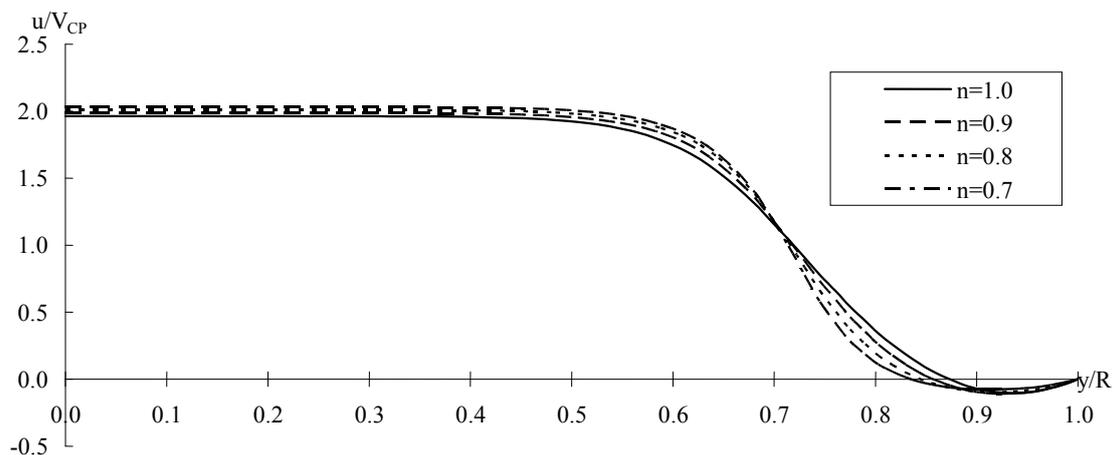


Рис. 3 - Изменение продольной скорости по радиусу трубы за препятствием в виде выступа в сечении «I-I» (рис. 2, а)

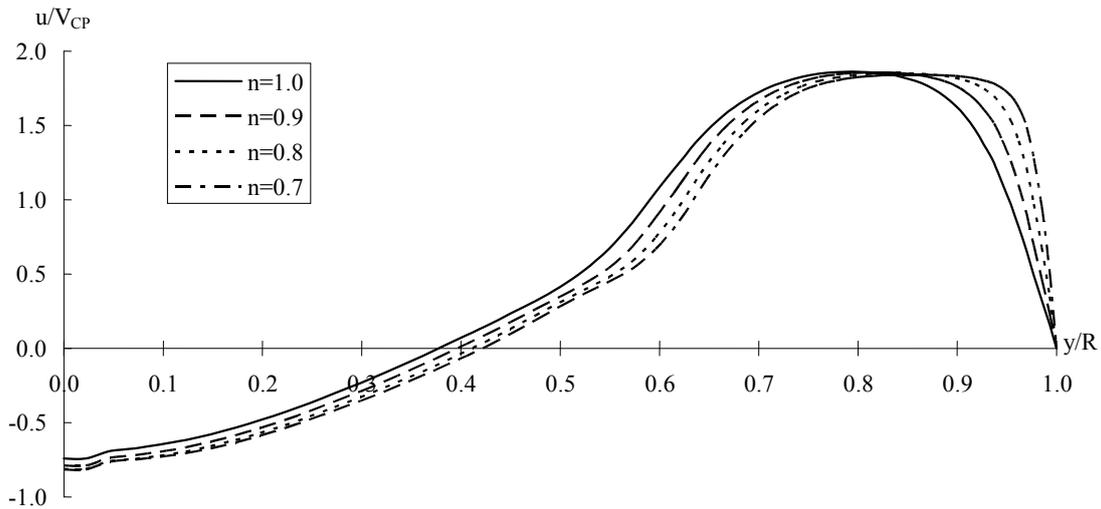


Рис. 4 - Изменение продольной скорости по радиусу трубы за препятствием в виде центрального тела в сечении «II-II» (рис. 2, б)

Как следует из рис. 3, при снижении показателя наблюдается увеличение осевой составляющей скорости примерно до уровня среза препятствия. В силу баланса массового расхода это приводит к увеличению циркуляционной области в продольном направлении. При движении жидкости за цилиндрическим центральным телом уменьшение приводит к более существенным градиентам скорости вблизи стенки, в то время как аналогичные изменения вблизи оси симметрии в области возвратно-циркуляционного течения становятся менее заметными, начиная с $n=0.8$.

Список использованных источников

1. Чжен П. Отрывные течения. Т. 1. – М.: Мир, 1972. – 300 с.
2. Белов И. А., Исаев С. А., Коробков В. А. Задачи и методы расчета отрывных течений несжимаемой жидкости. – М.: Судостроение, 1989. – 256 с.
3. Дурст Ф., Растиги А. К. Турбулентное течение за двумерными перегородками // Турбулентные сдвиговые течения. – М.: Машиностроение, 1983. – С.229-246.
4. Назмеев Ю. Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 612 с.
5. Вахрушев А. А. Численное исследование влияния локальных зон изменения вязкости на параметры течения жидкостей // Проблемы термогазодинамики и прочности механических систем. – Ижевск: Изд-во ИПМ УрО РАН, 2005. – С.40-50.
6. Варфоломеева О. И., Попов Д. Н. Численное моделирование неизотермических течений жидкого топлива с переменной вязкостью в теплоэнергетическом оборудовании // Промышленная энергетика. - №12. – 2011. – С. 11-13.
7. Белов И. А. Емельянов В. Н. Разностное моделирование течений газа и жидкости: Учебн. пособие. – Л.: Изд-во ЛМИ, 1982. – 92 с.
8. Torrance K. E. Comparison of finite-difference computations of natural convection // Journal Res. N. B. S., Math. Sci. – 1968. – № 72B.
9. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА:
ПРОЕКТИРОВАНИЕ БУДУЩЕГО
КАК ТОЧНАЯ НАУКА**

Жиров В.В.¹, Сбойчаков К.О.²

¹*Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова*

²*Государственная публичная научно-техническая библиотека России*

В XX веке произошли события, которые нельзя было предвидеть на основе прошлого опыта и предыдущих представлений о человеческой деятельности на Земле. Можно долго перечислять «новости» последнего века и удивляться скорости их поступления, но у всех этих новшеств есть одно общее свойство: по атомным представлениям, всё это мало-энергетические достижения, – все они связаны с переходами в электронных оболочках атомов и составляют скромный, в лучшем случае, десяток электрон-вольт на один акт преобразования энергии. Это обстоятельство гарантирует нам «бедность». Существенная часть развитого общества просто обречена на пребывание в нищете и невежестве. Что бы мы ни делали, сколько бы ни печатали конвертируемой валюты и куда бы мы ни отсылали переводы денег по земле, это означает только символическую информационную операцию, где за огромными миллиардами чисел не спрятать энергетическую нищету и наше бессилие перед неумолимыми природными процессами.

С точки зрения реальной энергетики и реальной экономики в XX веке произошло единственное революционное событие: мы научились использовать внутриатомные силы, где на один акт преобразования энергии мы получаем миллионы электрон-вольт. Из внутриатомных сфер «подуло» невероятной, колоссальной энергией. Ситуация в головах людей стала абсурдной. Мы все привыкли жить в условиях дефицита ресурсов, породившего своего рода суеверные отношения к частной собственности. Как нам понять, что такое «открытый энергетический счёт»? Ведь даже при любом уровне использования энергии человеком запасов ядерного топлива в земной коре хватит на миллионы лет! Ограничивающим фактором становится не наше бессилие, а наша неготовность использовать новые возможности.

Явление ядерно-космического цикла

Вся природа Земли вместе с человеком живёт внутри солнечного водородно-углеродно-кислородного цикла. В его пределах можно наблюдать такие чудеса, как замкнутость самого цикла, когда создание и разрушение сбалансированы так, что никогда не возникают отходы, не накапливаются «ненужные» части. В его фундаментальных процессах экономно участвует небольшое количество элементов. Снаружи такие мало-напряженные энергетические процессы, как, например, фотосинтез, не используют напряжённые химические реакции с участием хлора, фтора, натрия. Эти «сильные» реакции спрятаны, как правило, внутри клеток, и внешний мир от них защищён. И сам по себе, весь этот цикл расположился в пределах, ограниченных внешней границей биосферы Земли «снаружи» и электронными оболочками атомов «изнутри».

Можно сказать, что солнечный водородно-углеродно-кислородный цикл во всех своих средах обладает в целом внутренне присущей безопасностью и временность любых его внутренних построений не грозит временностью самому циклу в целом.

Выход в космос и освоение ядерных реакций человеком принципиально нарушили границы замыкания этого цикла – его способности утилизировать все отходы, одновременно создав предпосылки вхождения в новый, ядерно-космический цикл. По аналогии с солнечным биосферным циклом, где существует круговорот воды, углекислого газа и других основообразующих соединений, ядерно-космический цикл обладает следующими важнейшими свойствами: 1) внутренне присущая безопасность по отношению к биосферному циклу; 2) потенциальная замкнутость; 3) устойчивость обратных связей для обеспечения стационарного состояния.

Что такое стационарное состояние с точки зрения развития производства энергии? Очевидно, чтобы избежать аварий типа Чернобыльской, надо убрать всякие неуправляемые динамические процессы в области энергетики – не надо ее развивать выше допустимого уровня и поддерживать на таком уровне, где гарантированно цикл может быть замкнут. Энергетика обладает устойчивостью на определенных своего рода «квантовых уровнях» и предпочитает ступенчатые переходы, а в случае прогрессивного развития возникает нестабильность, неравномерность, отсутствует целостность.

Что такое Белая земля

Группа ученых и инженеров из разных стран поставила перед собой вопрос: возможно ли создать мировую энергетическую систему, которая позволяет, с одной стороны, организовать производство энергии, достаточное для удовлетворения всех потребностей общества, с другой – обеспечить нормальное сосуществование человека и природы.

Целостный подход в развитии мировой энергетической системы, соответствующие ему технологии замкнутого топливного цикла, программа производства и потребления безопасной и экологически чистой энергии и уничтожения всех отходов, – весь этот комплекс получил название «Белая земля».

Анализ современного состояния энергетики с точки зрения единой системы Земли позволил сформулировать следующие требования, предъявляемые к энергетической системе.

Целостность. Энергетическая система должна быть целостной, т.е. включать в себя все стадии производства и потребления энергии – добычу и транспортировку топлива, производство, передачу и использование энергии и утилизацию отходов, причем к отходам относится сама энергетическая система по окончании ее деятельности.

Эффективность. Разница между количеством произведенной энергии и энергетическими затратами (добыча сырья, производство, транспортировка и уничтожение отходов) должна быть настолько велика, чтобы удовлетворить все потребности в энергии.

Безопасность. Энергетическая система в целом и все составляющие элементы должны обладать свойствами внутренне присущей безопасности, т.е. при любом воздействии на систему, включая землетрясение, взрыв, затопление, пожар, диверсию или ошибку оператора, недопустимое влияние на окружающую среду должно быть детерминировано исключено.

Надежность управления. Надежность управления должна обеспечиваться достаточной простотой взаимодействия между оператором и системой производства и потребления энергии, не требующей высокого уровня подготовки персонала.

Гарантированность ресурсов. Система должна быть обеспечена запасами сырья и топлива для производства энергии в количестве, достаточном для удовлетворения всех энергетических потребностей человечества на длительный период.

Рециркуляция. Топливо должно возвращаться в энергетический цикл для повторного использования до полной утилизации с целью извлечения из него максимально возможного количества энергии.

Безотходность. Добыча сырья, производство, транспортировка, использование энергии и переработка отходов не должны приводить к накоплению отрицательных последствий на весь срок деятельности энергетической системы, т.е. система должна быть безотходной.

Бионейтральность. Энергосистема не должна возмущать природные биологические циклы по водороду, азоту, углероду, кислороду и т.д.

Эти требования являются не только желательными, но и обязательными, так как смягчение их в прошлом приводило к созданию систем, принципиально не гармонизируемых в условиях развития цивилизации.

Возможное будущее России

В современном мире наконец-то появилась идея создания целостной инфраструктуры энергоинформационного поля Земли. Достижения в развитии малоэнергетических процессов очевидны и бесспорны, но они не решают вопроса преодоления всеобщей бедности. Россия со своим положением на Земле могла бы заполнить пустоту в принципиальном решении энергетических проблем в мире. Это не имеет никакого отношения к демонстративному во-

енному превосходству, к праву на распределение энергетических ресурсов, ко всем видам противостояния в этой области.

Роль России сейчас видится нам в том, чтобы открыть возможность для потребителя свободно использовать мировые энергетические ядерные ресурсы. Лучше всего эта роль выражается русскими словами «реальная щедрость», потому что она подобна неограниченному банковскому счёту в любом месте Земли, открытому для любого, желающего каким-то эффективным образом использовать эту энергию. Это попутно потребует изменения экономических ценностных представлений о богатстве и бедности, в том числе и переосмысления самого понятия «деньги». По сути деньги – это энергия, единая валюта Земли.

Уже сейчас в мире, и в том числе в России, созданы ядерные реакторы, которые могут быть замкнуты в общий энергетический цикл. Они отвечают самым строгим требованиям безопасности и практически не загрязняют окружающую среду радиоактивными отходами. В этих реакторах ядерное топливо передаёт произведённую энергию циркулирующему тяжёлометаллическому теплоносителю, например, свинцово-висмутовому, который является и экраном, защищающим внешнюю среду. В случае любого нарушения работы реактора – снаружи или внутри, теплоноситель замерзает и тем самым исключает всякое заражение внешней среды, то есть воздуха, почвы, воды и т. д. Безопасность, как свойство объекта не допускать неприемлемых ситуаций, достигается принципиальным устройством и свойствами самого аппарата, а не только требованиями организаций по надзору и контролю.

В своё время были проведены испытания такого типа реактора на воздействие со стороны внешнего подрыва, утопления, поджигания и других всевозможных способов. Ни одна из аварий не привела к заражению внешней среды, а только к прекращению производства электроэнергии. Реактор защищён от воздействия человеческого фактора. Время работы такого реактора без перегрузки топлива может быть весьма длительным. После окончания цикла работы, активная зона, замороженная в теплоносителе, может быть полностью заменена и отправлена на переработку. Такой реактор в зависимости от производимой мощности может обеспечить электроэнергией и теплом большинство потребителей – большое село, город и т. д. За всё время эксплуатации, реактор не требует квалифицированного управления со стороны человека. Применение таких аппаратов ликвидирует необходимость длинных линий электропередач, с соответствующими потерями в них.

В целях переработки отходов АЭС в настоящее время разрабатываются технологии замыкания ядерного топливного цикла с так называемым жидкотопливным «реактором-мусорщиком», способным переработать все опасные долгоживущие радионуклиды. Функция ядерного топливного цикла – это приём всех видов отходов и их переработка для получения свежего топлива и материалов. Кроме того, такой реактор-мусорщик – это уникальное устройство для превращения химического и любого другого вида оружия в полезные материалы. По сути, это единственное возможное сегодня решение проблемы массовой эффективной утилизации наследия холодной войны.

Прогнозируемые изменения

В первую очередь, это включение долгосрочного стратегического планирования в развитие энергетики. Эффективность технологий производства и вторичного использования ядерного топлива, так называемое «замыкание ядерного цикла» требует содержания плана как минимум на 100 лет (время, необходимое для удвоения ядерного топлива не менее 50 лет). Во-вторых, необходимо рассмотреть исходные посылы для построения новой макроэкономики. Детальная разработка экономического поля «Белой земли» – это задача, которую может решить высококвалифицированный коллектив экономистов разных стран. В-третьих, переход от существующей энергетики к безопасной энергетике с замкнутым топливным циклом означает, что общие требования к целостной энергетической системе приобретают статус юридического закона. Это означает также переход от энергетики, опирающейся на сумму законодательств отдельных стран, к энергетике, существующей в пространстве международного права и действующей в духе всеобщих прав человека.

Очевидно, кроме технических, необходимо решать сопутствующие социально-гуманитарные вопросы, поэтому мы предлагаем создать на базе ГПНТБ России при участии института Курчатова Центр по межкультурному взаимодействию с целью разработки стратегии развития энергетики и новых материалов. Планируется, что Центр будет решать следующие задачи:

- отбор технологий, пригодных в системах замкнутого топливного цикла на основе требований «Белой земли»;
- оценка последствий применения отдельных технологий в мировой энергетической системе в целом на долгое время и с точки зрения экологической пригодности;
- разработка программы перехода от существующей энергетической системы к энергетической системе на принципах единого замкнутого топливного цикла;
- отбор в единый банк данных современных технологий и оценка их пригодности как составляющих целостных ячеек-предприятий, потребляющих энергию;

Располагаясь в библиотеке, Центр не имеет закрытой информации, и его проекты реализуются в информационном пространстве. В Центре работают ученые, инженеры, экономисты, бизнесмены, юристы и люди других специальностей, объединенные идеей целостной мировой стратегии энергетики в разных ее аспектах. Любое государство может принять участие в развитии автономных экологически чистых систем малых и средних предприятий на своей территории путем принятия соответствующей государственной программы. Это позволит местным институтам и предприятиям защищать интересы энергетической безопасности интересы государства в органах его управления, учитывать особенности региона и возможности его участия в интегративных мировых процессах.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ И ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

*Багликов А.С., Андрушкевич А.И., Адамюк О.И.
Белорусский национальный технический университет*

Атомная электростанция является стратегически важным объектом государства, на территории которого он возведен. Выход из строя такого объекта, а тем более авария, влечет за собой колоссальный экономический урон, отказ в работе коммуникаций. Однако хуже всего то, что сама по себе авария на АЭС влечет за собой огромные людские и территориальные потери. В 1986 году произошла авария на Чернобыльской АЭС, а в 2011 году на японской АЭС Фукусима-1. Обе аварии имели тяжелейшие последствия. 2 ноября 2013 года Президент Республики Беларусь А.Г. Лукашенко подписал указ №499 «О сооружении Белорусской атомной электростанции».

Аварии на ЧАЭС и на Фукусиме-1 явились основанием для осознания всеми членами мирового сообщества необходимости серьезного переосмысления требований к безопасности, как к базовому условию дальнейшего развития атомной энергетики, в сторону их ужесточения. Непростая международная обстановка, события в соседней Украине, присутствие угрозы применения террористических актов – все эти обстоятельства заставляют применять инновационные технологии в области безопасности строящейся на Островецкой площадке Белорусской АЭС.

Для белорусской АЭС был принят российский проект АЭС-2006 поколения III+. Ближайший аналог – Ленинградская АЭС. АЭС-2006 является развитием Тяньваньской АЭС построенной в Китае по проекту ОАО «СПбАЭП» и сданной в коммерческую эксплуатацию в 2007 году. По мнению ведущих экспертов, Тяньваньская АЭС является одной из самых передовых и безопасных действующих атомных станций в мире.

На настоящий момент требования Российской Федерации в области безопасности атомных реакторов являются самыми жесткими в мире. Фактически 70 % стоимости АЭС составляет защита реакторов. Всего реактор Островецкой АЭС получит свыше 100 активных и пассивных систем защиты.

Основные принципы безопасности, положенные в основу проектирования белорусской АЭС:

1. *Принцип глубокоэшелонированной защиты и планирование защитных мероприятий.* Защита реактора состоит из пяти уровней: предотвращение отказов и нарушений нормальной эксплуатации, контроль нарушений нормальной эксплуатации, обнаружение отказов и предотвращение аварий, управление тяжелыми авариями и локализация выброса, планирование защитных мероприятий (т.е. снижение риска для населения и окружающей среды за счет административных мер).

2. *Принцип самозащитенности реакторной установки:* реактор самостоятельно в случае возникновения нештатных ситуаций прекращает реакции деления.

3. *Барьеры безопасности:* наличие не менее четырех независимых барьеров безопасности, препятствующих распространению радиации за пределы площадки станции.

4. *Многokратное дублирование каналов безопасности.* В случае выхода из строя основных систем безопасности включаются системы управления запроектными авариями: систему удаления водорода; систему защиты первого контура от превышения давления; пассивную систему отвода тепла через парогенераторы; пассивную систему отвода тепла от защитной оболочки; устройство локализации расплава (ловушка расплава). Ловушка расплава – уникальная система российского производства, она предотвращает выход радиоактивных элементов за пределы герметичной оболочки при любых сценариях. Наличие комплекса мер безопасности, включая наличие ловушки расплава, позволило МАГАТЭ признать Тяньван-

скую АЭС (Китай) самой безопасной в мире. Белорусская АЭС является копией Ленинградской АЭС-2, прототипом которой, в свою очередь, является Тяньванская АЭС.

5. *Применение пассивных систем безопасности.* Пассивные системы безопасности не требуют источников энергии и обеспечивают остановку реактора и отвод остаточного тепловыделения за счет естественных законов природы.

6. *Концепция безопасности.* Она предусматривает средства предотвращения аварий и средства управления запроектных аварий.

7. *Культура безопасности на всех этапах жизненного цикла.* Это внутренняя психологическая и квалификационная готовность и способность персонала станции к обеспечению ее безопасной эксплуатации.

8. *Собственные силы и средства гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций.* Собственные силы и средства гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций представляют собой штатную структуру, находящуюся в постоянной боевой готовности оперативно предотвратить последствия любой аварии. Штатная структура подобного рода является уникальной особенностью российских проектов.

9. *Принцип выбора площадки АЭС в местах, где отсутствуют запрещающие факторы.* Например, по российским нормативам, строительство на том месте, где располагалась станция Фукусима-1, запрещено.

Основными факторами в области военной безопасности объекта, учтенные в проекте АЭС, являются обеспечение целостности двойной оболочки реактора от падения самолета весом до 400 тонн (Boeing 767, являвшийся причиной теракта 11 сентября 2001 года в США, весит около 190 тонн) и от распространения ударной волны во фронте, давлением до 30 кПа (что является средней зоной разрушения от ударной волны ядерного взрыва, расстояние 5 км от центра наземного ядерного взрыва мощностью 1 Мт). Двойная защитная оболочка реактора состоит из двух контуров – внутренней и наружной оболочки. Толщина внутренней оболочки составляет 1200 мм высокопрочного напряженного железобетона. Изнутри эта оболочка облицована углеродистой сталью толщиной 6 мм для обеспечения безопасности. Внешняя оболочка имеет толщину 800 мм и защищает реактор от внешних воздействий. Кроме того предусмотрено обеспечение предотвращения диверсионных и террористических атак силами подразделения внутренних войск – специально отобранных по морально-психологическим и деловым качествам военнослужащих.

Цели проекта АЭС-2006 при тяжелых авариях: обеспечить ограничение последствий аварий с тяжелым повреждением активной зоны для населения и окружающей среды, исключить необходимость экстренной эвакуации и длительного отселения гражданского населения, ограничить зону планирования защитных мероприятий для населения радиусом не более 3 км. Достижению этой цели способствуют учтенные в проекте вышеперечисленные концепции безопасности. Системы Белорусской АЭС способны обеспечить безопасность населения в случае возникновения проектных и запроектных аварий. Однако экономический урон для нашего государства очевидно от этих аварий будет велик. Поэтому очень важно *предотвращать* угрозы военного характера на стадии их появления, *не допуская* успешного поражения важных объектов для работы АЭС.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕГРУЗОК МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Анищенко В.А., Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Колосова И.В.

Белорусский национальный технический университет

Мощность силовых масляных трансформаторов выбирается исходя из экономической целесообразности режима работы и надёжности электроснабжения приёмников электроэнергии при условии, что нагрузки трансформаторов не должны приводить к снижению их нормального срока службы или гарантировать его незначительное уменьшение при больших нагрузках по току.

Чрезмерно большие и длительные перегрузки трансформаторов существенно снижают их надёжность и срок службы из-за повышенного износа изоляции обмоток в результате нагрева.

С другой стороны, недоиспользование потенциальной перегрузочной способности трансформаторов приведёт к необоснованному преждевременному отключению потребителей электроэнергии и существенному экономическому ущербу.

Согласно стандарту [1] нормальные режимы систематических нагрузок трансформаторов представляют собой циклические неаварийные режимы с нормальным сокращением срока службы, эквивалентным его сокращению при продолжительной работе с номинальной нагрузкой при температуре охлаждающей среды $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Неучет изменяющейся температуры охлаждающей среды может значительно (до двух и более раз) изменять допустимую продолжительность перегрузки.

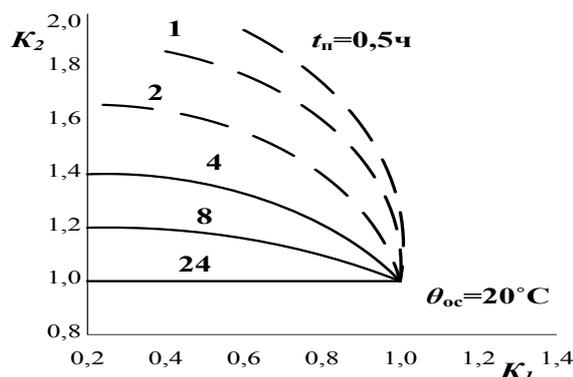


Рис. 1 - Допустимые систематические нагрузки с нормальным сокращением срока службы при $\theta_{oc} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$: K_1 - коэффициента начальной нагрузки; K_2 - коэффициента перегрузки

На точность определения допустимой перегрузки может повлиять неучет фактического теплового состояния трансформатора в момент времени t_1 , предшествующий началу перегрузки (рисунок 2). Неучет предыстории нагрузки на интервале времени, предшествующем перегрузке, может снизить точность определения длительности перегрузки t_{II} .

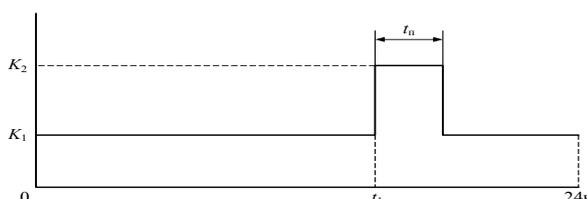


Рис. 2 - Эквивалентный двухступенчатый график нагрузки

Таким образом, неучет предыстории, т. е. фактического графика нагрузки до наступления перегрузки, а также возможных изменений кратности перегрузки в процессе ее развития,

может привести к большим погрешностям определения допустимой длительности перегрузки и, как следствие, к недопустимому перегреву изоляции обмоток или неполному использованию номинальной перегрузочной способности трансформаторов, что ограничивает возможность полного удовлетворения запросов потребителей. Поэтому действующий стандарт [1] настоятельно рекомендует потребителям делать свои собственные расчеты допустимых нагрузок на основе более реальных графиков нагрузки.

Связь между кратностью перегрузки и обусловленной ею кратностью превышения температуры изоляции обмоток над температурой охлаждающей среды отражает инерционное звено первого порядка с передаточной функцией

$$W(P) = \frac{k}{TP + 1}, \quad (1)$$

где входным сигналом является кратность перегрузки, выходным – кратность превышения температуры наиболее нагретой точки трансформатора; $P = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования; k – коэффициент пропорциональности.

Если кратность перегрузки изменяется, ее можно представить рядом накладывающихся ступенек кратности, сдвинутыми относительно начала перегрузки на интервалы временной дискретизации процесса. Осреднение удобно производить методом экспоненциального сглаживания

$$\bar{K}_1(t) = \alpha K_2(t) + [1 - \alpha] \bar{K}_1(t - h), \quad (2)$$

где $\bar{K}_1(t)$ – осредненная кратность нагрузки в момент времени t ; $\bar{K}_1(t - h)$ – то же в предыдущий момент времени $(t - h)$; h – интервал времени дискретизации процесса.

Используя рекуррентное соотношение (2), можно непрерывно отслеживать осредненную кратность перегрузки и таким способом косвенно контролировать тепловое состояние трансформатора. Допустимая длительность переменной перегрузки t_{Π} в момент времени t :

$$t_{\Pi(t)} = -T \ln \frac{K_2(t) - K_3}{K_2(t) - \bar{K}_1(t)}, \quad (3)$$

где K_3 – кратность перегрузки, соответствующая допустимому превышению температуры наиболее нагретой точки $\tau_{\text{аиі}}$.

Значения K_3 можно рассчитать по формуле:

$$K_3 = K_2 - (K_2 - K_1) \cdot e^{-\frac{t_i}{T}}. \quad (4)$$

Значения K_1, K_2, t_{Π} берутся из рекомендуемых стандартом [1] таблиц допустимых при разной температуре охлаждающей среды нагрузок

Разработана методика для определения допустимой продолжительности систематической неаварийной перегрузки распределительных масляных трансформаторов, учитывающая изменения кратностей перегрузки на интервале времени ее существования и изменения теплового состояния трансформатора. Применение этой методики позволит повышать точность определения допустимой продолжительности систематических перегрузок и в конечном итоге надежность работы трансформатора и системы электроснабжения в целом. Реализация методики предполагается посредством мониторинга нагрузки трансформатора как одной из задач автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии.

Список использованных источников

1. ГОСТ 14. 209-97 (МЭК 354(1991)). Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГОБЕЗОПАСНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ БЕЛАРУСИ

*Поляков А.Л., Мисников В.А., Цыжик В.С., Ерохин К.А., Мозговенко М.С.
Унитарное предприятие «Институт горного дела»*

Основными энергопотребителями многих промышленно развитых регионов Беларуси являются горнодобывающие предприятия. Так, например, только на горных предприятиях ОАО «Беларуськалий» годовое потребление электрической энергии составляет более одного миллиарда киловатт-часов, природного газа – около 300 миллионов кубических метров. Установленная мощность оборудования составляет более 700 мегавольтампер. Учитывая то, что всего в Беларуси за год потребляется 37 миллиардов киловатт-часов, это значимо.

Поэтому важным является уменьшение расхода топливно-энергетических ресурсов на производство электрической и тепловой энергии за счет применения высокоэффективного энергетического оборудования, энергосберегающих технологий, а также сокращения потерь при добыче, переработке и транспортировке продукции.

Основные энергозатраты на горных предприятиях связаны с добычей полезных ископаемых, их переработкой.

Часть этих затрат не зависит от объема добычи (постоянные затраты), часть - зависит пропорционально от объема добываемой горной массы (переменные затраты). Переменные затраты происходят в процессе добычи полезных ископаемых (разрушение, транспортировка), их переработки (дробление, обогащение, сушка). Постоянные затраты происходят в большей мере на уровне строительства горного предприятия, и частично во время его эксплуатации, т.е. идут на поддержание созданной инфраструктуры. Они относятся на себестоимость выпускаемой продукции. Для их снижения важно использовать подготовленные к отработке месторождения наиболее оптимальным способом, в том числе повышая извлечение полезного ископаемого.

В настоящее время Институт горного дела решает задачи по рациональной отработке оставшихся запасов Старобинского калийного месторождения. Среди уже внедренных и внедряемых в настоящее время предложений - селективная выемка с оставлением в шахте пустой породы [1]; - отработка лавами запасов с минимальным оставлением целиков; - извлечение полезного ископаемого из-под ранее подработанных участков шахтных полей [2]. Совместно с головным предприятием - ЗАО «Солигорский Институт Проблем ресурсосбережения с опытным производством» ведутся работы по разработке, модернизации горношахтной техники для предлагаемых новых технологий. Внедрение данных предложений позволяет сберечь энергоресурсы на подготовку новых участков.

Имеются и другие, в настоящее время не используемые возможности по снижению энергозатрат.

О размещении обогатительной фабрики по обогащению калийной руды под землей задумывались еще 25-30 лет назад, в 80-е годы прошлого века. Тогда данный проект, в котором участвовали и специалисты Института горного дела, был приостановлен на стадии рабочего проектирования. Для его реализации требовались большие площади, что для калийных рудников являлось проблематичным из-за низкой устойчивости горных выработок. Однако с тех пор технологии шагнули с четвертого технологического уклада на шестой, и решить данный вопрос стало проще. Это потребует в свою очередь разработки более совершенной технологии по закладке отходов обогащения в выработанное пространство. Однако и этот вопрос при современном уровне развития науки и машиностроения может быть решен в более короткие сроки, чем три десятилетия назад.

Еще одним направлением является внедрение более эффективной технологии отбойки полезного ископаемого. За последние 40 лет произошел существенный (более, чем на порядок) рост энерговооруженности горных предприятий. Однако это не привело к существен-

ному прорыву в росте производительности труда, объем добычи увеличивался существенно меньшими темпами. Изменить эту тенденцию на наш взгляд можно, используя другие принципы разрушения полезного ископаемого. Среди перспективных могут быть применены подходы, использующие давно известные, но еще не внедренные предложения, в т.ч. эффект электрогидравлического удара, открытый Юткиным Л.А. [3, 4]. Сущность этого эффекта состоит в том, что при прохождении электроразряда высокого напряжения через жидкость в открытом или закрытом сосуде, некоторый объем этой жидкости, находящийся в межэлектродном пространстве, мгновенно вскипает, в результате чего в сосуде образуется газожидкостная смесь, способная вызвать мощный энергетический импульс. Этот эффект можно использовать как для непосредственного воздействия на горные породы, так и при разработке новых типов рабочих инструментов.

В Московском государственном машиностроительном университете (МАМИ) был создан лабораторный образец (макет) установки электрогидравлического перфоратора для проведения исследований и снятия рабочих характеристик [5, 6]. Подход, примененный для создания данного перфоратора, может быть перенесен и на новый рабочий орган добычного комбайна.

Опытная установка для разрушения бетонных, железобетонных и каменных конструкций методом электрогидравлического теплового взрыва создана в Гродненском государственном университете им. Я.Купалы [7].

Импульсный электрический разряд создавался в заполненных водой шпурах, пробуренных в разрушаемом материале. В результате электрического пробоя жидкости и термического расширения формируемого плазменного канала происходит эффективное преобразование энергии мощного импульса тока в энергию ударных волн и быстро нарастающего импульса давления на стенки канала. Суммарное воздействие этих факторов ведет к зарождению и развитию системы радиальных трещин и, в конечном счете, разрушению материала. В настоящее время ведутся переговоры о продолжении исследований для разрушения

Реализация эффекта электрогидравлического удара в двух перечисленных выше проектах указывают на возможность создания нового режущего механизма горного комбайна. В настоящее время Институт горного дела рассматривается возможность использования этих опытных установок для проведения испытаний как на калийных рудниках ОАО «Беларуськалий», так и на гранитных карьерах РУПП «Гранит».

Еще одним важным направлением энергобезопасности горнодобывающих предприятий является использование их возможностей для выработки альтернативных видов энергии. Наиболее актуальными для промышленности будут такие альтернативные источники энергии: ветровые, солнечные, геотермальные. Большинство горных предприятий в процессе своей работы получают отходы, которые складывают в виде отвалов, занимая полезную площадь. Именно на этих объектах имеет смысл располагать ветровые установки по ряду причин: во первых ветряки будут располагаться высоко над поверхностью земли (а там как известно скорость ветра выше чем у поверхности), а во вторых позволит использовать отчужденную территорию.

На территории предприятий расположено большое количество зданий и сооружений это и административно-бытовые помещения, склады, гаражи и многие другие, крыши которых прекрасно подходят для установки солнечных модулей. Поверхность отвалов тоже может быть покрыта солнечными панелями.

Современные горные предприятия работают на достаточных глубинах, где температура пород гораздо выше нуля и неизменна в течение всего года. На этих предприятиях для обеспечения нормальных условий работы предусмотрена вентиляция подземного пространства посредством закачивания свежего воздуха с поверхности, однако, в зимнее время, когда температура на поверхности опускается ниже ноля, подаваемый воздух необходимо подогревать до плюсовых (+2...+5 °С) отметок. В отличии от подаваемого воздуха исходящий имеет постоянную температуру вне зависимости от времени года, что делает его идеальным источни-

ком энергии для теплового насоса (т.е. гидротермальным источником энергии) [8]. Такими же температурными свойствами обладает и окружающая порода в подземных горных выработках, тепло которой поддерживается за счет внутреннего тепла земли.

Внедрение альтернативных технологий получения электроэнергии и тепла в горнодобывающее производство приобретает все большее значение при существующей энергоёмкости технологических процессов, однако, высокая стоимость первоначальных затрат на исследования, конструирование и проектирование вынуждает откладывать внедрение энергосберегающих технологий на «завтрашний день». Решение этой задачи может быть ускорено при совместной реализации данных проектов в рамках союзного государства. Что немало важно, оборудование для этих технологий в большинстве случаев частично либо полностью уже сейчас можно производить в месте их внедрения. Для калийных рудников и гранитных карьеров Беларуси оно может быть изготовлено в том же Солигорском институте проблем ресурсосбережения с опытным производством и его дочерних структурах, других горно-машиностроительных предприятиях Солигорска.

Список использованных источников

1. Петровский, Б.И. Разработка эффективных и безопасных технологий и средств очистной выемки сложноструктурных калийных пластов Старобинского месторождения. Дис. докт.техн.наук: 25.00.22, 05.05.06 / Б.И.Петровский; ЗАО «СИПР с ОП». – Солигорск, 2003. – 338 с.
2. Губанов В.А., Пузанов Д.А., Мозговенко М.С., Михеев И.А. Выбор мест заложения подготовительных выработок при их проведении в охранных междустолбовых целиках через 25-30 лет после завершения очистных работ в смежноотработанных лавах // Горная механика и машиностроение. – 2014. -№1. –С.43-47.
3. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. СПб: «Машиностроение», 1986. – 252 с.
4. Юткин Л.А. – Удобрение без удобрений // «ИР». - 1961. № 10. – С.16-17.
5. Патент РФ №2015873 Инструмент с электрогидравлическим приводом. Оpubл. 15.07.94.
6. Патент РФ №74335 Электрогидравлическое устройство ударного действия. Оpubл. 29.12.07.
7. Патент РБ №9817 «Мобильная установка для разрушения монолитных конструкций». Оpubл. 30.10. 09.
8. Ерохин К.А., Пузанов Д.А., Мозговенко М.С. Использование тепловых насосов для подогрева шахтного воздуха в зимнее время // Горная механика и машиностроение. – 2012. -№2. –С.84-88.

СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ

Покотилов В.В., Жидович И.С.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь на теплоснабжение многоквартирного жилого фонда расходуется более 35 % суммарного потребления органического топлива. Одной из существующих альтернатив органическому топливу является использование местных и возобновляемых источников энергии с применением современного оборудования для их использования, в т. ч. тепловых насосов, утилизаторов теплоты удаляемого воздуха, фотоэлектрических преобразователей, гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения.

В рамках проекта ПРООН/ГЭФ «Повышение энергетической эффективности жилых зданий в Республике Беларусь», реализуемого Программой развития ООН и Департаментом по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь при финансовой поддержке Глобального экологического фонда, основное внимание уделяется разработке и обеспечению эффективного внедрения новых методов проектирования жилых зданий и строительных норм, проектированию и строительству трех демонстрационных многоэтажных жилых зданий массовых серий в Гродно, Минске и Могилёве, решению вопросов, связанных с сертификацией зданий по уровню энергоэффективности. Национальным исполняющим агентством является Департамент по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь. Основными партнерами проекта выступают Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, ОАО МАПИД, УП «Институт Гродногражданпроект», Могилевский облисполком. Проект ставит своей целью снижение потребления энергии при строительстве и эксплуатации жилых зданий и соответствующее сокращение выбросов парниковых газов. Для каждого из трёх демонстрационных многоэтажных жилых зданий реализуются различные варианты систем теплоснабжения с комбинацией различных возобновляемых источников энергии. Основные проектные работы выполняются УП «ИНСТИТУТ ГРОДНОГРАЖДАНПРОЕКТ», ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.»

Тепловые насосы являются признанным энергоэффективным и экологически чистым теплогенерирующим оборудованием. В мире ежегодно вводятся в эксплуатацию около 2 млн. тепловых насосов разных типов и мощности. По прогнозу Международной электротехнической комиссии (МЭК) к 2020 году в развитых странах 75% теплоснабжения (коммунального и промышленного) будет осуществляться с помощью тепловых насосов. Особенно интенсивно применяются тепловые насосы в странах Западной Европы и Скандинавии (в Германии, Великобритании, Швейцарии, Австрии, Польше, Швеции, Норвегии). В последнее десятилетие реализуются пилотные проекты в России, Украине и Казахстане.

В последние годы в Республике Беларусь принят ряд решений по повышению энергетической эффективности жилищного строительства и по тарифной политике, которые значительно повысили конкурентоспособность тепловых насосов как источников теплоснабжения нового многоквартирного жилого фонда. Способствуют этому и мировые тенденции технического совершенствования и экономического стимулирования. Определяющими факторами, дающими основание рассматривать тепловые насосы в качестве источников теплоснабжения многоквартирных жилых домов, является их энергетическая и экологическая эффективность, когда тепловая энергия генерируется в местах ее потребления, а топливо для выработки электрической энергии сжигается вне жилых районов. Низкопотенциальными источниками теплоты (НПИТ) для тепловых насосов могут быть: вытяжной воздух; наружный воздух; грунт; сточные воды; подземные и поверхностные воды; дымовые газы собственной крышной котельной на природном газе; вторичные тепловые потоки промышленных предприятий и объектов коммунального хозяйства (ТВЭР); теплоноситель существующей сети теплоснабжения района от ТЭЦ.

Наружный воздух является самым доступным НПИТ неограниченного объема. Эффективность его использования в Республике определяется особенностями климата. Так, для условий г. Гродно по данным многолетних наблюдений при расчетной для отопления температуре наружного воздуха равной минус 22 °С продолжительность стояния температуры ниже минус 15 °С составляет только около 2 % от продолжительности отопительного периода, а ниже минус 10 °С – около 7 %. Учитывая технические возможности современных тепловых насосов, можно рассматривать наружный воздух как перспективный НПИТ, особенно при ограниченных ресурсах НПИТ других видов.

Грунт верхних слоев земли, так же как и наружный воздух, представляет собой тепловой аккумулятор неограниченной емкости. Эффективность использования теплоты грунта определяется, главным образом, температурным режимом грунта в годовом цикле и зависит от его состава, влажности, температуры воздуха и др. Температура грунта в зимний период на глубине 0,8 м составляет от 1...3 °С, а на глубине 1,5 м – 2...7 °С. Технически возможны системы отбора теплоты грунта с применением теплообменников из пластиковых труб разного диаметра: горизонтального исполнения (змейки, петли и др.), укладываемые с заглублением на 1,5-2,0 м в грунт, и вертикального (зонды) – в скважины разной глубины или в опоры фундаментов зданий. В условиях дефицита свободной от застройки территории применение горизонтальных теплообменников имеет ограничения, поэтому отбор теплоты от грунта возможен только с применением различных конструкций вертикальных теплообменников.

Сточные воды очень перспективный, но пока мало используемый для теплоснабжения источник низкопотенциальной теплоты, что обусловлено их биологической и коррозионной агрессивностью, неравномерным режимом потока в канализационной сети. Объемы и температура бытовых сточных вод зависят от уровня инженерного благоустройства, привычек жителей и температуры водопроводной воды. На выпусках домов их температура изменяется в интервале от 15 °С до 35 °С при среднем суточном значении 24 °С. Проблемы утилизации частично решаются при использовании теплоты только «серых» сточных вод (от ванн, умывальников и кухонь), что возможно при создании в жилых домах двухтрубных систем отведения сточных вод: «серых» и от туалетов. Компактные установки утилизации теплоты сточных вод, включающие герметичные резервуары-усреднители потока, могут размещаться в подвалах домов.

Эффективность применения тепловых насосов в сравнении с другими источниками теплоснабжения определяется по трем критериям: энергетическому, экологическому и экономическому. Энергетическая эффективность рассчитывается по величине ожидаемой ежегодной экономии первичного топлива. Экологическая эффективность применения тепловых насосов выражается в их возможности сокращать при работе одновременно физическое и химическое загрязнение окружающей среды. Экономическая оценка эффективности выполняется по приведенным затратам, величине экономии ежегодных эксплуатационных затрат, сроку окупаемости единовременных капитальных вложений и доходности.

Интенсивность солнечной энергии зависит от географической широты и локальных атмосферных особенностей. Радиационный режим Беларуси аналогичен многим средневропейским странам с развитым применением солнечной энергии в области гелиоархитектуры домостроения и градостроительства, и в области тепловых гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения. В центральной Европе годовое количество солнечной прямой и рассеянной энергии на горизонтальную поверхность составляет 1000...1400 кВтч/м² (в Германии – 1200, в Беларуси -1100 кВтч/м²). В Германии, Великобритании, Швейцарии, Финляндии, США и др. странах для большинства вновь возводимых объектов применяют принципы «солнечной архитектуры», снижающие теплотраты на отопление на 30...60% до уровня 10...40кВтч/м² в год при сроке окупаемости 2...4 года, а в некоторых проектах – со снижением капитальных затрат. Начиная с 80-х годов, правительство Германии настойчиво проводит политику внедрения «солнечной архитектуры» и гелиотехники. К настоящему времени, в связи с отказом от атомной энергетики, Германия ориентируется на по-

всеместное использование возобновляемых источников энергии, как это было принято в Австрии несколько десятилетий тому назад.

Из практики проектирования и эксплуатации гелиосистем известно, что экономически оптимальными для климата – аналога Беларуси являются гелиосистемы, запроектированные на компенсацию 40...70% годовых теплотрат, необходимых на нужды горячего водоснабжения. При более высокой степени компенсации резко возрастают капитальные затраты.

Условно современные гелиоколлекторы можно разделить на гелиоколлекторы с одинарным остеклением и гелиоколлекторы с повышенной теплоизоляцией. Среди последних популярность приобрели трубчатые вакуумированные коллекторы.

Для климатических и эксплуатационных условий Беларуси более соответствуют солнечные плоские коллекторы с одинарным светопрозрачным покрытием. В плоских гелиоколлекторах применяется обычное оконное силикатное стекло, выдерживающее удары крупного града и значительные изгибающие нагрузки, а также стёкла со специальной наружной поверхностью без «блёсткости», которая исключает отражение солнечных лучей при угле падения менее 30 град. Коллекторы со специальным стеклом без «блёсткости» имеют более высокую стоимость. Срок службы более 20 лет, гарантийный срок - от 1 до 10 лет.

Коллекторы с теплоизолирующим светопрозрачным покрытием по своим характеристикам оптимальным образом подходят для климатических условий высокогорной местности.

Условно гелиосистемы подразделяют на небольшие, средние и крупные. Такое разделение связано с принципиальными различиями в конструкции этих гелиосистем. Для крупных гелиосистем, используемых для многоквартирных жилых домов, применяют скоростные пластинчатые теплообменники, отделяющие контур гелиоколлектора от контура горячего водоснабжения с помощью промежуточного между ними контура с буферным баком-аккумулятором ёмкостью более 4 м³.

Крупные гелиосистемы применяют также в сочетании другими возобновляемыми источниками тепловой энергии, что позволяет значительно повысить энергоэффективность систем здания в течение всего года.

При конструировании гелиосистемы и низкотемпературной системы отопления следует учитывать особенности, связанные с монтажом и эксплуатацией систем.

Для повышения эффективности использования теплового насоса и тепловых сетей предполагается использование «никотемпературных систем отопления» здания. Качество теплового комфорта отапливаемых помещений повышается при значительном понижении расчётной температуры теплоносителя системы отопления. Такие системы называются низкотемпературными и максимальная температура теплоносителя в них задаётся от 450 °С до 700 °С. Практика современных систем низкотемпературного водяного отопления (СНВО) обусловлена в основном использованием низкопотенциальных, в том числе возобновляемых, источников энергии, энергоэффективность которых значительно повышается при снижении температуры теплоносителя менее 500 °С. К низкотемпературным источникам относят гелиосистемы, тепловые насосы, утилизаторы тепловых сбросов, системы с аккумуляторами тепловой энергии, низкотемпературные конденсатные водогрейные котлы, энергоэффективные низкотемпературные тепловые сети. СНВО технически реализуются в виде систем напольного, панельного и конвективного отопления.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПОТЕНЦИАЛА ПОТОКА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Левков К.Л.

*Республиканское инновационное унитарное предприятие
Научно-технологический парк БНТУ «Политехник»*

Для Республики Беларусь и Российской Федерации одним из основных направлений развития является энергосбережение. В связи с этим, особенно актуальным становится рассмотрение возможности использования вторичных энергоресурсов, таких как энергия избыточного давления природного газа. Она образуется в ходе процессов понижения давления природного газа до значений, требуемых потребителю. Давление природного газа сначала снижается на газораспределительных станциях (ГРС) с 3,5 – 7,5 МПа до 0,3 – 1,2 МПа, затем на газорегуляторных пунктах (ГРП) до 0,005 – 0,6 МПа. Для понижения давления потоков традиционно применяют дросселирование, при этом происходит диссипация потенциальной энергии, связанной с избыточным давлением газа. Такое положение было бы оправдано в условиях наличия дешевой энергии, либо при отсутствии недорогих и надежных машин, систем автоматического управления, обеспечивающих безусловное протекание процесса, в котором снижение давления, являющееся целевым эффектом, сопровождается побочным эффектом – энергообменом с внешними объектами в форме технической работы.

В результате чего, особенно актуальной становится задача создания устройств, обеспечивающих снижение давления газового потока с одновременным блокированием рассеяния энергии среды, находящейся при избыточном давлении, и параллельным использованием избыточной энергии давления для получения электроэнергии. Это значительно снизит расход природного газа и уменьшит затраты на выработку электроэнергии.

На решение проблемы утилизации энергии избыточного давления природного газа, и направлена инновационная установка ТурбоСфера. Она позволяет использовать низкопотенциальные энергоресурсы, такие как энергию избыточного давления и тепловые отходы для выработки электроэнергии, при этом работая без потребления топлива, а лишь используя часть уже затраченной энергии для своего функционирования.

Все существующие установки, более известные как турбодетандеры и расширительные машины, являются одноступенчатыми, работают в узком диапазоне давлений и расхода природного газа, а также существуют серьезные проблемы с необходимостью подогрева газа. В ТурбоСфере приведенные недостатки отсутствуют, это достигнуто за счет применения нового, запатентованного принципа многоступенчатого расширения потока и его подогрева между ступенями. Таким образом, ТурбоСфера представляет собой выход на новый уровень в проектировании турбомашин.

В перспективе, для выработки электроэнергии, помимо использования энергии избыточного давления природного газа, планируется применение других видов низкопотенциальных энергоресурсов, таких как:

- Тепловые отходы (горячая вода или пар с производств, дымовые газы, попутные газы, выхлопные газы транспортных средств, теплота выделяемая трансформаторами и т.д.).
- Энергия избыточного давления водяного пара, которая будет использоваться на производственных котельных.
- Низкопотенциальное топливо (древесное, торф, лигнин, солома, биомасса и т.п.), в том числе и местные виды топлива.
- Возможно интегрирование ТурбоСферы с установками альтернативной энергетики (геотермальной и солнечной).

На данный момент рынок энергосберегающих установок малой мощности для утилизации энергии избыточного давления природного газа практически не сформиро-

ван. Существующие решения не совсем удовлетворяют требуемым параметрам газовой системы. Делается упор на установки большой мощности. В то время как во всем мире наблюдается тенденция к переходу от большой энергетики к малой, более маневренной и перспективной.

Исходя из особенностей ТурбоСферы, её основными потребителями будут средние и малые промышленные предприятия с постоянным потреблением природного газа и обладающие тепловыми избытками (вода, конденсат, пар, дымовые газы, вентвыбросы и пр.), которые могут быть использованы для подогрева газа. Вырабатываемую энергию целесообразно использовать на собственные нужды предприятия.

Применение ТурбоСферы позволит повысить энергоэффективность и рентабельность промышленных предприятий, снизить потребление первичного топлива и нагрузку на окружающую среду, за счет снижения количества загрязняющих выбросов.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА

*Малашин А.Н., Менжинский А.Б.
Военная академия Республики Беларусь*

В настоящее время в системе электроснабжения (СЭС) функционального оборудования автономного объекта (АО) применяются энергоустановки на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ) и синхронных генераторов (СГ) на основе электрической машины вращения (ЭМВ)[1,2].

Анализ существующих энергоустановок показал, что КПД их не велик и находится в пределах от 21% до 34%, а средняя удельная масса превышает 25 кг/кВт. Причиной этого является сами составляющие энергоустановки, а именно ДВС с КШМ. В современных ДВС источником многих недостатков, а именно: механические потери; ухудшение экономических и массогабаритных показателей; уменьшение моторесурса и надежности двигателя является КШМ. Кроме того затраты на изготовление которого составляют 25-40 % от себестоимости двигателя.

В настоящее время в ряде зарубежных стран (России, США, Швеции, Франции и Великобритании) интенсивно ведутся работы по оптимизации параметров ДВС. Особый интерес представляется к исследованию свободнопоршневого двигателя (СПД). В конструкции СПД отсутствие КШМ, что определяет следующие его достоинства[3]:

- единственность кинематической пары (поршень-цилиндр) без нагрузок поршня на цилиндр увеличивает моторесурс СПД до 30 тыс. ч.;
- возможность изменения амплитуды относительных перемещений поршня, а следовательно, и степени сжатия, что приводит к возможности работы двигателя с различными видами топлива;
- уменьшение числа движущихся деталей существенно увеличивает КПД до 50 - 65% и удельную массу до 1,1 – 1,8 кг/кВт СПД;
- повышение жёсткости и механической надежности конструкции в целом;
- способность работать на сверхбедной топливной смеси (до 65 частей воздуха к одной части топлива) вместо так называемой стехиометрической - 14,7:1;
- высокие пусковые качества при низких температурах;
- выбросы вредных оксидов азота (NOx) близки к нулю;
- низкие затраты при эксплуатации и ремонте;
- снижение расходов на производство.

Для использования СПД в качестве первичного двигателя энергетической установки, требуется электромеханический преобразователь возвратно-поступательного движения, одним из видов которого является линейный генератор.

Для примера рассмотрим более подробно одномодульную структуру двухтактного СПДВС с оппозитным расположением цилиндров и ЛЭГ (рис.1).

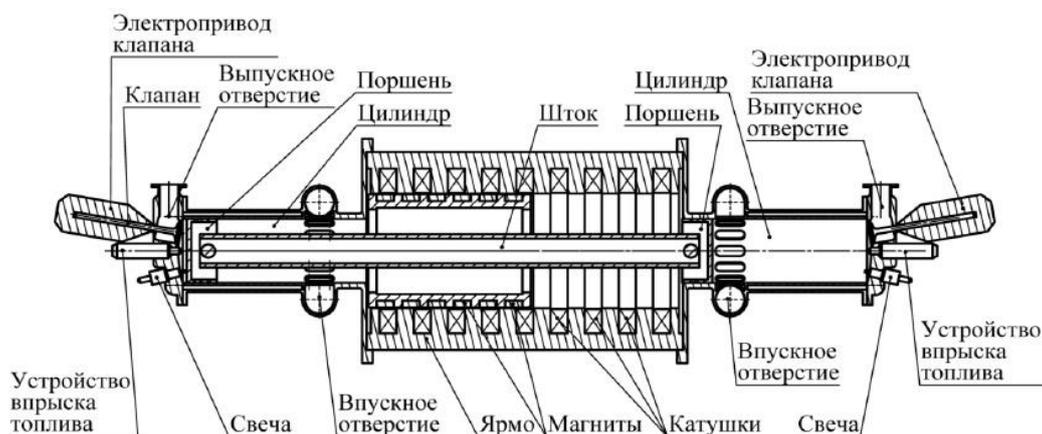


Рис. 1 - Схематический разрез двухцилиндрового СПДВС с оппозитным расположением цилиндров и ЛЭГ между ними

Двухцилиндровый СПДВС, с оппозитным расположением цилиндров и ЛЭГ между ними, имеет поршневую группу, состоящую из двух поршней, соединенных жестким штоком. Циклически повторяющееся давление газов в процессе сгорания топлива сообщает поршневой группе возвратно-поступательное движение. Между поршнями на штоке закреплена подвижная магнитная система ЛЭГ. Подвижная магнитная система ЛЭГ размещается внутри конструкции статора с системой обмоток. При возвратно-поступательном движении штока с закрепленной на нем магнитной системой внутри статора и взаимодействия их магнитных полей происходит возникновение электродвижущей силы в обмотках статора. В сущности это и есть принцип действия СПДВС с ЛЭГ. Кроме того, электрическая машина, работая в режиме двигателя, обеспечивает старт СПДВС. Электронная система управления должна осуществлять контроль движения поршней для обеспечения оптимального термодинамического цикла, а также позиционирование поршней, предотвращая их соударение с головками цилиндров [4,5]. Поэтому СПДВС с ЛЭГ имеет микропроцессорную систему управления с четырьмя основными режимами работы: режим генератора; режим электродвигателя; режим контроля и режим регулирования. Режимы контроля и регулирования осуществляются автоматически как при запуске, так и при работе электрогенератора.

Дополнительным преимуществом для системы электроснабжения функционального оборудования спецобъекта является модульность структуры энергоустановки. Т.е. энергетическая установка состоит из функциональных и конструктивных законченных унифицированных модулей. Модульный принцип построения упрощает решение важных задач для системы энергоснабжения функционального оборудования спецобъекта - обеспечения высокой надежности и живучести за счет резервирования основных узлов системы энергоснабжения, также при необходимости позволит изменять мощность энергетической установки, что повысит экономичность системы энергоснабжения. Как показывает практика значительный технико-экономический эффект модульного построения энергетической установки обеспечивается при ее эксплуатации за счет сокращения времени технического обслуживания и устранения неисправности.

Отсутствие линейного генератора с оптимальными параметрами ограничивает применение СПД в качестве первичного двигателя энергетической установки, поэтому основной задачей при разработке энергоустановки на базе СПД является оптимизация параметров и режимов работы линейного электрического генератора. Для решения поставленной задачи необходимо, осуществить выбор структуры линейного генератора с учетом динамических характеристик СПД и разработать математическую модель энергоустановки на базе свободнопоршневого двигателя с целью уточнения ее параметров и характеристик, с последующим исследованием выбранной структуры линейного генератора с помощью программного комплекса ANSYS, математической основой которого является метод конечных элементов, с целью оптимизации параметров и режимов работы линейного электрического генератора.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что решив задачу, оптимизации параметров и режимов работы линейного электрического генератора, на сегодняшний день существуют технические возможности разработки перспективной энергоустановки на базе СПД для СЭС функционального оборудования АО. Применение, которой позволит повысить надежность, живучесть, экономичность, энергетические и массогабаритные показатели системы электроснабжения функционального оборудования АО.

Список использованных источников

1. А. В. Иванов-Смоленский. Электрические машины/ Учебник для вузов. М.: Энергия, 1980. - 928 с.
2. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1988. - 279 с.
3. Хитерер М.Я., Овчинников И.Е. «Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения», Санкт –Петербург, Корона принт, 2008.
4. Boldea, I. Synchronous generators. The Electric Generators Handbook. Taylor & Francis Group, 2006.
5. Boldea, I. Variable speed generators. The Electric Generators Handbook. Taylor & Francis Group, 2006.

ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ НА РАЗВИТИЕ БРЕНДА РАБОТОДАТЕЛЯ В РАЗРЕЗЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

Медведева Е.А.

*Московский государственный университет экономики, статистики
и информатики (МЭСИ)*

В настоящий момент наличие известного бренда на рынке в целом, не только в сфере деятельности ТЭК, становится необходимым условием устойчивого положения компании, фактором ее конкурентоспособности. Однако в большинстве случаев в российских условиях задача продвижения сводится к продвижению непосредственно товара, но не бренда. Специалисты в области маркетинга в секторе ТЭК, как правило, считают приоритетной краткосрочную задачу увеличения объемов добычи, доли экспорта, не преследуя при этом цели доведения до сознания потребителя образа компании, формирования положительного отношения к её бренду, создания положительных ассоциаций.

С точки зрения измерения эффективности, помимо традиционных критериев, таких как узнаваемость, интенсивность входящего потока и т.д., крайне важно анализировать текучесть кадров, которая с высокой степенью достоверности и в приемлемые сроки отражает ситуацию. Имея в виду внутреннюю обстановку в компании и зная этот показатель, его можно эффективно корректировать как с применением традиционных инструментов маркетолога и PR-специалиста, так и нестандартными подходами. Например, после того как маркетолог порядка полугода занимается подбором персонала, его взгляд на продвижение серьезно меняется.

На сегодняшний день управление человеческими ресурсами стало одним из стратегических приоритетов компаний, работающих в ТЭК, что привело к активному развитию рекрутмента на рынке. Постоянный рост спроса на различные группы персонала, обусловленный необходимостью формирования кадрового резерва — значимая тенденция сегодня. Вопрос о привлечении высококвалифицированных кадров — опытных механиков, инженеров — очень актуален для большинства компаний. Стремительное развитие отрасли, увеличение объемов производства, открытие новых проектов резко увеличило потребность в таких специалистах. Компании инвестируют значительные средства в их привлечение, удержание и развитие.

Для высокотехнологичных отраслей продвижение компании как работодателя еще более тесно сопрягается с построением бренда, чем в других сегментах. Это связано с тем, что сотрудники, партнеры, клиенты являются одними и теми же людьми в разные временные промежутки. Такое тесное сопряжение обуславливает политику комплексного подхода в продвижении и делает разумным объединение коммуникационных компаний. Каждая активность, инициированная организацией, должна нести в себе задачу подкрепления HR-бренда.

По мнению экспертов в области рекрутмента, на кадровом рынке специалисты нефтегазовой сферы являются очень дефицитными. Главным и самым востребованным направлением является бурение и повышение нефтеотдачи пластов. Нехватка кадров в бурении связана, прежде всего, со значительным снижением его объемов в 1990-х годах. Поскольку объемы работ сильно сократились, снизился набор на эту специальность в учебные заведения, а многие специалисты перепрофилировались. Поэтому при современном росте объемов бизнеса нефтегазовых компаний в России, молодых специалистов в бурении катастрофически не хватает.

Серьезный дефицит кадров наблюдается и в направлении охраны труда, экологии и промышленной безопасности. Специалисты этого профиля должны соответствовать не только российским, но и более жестким международным стандартам, которых придержи-

вается большинство представленных в России международных компаний. Однако профессионалов, удовлетворяющих этим требованиям, в нашей стране на сегодняшний день очень мало. Аналогичная проблема существует в сфере логистики и закупок. В связи с активным развитием бизнеса нефтегазовых компаний в России, увеличиваются объемы закупок и транспортировки материалов и оборудования из-за рубежа. Для общения с поставщиками и организациями доставки грузов необходимо владение как минимум английским языком, а лучше знать несколько иностранных языков.

Процесс перехода на двухуровневую систему образования в России хоть уже и произошел, но говорить о полном его непрерывном и полноценном действии нельзя. Потребуется еще немало лет для воплощения идеи устойчивого функционирования в жизнь. По моему мнению, советская система образования подготовки специалистов технических специальностей была разумной. Она состояла из трех уровней – ремесленные, позднее профтехучилища, готовившие рабочих, политехникумы, выпускавшие специалистов среднего звена, и вузы, дававшие более серьезную инженерную подготовку. Сейчас же большинство молодых людей стремится получить высшее образование, в результате чего возникает дефицит рабочих кадров. В училища почти никто не идет, а те, которые заканчивают их, не всегда работают по профессии.

Тяжелая внешнеэкономическая ситуация вызвала падение цен на нефть, которое совпало с кризисом на финансовом рынке, породило разговоры о грядущем снижении объемов добычи углеводородного сырья. Многие обеспокоены, что это может повлечь за собой сокращение инвестиционных программ и, как результат, привести к сокращению персонала.

Однако, по данным исследования компании Mercer, прослеживается адекватная динамика в понижении процентного соотношения в разрезе увольнений: так, на конец 2014 г. только 20 % компаний намерены сократить численность, а в 2015 году данная цифра уменьшается до 11%.

В ходе социологического опроса, проведенного компанией HeadHunter, сотрудники разных нефтегазовых компаний отмечают особый статус «Газпрома», по-прежнему сохраняющего высокую привлекательность среди российских компаний для кандидатов. Его преимуществами кандидаты называют выплату стопроцентной «белой» заработной платы, высокий уровень охраны труда и внимание к технике безопасности. Однако, соискатели в нефтегазовом сервисе по-прежнему предпочитают трудоустраиваться в зарубежные компании. По их мнению, привлекательность иностранных работодателей определяется более высоким уровнем социальной поддержки, включающей обучение и развитие сотрудников за счет компании, программу добровольного медицинского страхования для работника и его семьи, беспроцентные ссуды и возможность стажировки за рубежом.

Соискатели при поиске работы в российских компаниях все больше интересуются историей компании: как и где она работала, какие имеются планы развития у руководства, обращают внимание на ее имидж как работодателя, репутацию на международном и российском рынках, произошедшие внешние и внутренние изменения в структуре. И уже на основании всей собранной из разных источников информации определяют, насколько им будет интересно там работать. Это говорит о том, что специалистам в первую очередь важны стабильность и деловая репутация организации.

Самые серьезные шансы стать вторым после «Газпрома» российским брендом, пробившимся в мировую суперэлиту, есть у компании «Лукойл», при условии, что нефтяной гигант целенаправленно займется наращиванием стоимости своего бренда. Это является наглядной иллюстрацией того рыночного обстоятельства, что стоимость бренда не равна стоимости компании. Она определяется субъективными показателями узнаваемости компании и ее имиджа в глазах потребителя.

Продвижение бренда — это важная часть коммуникационной стратегии компании, которая задействует как традиционные инструменты HR, PR и маркетинговой поддержки, так и современные технологии с привлечением интернет-ресурсов и социальных медиа.

Публикации на собственном сайте и отраслевых ресурсах способствуют не только увеличению узнаваемости бренда, но и поисковому продвижению. Если говорить о каких-то показателях, по которым можно анализировать успешность HR- и PR-стратегии, то это число публикаций, их просмотров, подписчики в соцмедиа, просмотры промороликов, подписки на видеоканал, отзывы работников и соискателей, процент негативных публикаций от общего числа.

Подводя итог, можно констатировать, что работа в нефтяной отрасли по-прежнему остается перспективной, так как в России сегодня она стабильнее других областей промышленности. Во времена, которые принято называть трудными, не стоит болезненно реагировать на возможное временное понижение уровня дохода, а транслировать своим сотрудникам это нужно как полезный жизненный опыт.

ВАРИАНТ СОЗДАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Червинский В.Л., Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Малые ветровые турбины – это турбины с мощностью генератора ориентировочно до 50 кВт, которые имеют хвостовую лопасть для ориентации по ветру.

Отчеты Международного энергетического агентства прогнозируют значительное расширение рынка маломощных ветряных турбин период до 2020 года при совокупном среднегодовом темпе роста 29,7 %.

Основными факторами, сдерживающими развитие малой ветроэнергетики, являются дороговизна оборудования, высокие стартовые скорости ветра предлагаемых ВЭУ. Решением могут стать импортозамещение с закономерным снижением цены, оптимизация конструкции ВЭУ для условий республики. Рост числа использованных малых ВЭУ приведет к популяризации самой идеи возобновляемой энергетики и ВЭУ в частности.

Небольшая ветровая турбина обычно состоит из следующего минимального набора компонентов:

- ветроколеса с определенным количеством лопастей;
- электрического генератора;
- горизонтальноосевые ветротурбины, как правило, оснащены еще и хвостовой лопастью для поворота ветроколеса против ветра.

Генератор – это центральная часть ветряной турбины.

Нам требуется низкооборотный электрический генератор, ось которого напрямую соединена с осью ротора, так как применение повышающих редукторов существенно уменьшает КПД, усложняет конструкцию и снижает надежность.

В качестве генератора был разработан генератор на постоянных магнитах.

Медные обмотки без железного сердечника (воздушный сердечник) позволяют снизить тормозной момент при запуске ветротурбины.

В данной технологической цепочке проектировалась ВЭУ со следующими исходными параметрами: номинальная мощность – 300 Вт, размеры постоянных магнитов – 58 x 75 x 12 мм. Диаметр ротора, исходя из этих параметров, получился равным 260 мм. Толщина стали ротора 3мм. Расстояние между парами магнитов на разных роторах – 28 мм. Вес двух собранных роторов со ступицей и магнитами – 6,3 кг.



а



б

Рис. 1 - Вид элементов:

а - вид двух собранных роторов с постоянными магнитами

б - вид большой и малой медных обмоток

Были произведены исследования двух обмоток из медной проволоки.

Для выбора оптимального варианта обмоток был проведен ряд опытов холостого хода и короткого замыкания. При вращении вала генератора были измерены напряжение (в опыте холостого хода) и сила тока (в опыте короткого замыкания). Основные характеристики представлены в таблицах и результаты визуализированы на графиках.

Таблица 1 – Характеристики малой обмотки

Малая обмотка			
Площадь окна	$S_{\text{окна}}$	см ²	8,5
Площадь поперечного сечения проволоки	$S_{\text{проволоки}}$	мм ²	0,75
Число витков	w	шт.	150

Таблица 2 – Характеристики большой обмотки

Большая обмотка			
Площадь окна	$S_{\text{окна}}$	см ²	22
Площадь поперечного сечения проволоки	$S_{\text{проволоки}}$	мм ²	1,5
Число витков	w	шт.	80

Из графика на рисунке 2 видно, что на проектное напряжение в 2,5 В генератор выходит при скорости вращения, равной 480 об/мин, что которая является достаточно большой. Для получения этой зависимости была создана экспериментальная установка, состоящая из ротора с двумя парами постоянных магнитов и статора с медной обмоткой, состоящей из 80 витков медного провода, сечением 1,5 кв.мм. Таким образом, для достижения напряжения в 2,5 В необходимо около 960 пересечений магнитного поля для катушки в секунду. Эта цифра является отправной для проектирования ротора ВЭУ, который мог бы при 100-140 об/мин развивать проектное напряжение в 14-15 В.

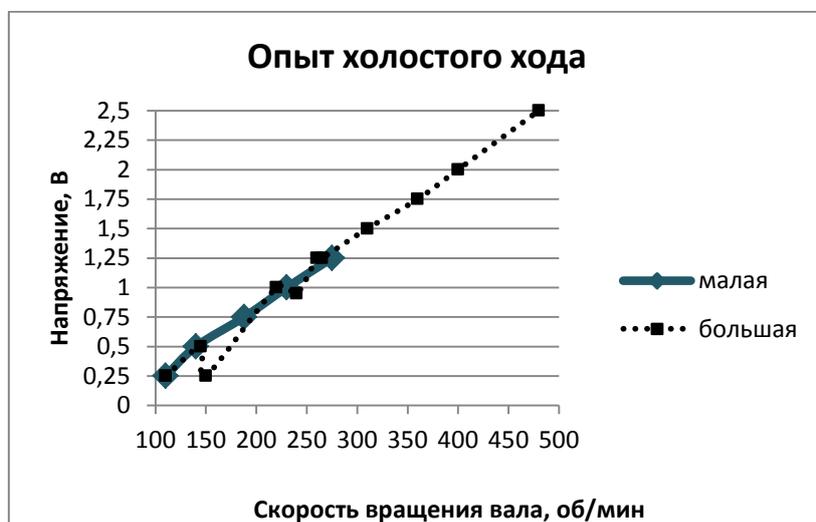


Рис. 2 – Зависимость напряжения на одной обмотке ветрогенератора от числа оборотов ветроколеса

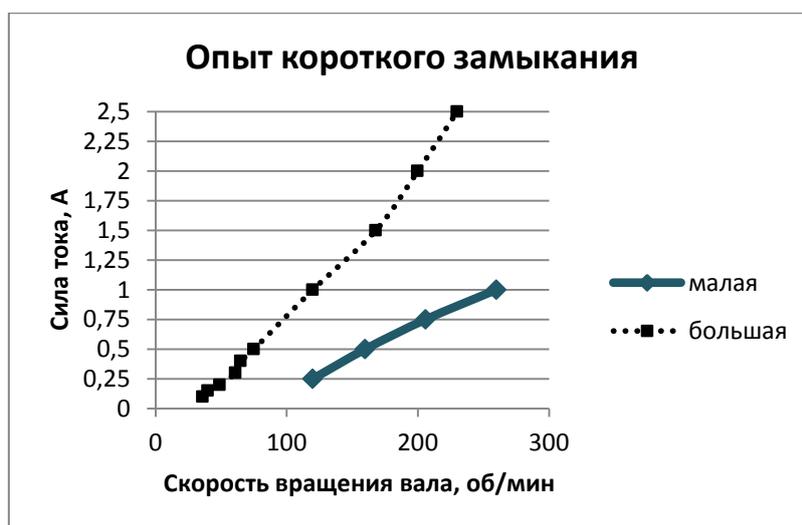


Рис. 3 – Зависимость силы тока на одной обмотке ветрогенератора от числа оборотов ветроколеса

На статоре запланировано размещение 9 медных обмоток секторной формы изготовленных из медной проволоки сечением $1,5 \text{ мм}^2$. Такое сечение выдерживает длительно протекающий ток силой 23 А, что при напряжении 14 В дает максимальную мощность 322 Вт. Напряжение генератора равно 14 В выбрано исходя из возможности обеспечения достаточного зарядного тока аккумуляторной батареи напряжением 12 В.

При проектировании ветрогенератора было исследовано два вида роторов: с двумя и с тремя лопастями. Для безредукторной системы важны более высокие скорости вращения ветроколеса. Лучшие показатели, в смысле упрощения изготовления, балансировки и достижения более высоких скоростей вращения, были у модели с двумя лопастями. Риск возникновения более высокого уровня шума касается, скорее, установок большой мощности, где звуковое влияние на окружающее со стороны оборудования велико. В результате для дальнейшего проектирования выбор был сделан в сторону двухлопастного агрегата.

Хвост ветрогенератора ориентирует турбину на ветер. Когда ветер меняет направление, он оказывает давление на одну из сторон хвостовой лопасти и ориентирует турбину к ветру. В моделях со складывающимся хвостом, хвост также участвует в защите турбины от сильных ветров. Эта система пассивная, так как приводится в действие силой ветра.

Основная идея заключается в повороте ветроколеса от ветра при достижении критического значения скорости ветра. Конструктивно наиболее простым и более надежным способом может стать возврат в исходное положение под действием силы тяжести, действующей на хвостовую лопасть. Для этого ось поворота хвоста делается не параллельной вертикальной опорной оси, а выполняется под небольшим углом. В результате при сильном ветре хвостовая часть не просто поворачивается, но еще и поднимается вверх. При ослабевании ветра хвост самостоятельно опускается и поворачивается, обеспечивая возврат ветроколеса в исходное рабочее положение.

На хвостовую часть действует два момента: со стороны силы ветра M_B и со стороны силы тяжести M_T . Эти моменты сил вращают хвостовую часть относительно оси, на которой закреплен хвост к основной вертикальной оси. Система ветрогенератора будет находиться в равновесии при равенстве этих моментов. При массе хвостовой части 0,48 кг система защиты начнет работать при достижении ветром скорости 6 м/с. Для повышения предельной скорости нормального режима следует увеличить массу хвоста.

Данное мероприятие относится к сфере энергосберегающих мероприятий, проводимых на энергоисточниках. Под базовым вариантом будем понимать энергоснабжение дома от районных линий электропередач по действующим тарифам. Вариант с проектом включает в себя получение электрической энергии от ветроустановки.

*Таблица 3 – Показатели эффективности проекта
при потреблении электроэнергии владельцем ветроустановки*

Расчетная величина	Результат расчета
Простой срок окупаемости ($T_{п}$), лет	2,2 и менее 10 лет
Динамический срок окупаемости ($T_{д}$), лет	2,6 и равен 15 лет
Внутренняя норма доходности ($E_{вн}$)	больше 10%
Индекс прибыльности ($\Pi_{п}$)	1,7 и более 1

*Таблица 4 – Показатели эффективности проекта
при продаже электроэнергии в сеть*

Расчетная величина	Результат расчета
Простой срок окупаемости ($T_{п}$), лет	1,6 и менее 10 лет
Динамический срок окупаемости ($T_{д}$), лет	1,7 и равен 15 лет
Внутренняя норма доходности ($E_{вн}$)	больше 10%
Индекс прибыльности ($\Pi_{п}$)	2,4 и более 1

Выводы

Разработана модель ветроэнергоустановки малой мощности с облегченным двуллопастным ротором; с генератором прямого привода на постоянных магнитах с воздушными сердечниками обмоток; пассивной системой защиты от высоких скоростей ветра; пониженной стартовой скоростью ветра. Получен малый срок окупаемости мероприятия, что говорит об эффективности применения разработки.

Данная конструкция показала хорошие показатели, будет использоваться для снабжения частного дома электроэнергией и может служить образцом для создания аналогичных ветроагрегатов и моделью для дальнейшего усовершенствования ветроэнергоустановок малой мощности.

СТРУКТУРА И ПОРОГ ПЕРКОЛЯЦИИ ТОНКИХ ПЛЁНОК $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$ *Семенов К.И., Стогней О.В., Каширин М.А.**Воронежский государственный технический университет***Введение**

Поиск новых материалов является важным аспектом развития альтернативной энергетики. Одним из перспективных направлений в разработке таких материалов является использование наноструктурированных материалов для создания твердотельных аккумуляторов водорода. В частности, для данной цели могут быть использованы гранулированные наноконпозиты металл-диэлектрик, в которых гидридообразующим материалом является наноструктурированная металлическая фаза, а диэлектрическая фаза выступает в роли разделяющей среды, способствующей формированию гранулированной структуры с размером металлических зерен от 1 до 100 нм [1]. В качестве металлической фазы выбирают сплавы на основе Mg или Ni, как эффективные гидридообразующие системы [1]. В качестве диэлектрической составляющей композита выбирают соединение которое химически не должно взаимодействовать с металлической фазой, а кроме того должно проявлять каталитические свойства то есть ускорять процессы поглощения и выделения водорода, а также снижать температуры реакций. Совокупностью таких свойств обладает оксид ниобия Nb_2O_5 , являющийся хорошим катализатором [2]. В данной работе проведено исследование наноконпозита $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$, компоненты которого в полной мере соответствуют приведенным критериям.

Целью работы являлось установление температурных границ устойчивости наноконпозитной структуры в широком интервале соотношений металлическая/диэлектрическая фаза, поскольку, поглощение и выделения водорода твердотельным абсорбентом, то есть образование и разложение гидрида, требует дополнительного нагрева и необходимо чтобы используемый материал являлся термически устойчивым.

Методика

Образцы $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$ в виде тонких пленок получены методом ионно-лучевого распыления составной мишени. Особенности технологии получения образцов описаны в работе [3]. Пленки одновременно осаждалась на ситалловые (СТ-50) и стеклянные подложки. Толщина образцов контролировалась с помощью интерферометра МИИ-4 и составляла ~ 3 мкм. Измерение концентрации химических элементов, входящих в состав образцов, проводилось методом электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа, на сканирующем рентгеновском микроанализаторе JXA-840. В соответствии с полученными результатами, интервал концентраций никеля в полученных образцах $3 \div 67$ ат. %.

Отжиги образцов проводились в вакуумной камере с остаточным давлением $1 \cdot 10^{-3}$ Па в течении 30 минут. Для исследования структуры пленок отжиги проходили при 450 и 570 °С, для определения концентрации порога перколяции отжиги проводились при 300, 400 и 450 °С.

Фазовый состав композитов исследовался с помощью дифрактометра Bruker «D2 Phase» с медным анодом. Анализ представленных дифрактограмм проведен с использованием пакета DIFFRAC.EVA.V2.1.

Результаты

Анализ значений энтропии образования оксида Ni и Nb ($\Delta H^\circ = -601$ кДж·моль⁻¹ и $\Delta H^\circ = -1898$ кДж·моль⁻¹ соответственно [8]) позволял предположить, что при напылении системы Ni-Nb-O должно происходить образование композитной структуры. Для подтверждения данного предположения проведено определение концентрационного положения порога перколяции в полученных пленках. Положение порога перколяции определялось по концентрационной зависимости удельного электросопротивления образцов в соответствии с [5]. Зависимость сопротивления от состава, измеренная при 20 °С, приведена на рис. 1.

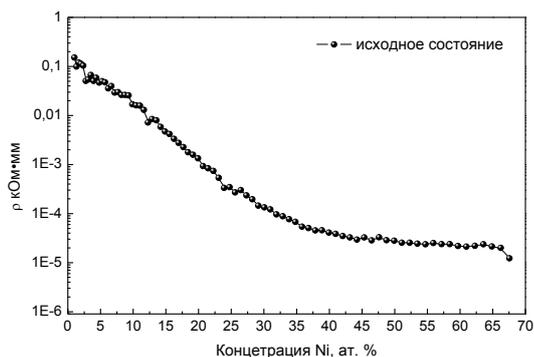


Рис. 1 - Концентрационная зависимость удельного электросопротивления пленок $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$ в исходном состоянии

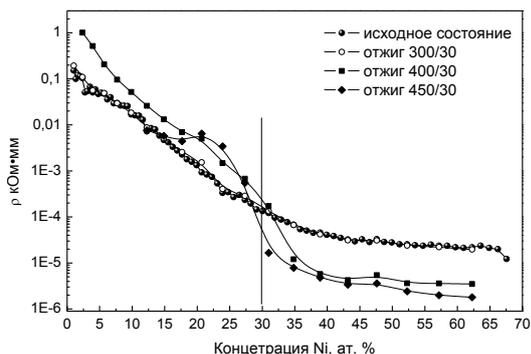


Рис. 2 - Концентрационная зависимость удельного электросопротивления пленок $Ni-Nb_2O_5$ в исходном состоянии и после отжигов

Вид зависимости электросопротивления от концентрации проводящей фазы (никеля), типичен для композитов металл – диэлектрик [4]. Известно [5], что концентрацию порога перколяции в композитах можно определить путем проведения изотермического отжига композитов во всем интервале концентраций металлической фазы, с последующим измерением электросопротивления. Концентрацию металла, при которой электросопротивление останется после отжигов неизменным, принимают за концентрацию порога перколяции данного композита. Определение концентрационного положения порога перколяции композитной пленки $Ni-Nb_2O_5$, осуществлялось по результатам сопоставления сопротивления образцов, находящихся в исходном состоянии, и подвергнутых отжигам при 300, 400, и 450 °C (рис. 2).

Очевидно, что значение концентрации никеля при которой электросопротивление не зависит от температуры отжига, находится в диапазоне 28÷30 ат. %. Полученное значение концентрации порога перколяции можно считать заниженным, поскольку обычно положение порога перколяции соответствует 45÷50 ат. % металлической фазы [5].

Для исследования влияния термического воздействия на структуру полученных пленок $Ni-Nb_2O_5$ были отобраны три композита, чьи составы находились до, вблизи и за порогом перколяции (3, 27 и 47 ат. % Ni, соответственно).

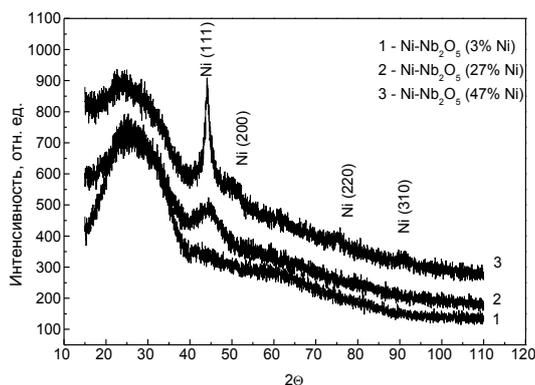


Рис. 3 - Дифрактограммы исходных пленок $Ni-Nb_2O_5$.

На рис. 3 представлены дифрактограммы от пленок в исходном состоянии. Из анализа дифрактограмм полученных от этих образцов наблюдаемые пики принадлежат фазе кубического никеля с ГЦК решеткой ($a = 3,524 \text{ \AA}$). С увеличением содержания никеля в образцах, наблюдается закономерный рост интенсивности пиков. Также на дифрактограмме присутствуют широкие максимумы, в области углов от 15 до 40 град., которые характер-

ны для веществ с аморфной структурой. По всей видимости в исходном состоянии, пленки $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$ состоят из гранул кристаллического никеля, растворенных в аморфной матрице из оксида ниобия.

Для образца с содержанием никеля 47 ат %, удалось провести расчет размера зерна (L) с помощью разложения Шерера, исходя из геометрии пика, с учетом аппаратного уширения пиков от композитов в исходном состоянии.

$$L = \frac{\lambda \cdot k}{\cos \Theta \cdot \beta} \quad (1)$$

где λ – длина волны, k — коэффициент зависящий от формы пика, β – ширина пика на полувысоте.

В результате расчета, для исходных пленок, было получено значение размера зерен 6,5 нм.

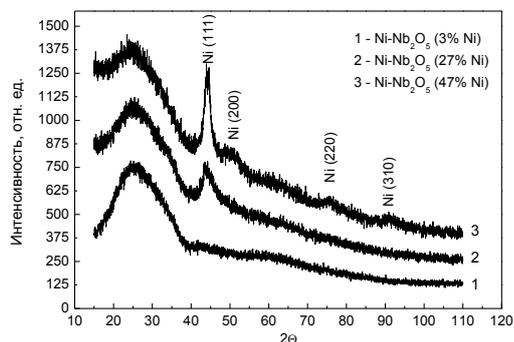


Рис. 4 - Дифрактограммы отожженных при 450 °С пленок Ni-Nb₂O₅.

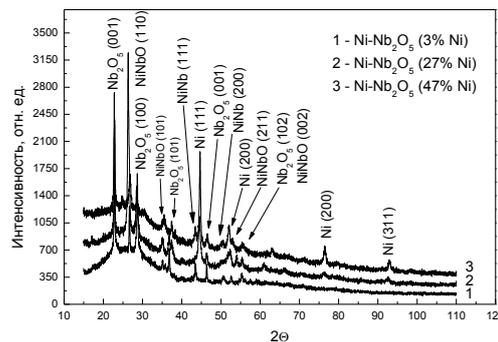


Рис. 5 - Дифрактограммы отожженных при 570 °С пленок Ni-Nb₂O₅.

На рис. 4 приведены дифрактограммы отожженных при 450 °С пленок. Из совместного анализа дифрактограмм от исходных и отожженных пленок, следует вывод о их термической стабильности до 450 °С. Это подтверждается сходством рассматриваемых дифрактограмм и сохранностью размера гранул никеля, что говорит о постоянстве фазового состава и структуры. Повторный отжиг проводился при температуре 570 °С, близкой к температуре полной кристаллизации оксида ниобия Nb₂O₅, по данным работы [7]. Результаты расчета размера зерна по формуле (1) для образца с содержанием никеля 47 ат %, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Размер зерен рассчитанных по формуле (1)

Состояние образца	Размер зерна, нм	Погрешность, нм
Отжиг 450 °С	5,6	0,5
Отжиг 570 °С	35,6	2

В результате отжига при 570 °С пленка кристаллизуется, о чем свидетельствует появление новых пиков на дифрактограммах представленных на рис. 3, а также увеличение размера зерен никеля до 35 нм (см таблицу 1).

Из анализа дифрактограмм выяснили, что в пленке по прежнему присутствует фаза чистого никеля, при этом появился набор пиков от фазы оксида ниобия Nb₂O₅, а также пики, которые не удалось связать с фазами исходных компонент, входящих в состав пленки. Это указывает на то, что во время отжига могла образоваться фаза имеющая в своем составе Ni, Nb и O. Неизвестные экспериментальные пики хорошо описываются фазой интерметаллического соединения никеля и ниобия. Данный факт подтверждается работой [8], в которой указывается температура образования такого соединения ниже 535 °С.

Выводы

Полученная система $Ni_x(Nb_2O_5)_{100-x}$, в исходном состоянии, характеризуется аморфной структурой с наличием кристаллических гранул ГЦК никеля. Формирование композитной среды, преимущественно содержащей две отдельные фазы: гидридообразующего металла никеля Ni и диэлектрика катализатора оксида ниобия Nb_2O_5 позволяет использовать полученный материал для насыщения водородом.

Результаты рентгеноструктурного анализа подтверждают, что пленки обладают термической стабильностью при нагреве до 450 °С, так как структура и фазовый состав образцов сохраняются. Размер зерен никеля практически не изменяется. Все это дает предпосылки для применения полученного материала в циклических процессах сорбции десорбции водорода.

Термический отжиг при 570°С приводит к формированию в пленках фазы, которая преимущественно описывается фазой стехиометричного оксида ниобия Nb_2O_5 . Также во время отжига образуется фаза, представляющее химическое соединение из элементов Ni, Nb и O, входящих в состав пленки.

Список использованных источников

1. Андриевский Р.А. Водород в наноструктурах / Успехи физических наук, 2007, Т.177, №7, с.721-735.
2. Mei-Qiang F., Li-Xian S., Yao Z., Fen X. The catalytic effect of additive Nb_2O_5 on the reversible hydrogen storage performances of $LiBH_4$ - MgH_2 composite / Hydrogen Energy, 2008, V.33, P.74-80.
3. Ситников А.В. Электрические и магнитные свойства наногетерогенных систем металл-диэлектрик. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, Воронеж, 2009, 319 с.
4. Калинин Ю.Е., Ситников А.В., Стогней О.В. Физические свойства композитов металл-диэлектрик с аморфной структурой / Альтернативная энергетика и экология, 2007, №10, с.9-21.
5. Золотухин И.В. Физика наносистем: графены и гранулированные нанокompозиты: учеб. пособие / И.В. Золотухин, О.В. Стогней. – Воронеж: ВГТУ, 2011. – 226 с.
6. Семенов К.И. Технология тонких пленок Nb_2O_5 / К.И. Семенов, М.А. Каширин, О.В. Стогней // «Физика твердого тела»: Тез. докл. 53-я Отчетная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, сотрудников, аспирантов и студентов. г. Воронеж, 24-25 апреля 2013 г.
7. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Д44 Справочник: В 3 т.: Т. 1 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.: ил.
8. В.А.Рабинович, З. Я. Хавин Краткий химический справочник // Химия. – 1991. – С. 432.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ КОРПУСА СУДНА

Бутько Е.В., Буглак М.Ю., Сокол В.А.

Белорусский национальный технический университет

Снижение энергозатрат и повышение скорости движения судов является весьма актуальной и важной технической проблемой, разрешение которой на современном этапе позволяет существенно повысить эффективность использования речных судов. Довольно перспективным для этих целей является использование растворов гидродинамически активных веществ.

Одним из наиболее широко используемых методов снижения гидравлического сопротивления является подача на корпус растворов гидродинамически активных веществ, снижающих коэффициент гидравлического трения. Наиболее дешевыми и широко применяемыми веществами является полиакриламид (ПАА) и полиэтиленоксид (ПЭО) (Рисунок 1), являющиеся высокомолекулярными веществами, широко применяемыми в современной технике не только для снижения гидравлического сопротивления, но и в качестве флокулянтов, используемых для осаждения мелкодисперсных твердых частиц в суспензиях. Оба указанных вещества выпускаются современной промышленностью как в виде гелей, так и в виде твердых частиц. Наиболее широкое распространение получили вещества, применяемые в виде твердых частиц.



Рис. 1 - Гидродинамически активные материалы (ГАМ)

Приготовление растворов полиакриламида и полиэтиленоксида является достаточно сложной технической проблемой. При соприкосновении частицы с водой на ее поверхности образуется оболочка геля. Для предотвращения слипания отдельных частиц между собой с целью недопущения образования комьев, которые в дальнейшем практически не растворяются, необходимо процесс растворения совмещать с интенсивным перемешиванием. Для приготовления растворов ГАМ наиболее часто процесс растворения осуществляют в меллелерных мешалках.

Снизить гидравлические потери можно с помощью безреагентных и реагентных методов.

Безреагентные методы включают в себя:

- а) введение в пограничный слой газовых пузырьков;
- б) создание на обтекаемых жидкостью поверхностях нерастворимых гидрофильных или гидрофобных покрытий;
- в) технологические и конструкторские приемы.

Реагентные методы снижения гидравлических потерь включают в себя:

- а) растворение гидродинамически активных веществ непосредственно в пограничном слое;
- б) введение в пограничный слой заранее приготовленных растворов гидродинамически активных веществ.

Наиболее простым способом интенсификации растворения является увеличение скорости вращения вала импеллера, благодаря чему повышается скорость движения потока в жидкости в емкости мешалки. Однако при увеличении частоты вращения вала необходимо иметь в виду, что одновременно с увеличением скорости движения потока приготавливаемого раствора увеличивается величина касательных напряжений, воздействующих на молекулы ГАМ, в результате чего происходит их деструкция, т.е. макромолекула большого размера разрушается на несколько молекул с более короткой цепочкой. При этом эффективность воздействия вещества на раствор существенно понижается, поэтому увеличивать частоту вращения импеллера мешалки необходимо столько лишь до того значения, при котором начинает проявляться деструкция макромолекул. Это явление необходимо контролировать в процессе разработки и исследования всех конструкций импеллера.

Интенсивность растворения может быть также повышена за счет резкого периодического изменения скорости движения частиц ГАМ по трубопроводу, что может быть достигнуто путем использования труб с изменяющейся площадью поперечного сечения. В качестве такого трубопровода можно применять трубы Вентури, последовательно расположенные друг за другом. На рисунке 2 показана формула определения центробежного числа Рейнольдса, критерия интенсивности перемешивания суспензии.

Интенсивность перемешивания суспензии в аппаратах с мешалками определяется центробежным критерием Рейнольдса:

$$Re_{ц} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu}$$

где ρ – плотность перемешиваемой среды;
 n – частота вращения импеллера мешалки;
 d – диаметр лопастей импеллера мешалки;
 μ – динамический коэффициент вязкости.

Рис. 2 – Формула определения числа Рейнольдса

Эффективность растворения может быть также повышена за счет воздействия на растворяемый материал ультразвука. Ультразвуковые колебания ускоряют процесс растворения и снижают энергетические затраты, связанные с получением растворов ГАМ.

Все известные устройства и методы воздействуют на интенсивность растворения за счет пульсаций скоростей и связанных с ними давлений. При этом необходимо иметь в виду, что возникновение деструкции недопустимо, т.к. приводит к резкому снижению эффективности действия веществ. На рисунке 3 представлены пульсации давления для лопастных импеллеров 1, 2, 5. На рисунке 4 - схема установки для измерения пульсаций давления.

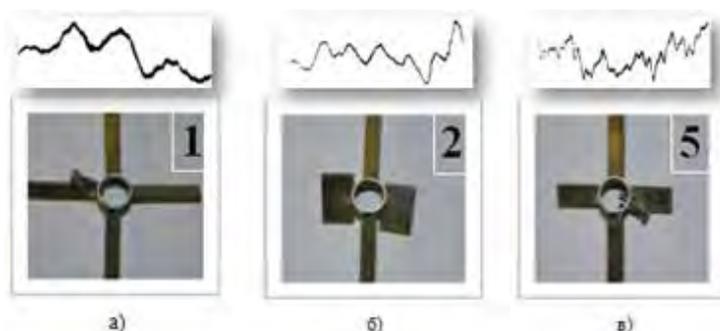


Рис. 3 – Пульсации давления для лопастных импеллеров
 а - равновеликие лопасти (импеллер 1);
 б – разновеликие лопасти без перфораций (импеллер 2);
 в – разновеликие перфорированные лопасти (импеллер 5).

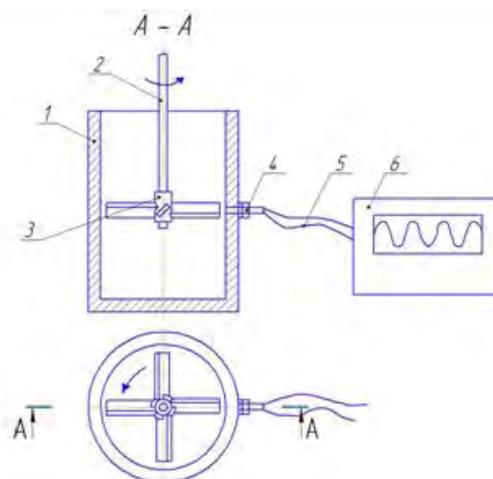


Рис. 4 – Схема установки для измерения пульсаций давления:
 1 – ёмкость; 2 – вал мешалки; 3 – импеллер; 4 – датчик; 5 – провода; 6 - осциллограф

Одним из возможных вариантов интенсификации процесса растворения является также использование кавитации. Однако процесс кавитации также вызывает деструкцию макромолекул.

Одним из путей создания пульсаций скоростей и давлений является периодическое изменение частоты вращения вала мешалки, сопровождающееся периодическим увеличением или понижением скорости движения жидкой фазы в емкости мешалки и соответственно давления в потоке. Однако эксплуатация мешалки в таком режиме приводит к быстрому выходу из строя приводного двигателя в мешалке. Проведенные ранее исследования устанавливают, что выполнение поперечных вырезов на лопастях способствует повышению частоты пульсаций давлений и интенсифицируют процесс растворения, тем самым снижая энергозатраты. На рисунке 5 представлены конструкции импеллеров, интенсифицирующих процесс, разработанных на кафедре «Кораблестроение и гидравлика» и представляющих собой импеллеры с равновеликими лопастями, на кромках которых выполнены вырезы, что существенно интенсифицирует процесс растворения ГАМ. Разработанные конструкции импеллеров позволяют создать пульсации скоростей и давлений при постоянной угловой скорости вращения вала. Эффект достигается за счет использования лопастей разных диаметров. Благодаря этому, в соответствии с формулой рис.2 каждая лопасть обеспечивает движение потока с разными скоростями. При этом площади поверхности всех лопастей одинаковы.



Рис. 5 – исследуемые импеллеры:

- 1 – стандартный четырехлопастный импеллер;
- 2 – импеллер с разновеликими лопастями; 3 – эквивалентный импеллер;
- 4 – разновеликий импеллер с вырезами на коротких лопастях;
- 5 – разновеликий импеллер с вырезами на кромках и торцах длинных лопастей;
- 6 – разновеликий импеллер с вырезами на кромках всех лопастей

Приготовление исходных растворов ГАМ из порошкообразного полиакриламида осуществляется с помощью мешалок, представленных на рисунке 6.



Рис. 6 – Мешалки для приготовления раствора полимера

Эффективность растворения можно контролировать путем измерения вязкости раствора. Эксперименты показали, что длительность растворения оказывает существенное влияние на коэффициент гидравлического трения. График зависимости вязкости от длительности растворения изображен на рисунке 7.

Установлено, что кинематический коэффициент вязкости сильно зависит как от частоты вращения импеллера, так и от числа Рейнольдса (Рисунки 8,9).

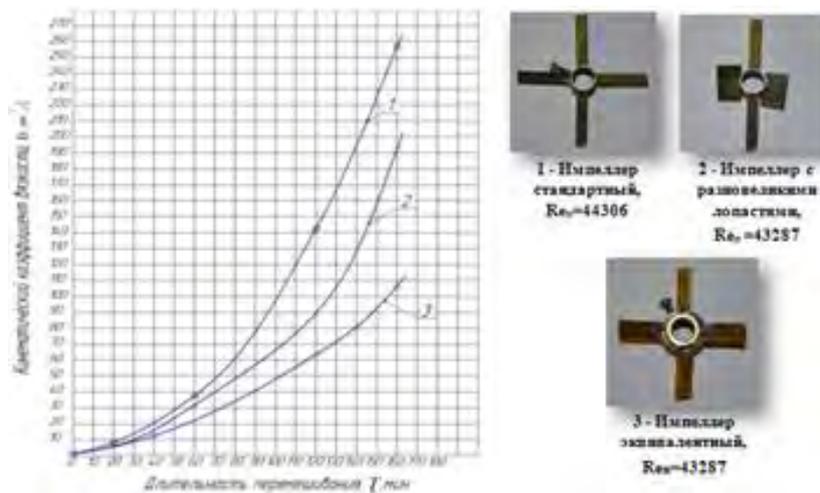


Рис. 7 – Влияние длительности раствора на вязкость
 1 – импеллер стандартный; 2 – импеллер с разновеликими лопастями;
 3 – импеллер эквивалентный

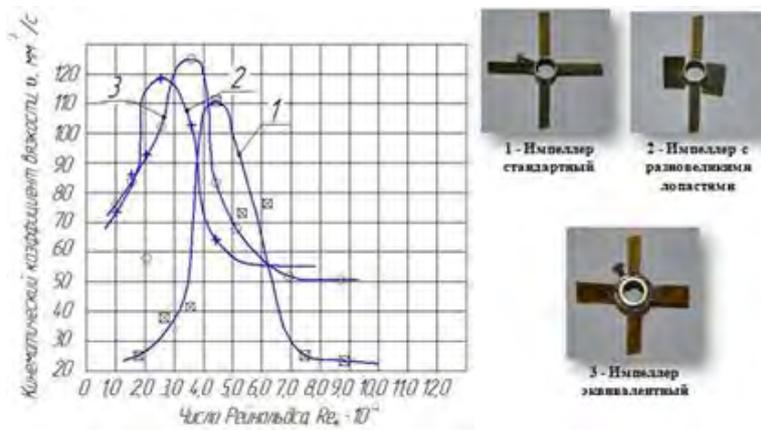


Рис. 8 – Зависимость вязкости от числа Рейнольдса
 1 – импеллер стандартный; 2 – импеллер с разновеликими лопастями; 3- импеллер эквивалентный (длительность перемешивания 90 минут)

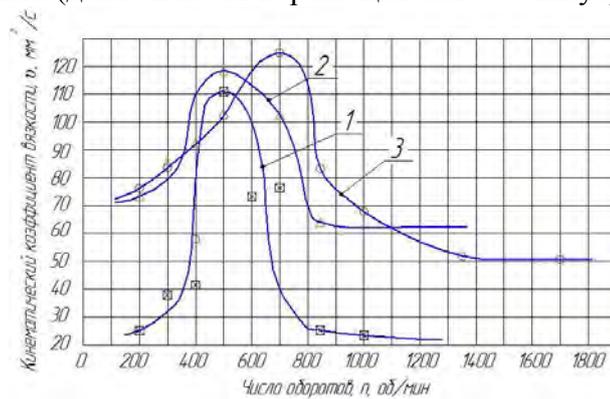


Рис. 9- Зависимость вязкости от частоты вращения
 1 – стандартный четырёхлопастной импеллер;
 2 – импеллер с разновеликими лопастями;
 3 – эквивалентный импеллер

Вывод

Были разработаны и изготовлены новые высокоэффективные импеллеры с различной конструкцией лопастей, существенно интенсифицирующие процесс растворения. Созданные варианты импеллеров позволяют не только повысить качество раствора, но и снизить энергоёмкость процесса растворения. Установлено также, что за счет подачи качественного раствора гидродинамически активных веществ на корпус судна, резко снижается гидравлическое сопротивление между корпусом и жидкостью, в которой он движется, в результате чего снижаются затраты энергии на его передвижение.

РАЗВИТИЕ КАДРОВОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИЙ

Иванова-Швец Л.Н., Толкачева С.В., Гордыч Ю.С.

Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ)

Опыт экономически развитых и развивающихся стран показывает, что научно-технический прогресс сопровождается повсеместным распространением инновационных процессов на все сферы жизнедеятельности мирового сообщества. В настоящее время он тесно связан с уровнем развития и инновационным подходом к принимаемым управленческим решениям и стратегиям развития таких нетехнологических понятий, как финансовая деятельность, маркетинговая деятельность и управление человеческими ресурсами. В России в целом эта категория инновационного развития настолько мала, что практически незаметна в мировых масштабах. И не только в мировых масштабах, но в структуре российских организаций удельный вес организаций, осуществляющих технологические, организационные и маркетинговые инновации составляет незначительный процент (рис. 1).

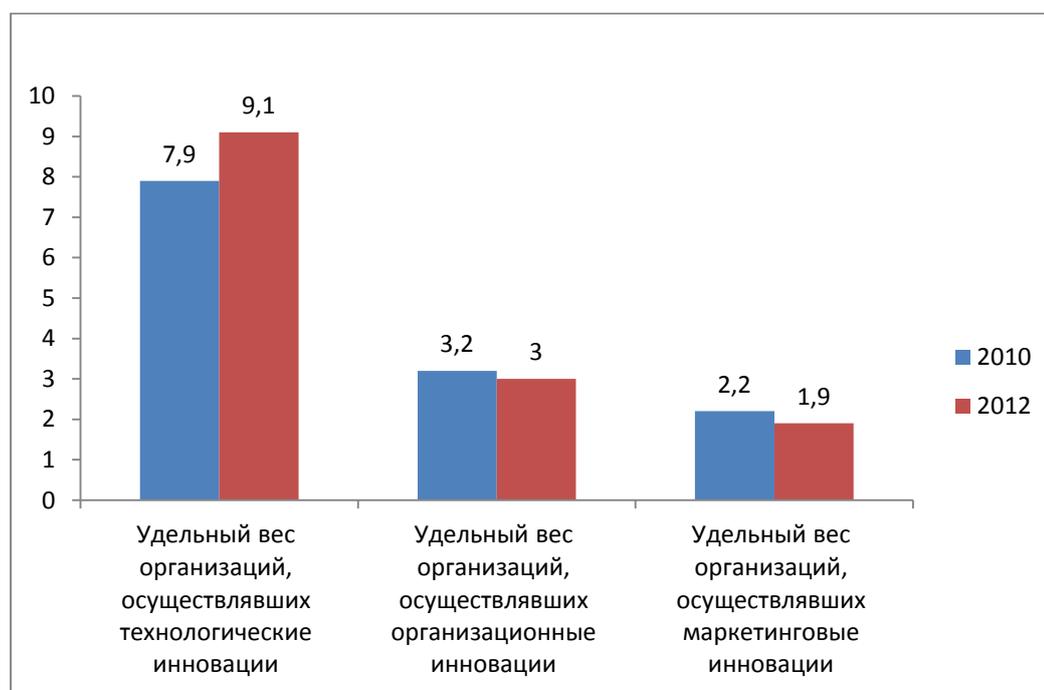


Рис. 1 - Удельный вес организаций, осуществляющих технологические, организационные, маркетинговые инновации, в общем числе обследованных организаций, в процентах

За период с 2010 по 2012 год он вырос на 1,2 % по технологическим инновациям, а незначительная инновационная активность организаций в области организационных и маркетинговых инноваций имеет понижающуюся динамику.

Такая же динамика наблюдается и в топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) (рис. 2).

А вместе с тем, как было отмечено выше, нетехнологические инновации направлены на развитие столь важных факторов инновационной деятельности, как финансы, маркетинг, персонал и многое другое.

На сегодняшний день недостаточность организационных нововведений особенно негативно сказывается на совокупной инновационной активности российских предприятий, в том числе в топливно-энергетическом комплексе.

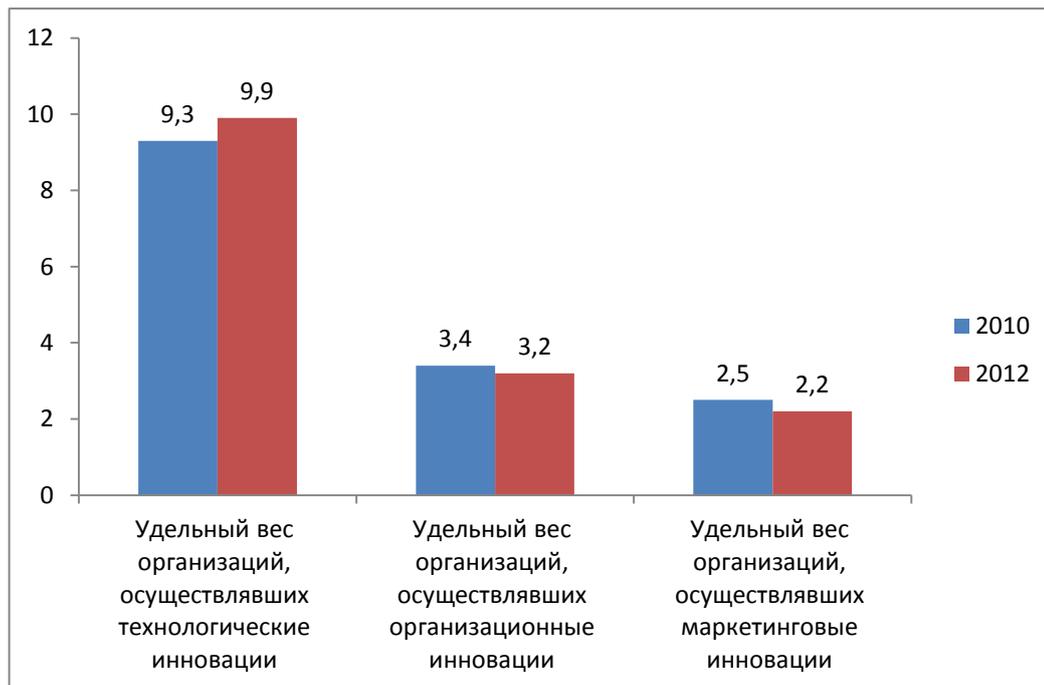


Рис. 2 - Удельный вес организаций, осуществляющих технологические, организационные, маркетинговые инновации в секторе «Добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства; производство и распределение электроэнергии, газа и воды», в общем числе обследованных организаций, в процентах

Отечественный ТЭК располагает значительным объемом человеческих ресурсов, однако на сегодняшний день в ключевом секторе российской экономики остро ощущается недостаток высокоразвитого человеческого потенциала, представленного квалифицированным персоналом, способного внедрению и реализации инновационных процессов, сопровождающихся повсеместным распространением новых технологий и принципов работы, как в производственной сфере, так и в функционировании аппарата управления.

Очевидно, что возрастание роли человеческого фактора, как движущей силы современных инновационных процессов абсолютно объективно, поэтому создание инновационного информационного обеспечения, вложения в техническое оснащение и финансирование исследований и разработок необходимо, но недостаточно эффективно без повышения значимости человеческого капитала и разработки инновационных управленческих решений.

Принимая во внимание данные факторы и аргументы, целесообразно обратить внимание на огромный, но неэффективно используемый человеческий потенциал в отечественном топливно-энергетическом комплексе.

Один из самых важных критериев, характеризующий развитие и качество человеческого потенциала - образовательный фактор, который является ключевым для предприятий ТЭК, так как для модернизации отрасли, внедрения современного оборудования, применения инновационных технологий требуются высокообразованные специалисты.

За период 2005-2012 гг. выпуск специалистов с высшим профессиональным образованием увеличился незначительно: с 11,3 тыс. чел. В 2005 году до 15,1 тыс. чел. в 2012 году по направлению подготовки «геология, разведка и разработка полезных ископаемых», а по направлению «энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника» - с 22 тыс. чел. до 23,8 тыс. чел [1].

По мнению, как работодателей, так и представителей учебных заведений, уровень знаний молодых специалистов, в том числе в энергетических отраслях, ниже, чем у выпускников прежних лет. Причин здесь несколько. Во-первых, обучение нынешних специалистов еще больше оторвано от практики, чем в советское время. Сейчас ВУЗы недостаточно активно занимаются распределением студентов ни на практику, ни после окончания высших учеб-

ных заведений. А при переходе к массовому бакалавриату основной проблемой стало сокращение объемов производственной подготовки. Как видно из рисунков 3,4,5 доля выпускников по двум направлениям подготовки, которые трудоустроивались самостоятельно или не получили направление на работу с 2006 года по 2012 год сократилась незначительно [1].

Во-вторых, лабораторное оборудование в большинстве учебных заведений осталось на том же уровне, что один-два десятка лет назад. В-третьих, изменилось отношение работодателя к выпускнику учебного заведения. Как раньше молодого специалиста доучивали на производстве, так и сейчас, только сейчас руководство предприятия старается взять на работу уже готового специалиста. Наши учебные заведения слегка отстают от развития отрасли, и зачастую им не хватает средств для преодоления этого разрыва.

Учитывая заинтересованность предприятий ТЭК в высококлассных специалистах, необходимо больше ориентироваться на внедрение организационных инноваций, связанных с привлечением и внутриорганизационным развитием выпускников высших учебных заведений и молодых специалистов.

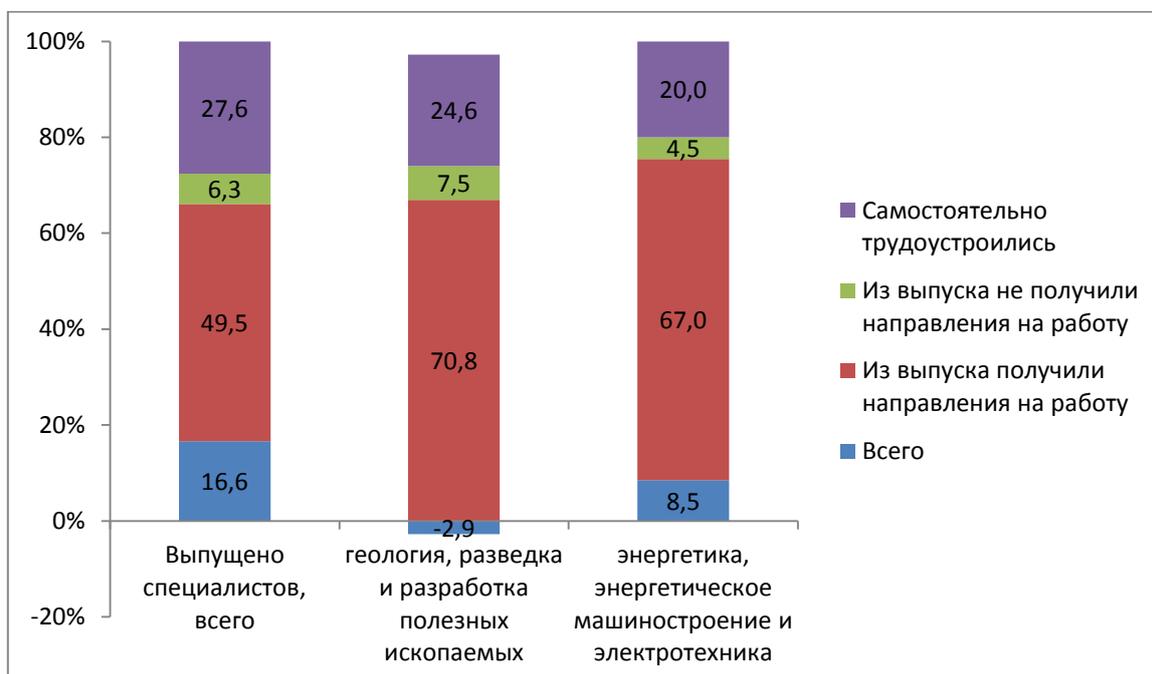


Рис. 3 - Направление на работу выпускников, окончивших очные отделения государственных и муниципальных высших учебных заведений, по группам специальностей и направлениям подготовки в 2006 г. (на 1 октября; в процентах)

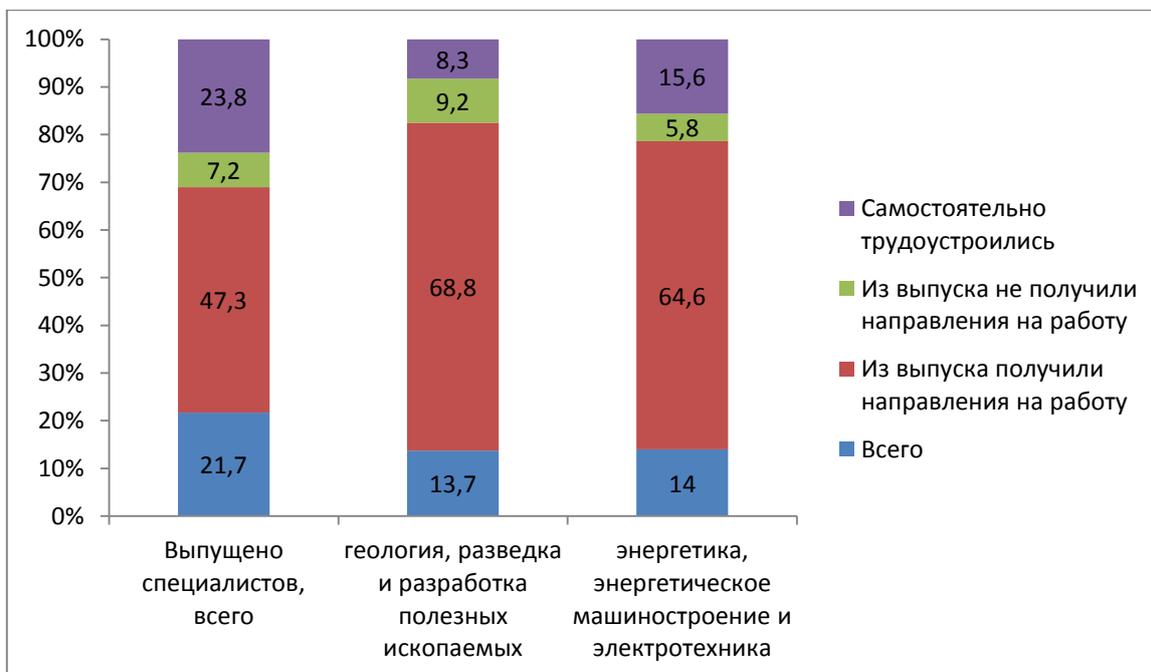


Рис. 4 - Направление на работу выпускников, окончивших очные отделения государственных и муниципальных высших учебных заведений, по группам специальностей и направлениям подготовки в 2010 г. (на 1 октября; в процентах)

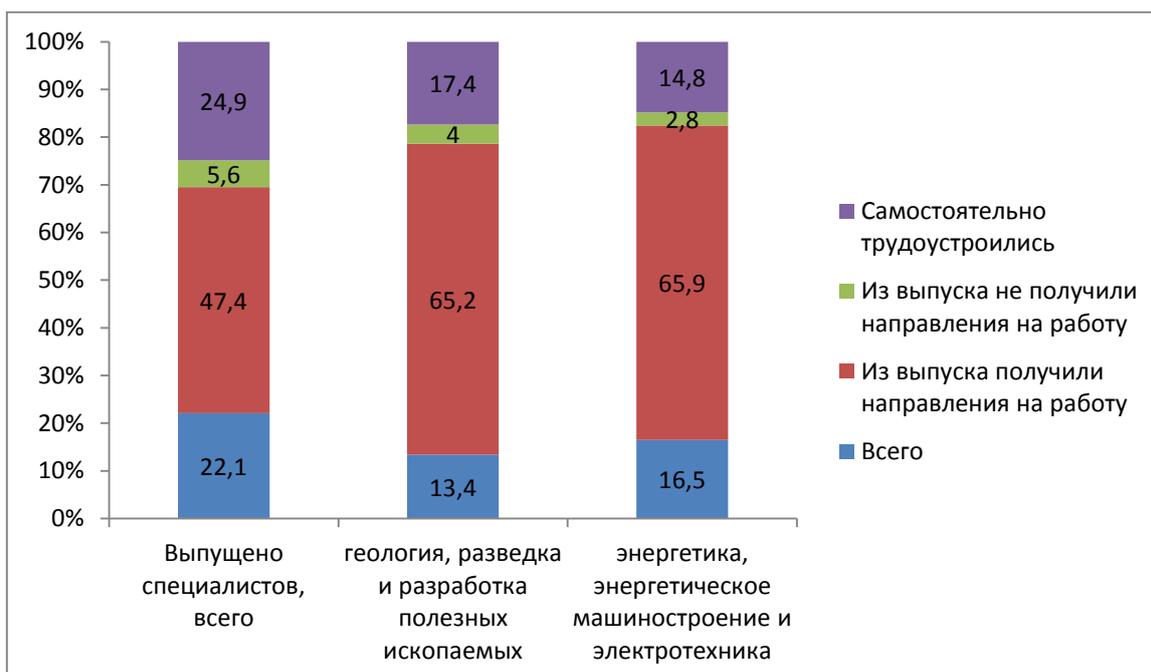


Рис. 5 - Направление на работу выпускников, окончивших очные отделения государственных и муниципальных высших учебных заведений, по группам специальностей и направлениям подготовки в 2012 г. (на 1 октября; в процентах)

Возможными направлениями развития кадрового потенциала могут стать:

- повышение активности предприятий в сотрудничестве с вузами при создании технологических платформ (вследствие значительных материальных затрат это возможно только в крупных концернах или холдингах);
- заключение комплексных договоров о сотрудничестве предприятий с вузами, предусматривающих целевой прием, подготовку и трудоустройство специали-

- стов, совместную научно-исследовательскую работу, профессиональную переподготовку и повышение квалификации работников, спонсорскую деятельность;
- внедрение модели дуального образования (по примеру Германии);
 - снижение дефицита квалифицированных преподавательских кадров за счет привлечения практиков и стажировок преподавателей в компаниях.

Список использованных источников

1. Материалы сайта «Федеральная служба Государственной статистики». // <http://www.gks.ru>.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕМ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Богомолов А.В.¹, Шайкин Д.В.¹, Струков Г.Н.¹, Малевич И.Х.²

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий

²Белорусский национальный технический университет

Электроэнергетика является важнейшей составной частью топливно-энергетического комплекса страны, обладает рядом специфических черт, делающих ее непохожей ни на одну отрасль промышленности. По существу, она должна быть признана отраслью национального хозяйства, поскольку пронизывает все его сферы. Энергетика, как и все хозяйство нашей страны, пока еще робко вступает в рыночные отношения, именно поэтому организация энергетического хозяйства на предприятии является актуальной и важнейшей темой для подробного рассмотрения.

Энергообеспечение предприятий предусматривает совокупность средств и методов, предназначенных для разработки и применения установок и систем производящих, трансформирующих, распределяющих и потребляющих тепловую, электрическую и иные виды энергии, обеспечивающие функционирование промышленных предприятий. Энергетическое хозяйство современного промышленного предприятия наряду с общим электротехническим оборудованием включает в себя значительное количество энергосилового и тепломеханического оборудования.

Использование комплексного анализа оценки эффективности и потенциала экономического роста отечественной пищевой промышленности позволило сформировать базовые предпосылки устойчивого развития предприятий в рамках обеспечения энергетической безопасности. Данное условие является важнейшей составляющей формирования дорожной карты конкурентных преимуществ в условиях нестабильности глобальных рынков. Обеспечение энергетической безопасности - одна из основных задач энергетической политики субъекта рыночного хозяйствования, представляющая практический интерес для широкого круга научной и профессиональной общественности.

Энергетическая безопасность представляет собой единый комплекс взаимосвязанных элементов системы управления предприятия. Энергетические риски определяются как внешними (геополитическими, макроэкономическими, конъюнктурными) факторами, так и собственно состоянием и функционированием энергетического сектора страны. Указанные факторы, сдерживают не только развитие предприятий, отраслей экономики, но и являются одновременно источником угроз энергетической безопасности всей страны [3].

Основные функции управления энергетикой предприятия проиллюстрированы на рисунке 1.

Данные функции осуществляют в определенных областях деятельности, среди которых специфичным для энергетики предприятия являются: потребление энергии; использование энергии; эксплуатация энергетического и энергоиспользующего оборудования; режимы энергоснабжения и работы энергооборудования; надежность энергоснабжения и работы энергооборудования; внутрипроизводственный (внутри предприятия) энергонадзор.

Определение уровня энергетической безопасности промышленного предприятия должен основываться на методе индикативного анализа.



Рис. 1 - Основные функции управления энергетикой предприятия

Метод индикативного анализа имеет достаточно простую структуру, позволяет не только оценить уровень энергетической безопасности отдельного предприятия, но и отслеживать его изменение по направлениям воздействия отдельных угроз, а также сравнивать предприятия отрасли и региона по этому показателю. Применение индикативного анализа придает стройность, последовательность и обоснованность сделанным выводам. Метод может быть легко скорректирован и адаптирован для оценки энергетической безопасности с учетом отраслевой, технологической, региональной и прочей специфики исследуемого предприятия. Основные показатели индикативного анализа энергетической безопасности приведены в таблице 1.

Анализ показал, что важнейшим показателем, характеризующим работу промышленного предприятия, является себестоимость продукции. От ее уровня зависят финансовые результаты деятельности предприятия, темпы расширенного воспроизводства, финансовое состояние хозяйствующих субъектов. Себестоимость определяется как стоимостная оценка используемых в процессе производства продукции (работ, услуг) природных ресурсов, сырья, топлива, материалов, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов, а также других затрат на ее производство и реализацию [1].

Поэтому ее снижение - важнейший источник роста прибыли предприятий. Современные рыночные условия хозяйствования внесли экономические коррективы в сложившуюся схему централизованного энергоснабжения промышленных предприятий: энергетические компании работают по выгодным ценам, которые учитывают не только затрат на ее производство, но и недостаток инвестиций в энергетическую отрасль.

Вследствие зависимости от территориальных энергетических компаний и недостатка технико-экономических возможностей для возведения собственных энергетических мощностей, крупные промышленные предприятия вынуждены приобретать у них дорогостоящую тепло- и электроэнергию. Данное обстоятельство влечет за собой рост себестоимости отечественных промышленных товаров и снижение их конкурентоспособности на рынке. Для уменьшения зависимости от энергетических компаний и снижения величины энергетической составляющей себестоимости производимой продукции крупные энергоемкие промышленные потребители все чаще переходят на альтернативные виды энергообеспечения.

Таблица 1 - Показатели индикативного анализа энергетической безопасности предприятия

Трактовка	Формула	Обоснование
1. Доля собственной генерации и использование вторичных энергетических источников	$\theta = \frac{V_{\text{ген}} + V_{\text{вэр}}}{V_{\text{потр}}^{\text{год}}} \times 100\%$	$V_{\text{ген}}$ – объем потребляемой электроэнергии от собственной генерации за год, тыс. кВт-ч; $V_{\text{вэр}}$ – объем потребляемой электроэнергии, за счет использования ВЭР, тыс. кВт-ч; $V_{\text{потр}}^{\text{год}}$ – суммарный объем потребляемой энергии за год, тыс. кВт-ч.
2. Индикатор, характеризующий влияние доли энергетической составляющей в себестоимости продукции на энергетическую безопасность	$\omega = \left(1 - \frac{З_{\text{эн}}}{З_{\text{общ}}}\right) \times 100\%$	$З_{\text{эн}}$ – сумма затрат предприятия на электроэнергию в год, тыс. р.; $З_{\text{общ}}$ – сумма затрат на производство продукции в год, тыс. р.
3. Индикатор, отражающий влияние удельной энергоёмкости продукции предприятия на его энергетическую безопасность	$\gamma = \frac{ЭЕ_{\text{баз}}}{ЭЕ} \times 100\%$	$ЭЕ_{\text{баз}}$ – базовый показатель энергоёмкости продукции, кВт-ч/шт.; $ЭЕ$ – показатель удельной энергоёмкости продукции анализируемого предприятия за год, кВт-ч/шт.
4. Удельная энергоёмкость продукции, показывающий расход электроэнергии на производство ед. продукции	$ЭЕ = \frac{V_{\text{потр}}^{\text{год}}}{ОП}$	ОП – объем производства продукции на предприятии в год, шт.
5. Энергопроизводительность	$ЭП = \frac{1}{ЭЕ}$	

В настоящее время промышленные предприятия и энергетические объединения взаимодействуют в условиях рыночных отношений. Данное обстоятельство ставит перед энергетикой промышленных предприятий ряд актуальных задач (рисунок 2).

Анализируя примеры реализации проектов по строительству на отечественных промышленных предприятиях собственных энергетических источников, можно сделать вывод, что основной причиной данной тенденции стало стремление обеспечить, в современных условиях хозяйствования, технологический процесс доступной энергией собственного производства.

Важным моментом при расчете срока окупаемости капитальных затрат, является полный учет всех затрат, связанных со строительством собственного источника энергии. Часто при их подсчете учитывают только стоимость строительства энергоблоков, мини-ТЭЦ - пользуясь ценовыми показателями их производителей, а так же затраты на реконструкцию электрических, тепловых, газовых сетей внутреннего энергоснабжения.

Однако выявленные сложности не останавливают энергоёмких промышленных потребителей энергии, строить собственные генерирующие мощности в структуре энергетических хозяйств. На рисунке 3 представлены решающие аргументы данного решения.

Проведенный аналитический расчет позволяет заключить, что расходы на сооружение собственного источника энергии небольшой мощности промышленным предприятием окупаются в среднем за 2 - 5 лет, что привлекательно для инвесторов [2].

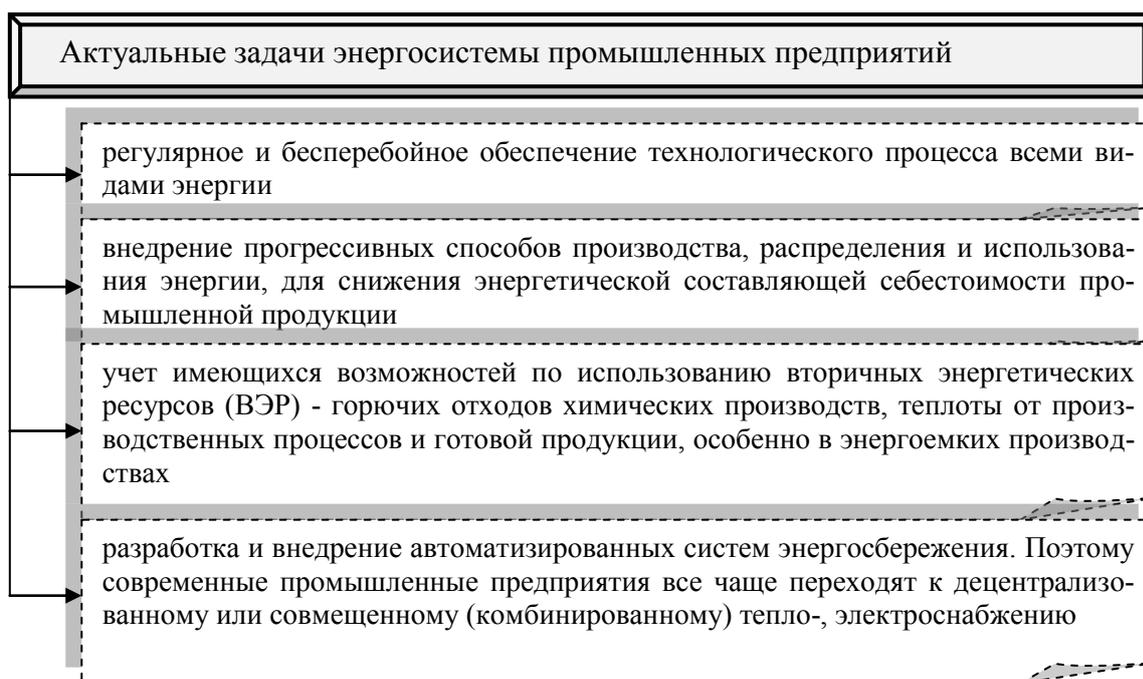


Рис. 2 - Актуальные задачи энергосистемы промышленных предприятий

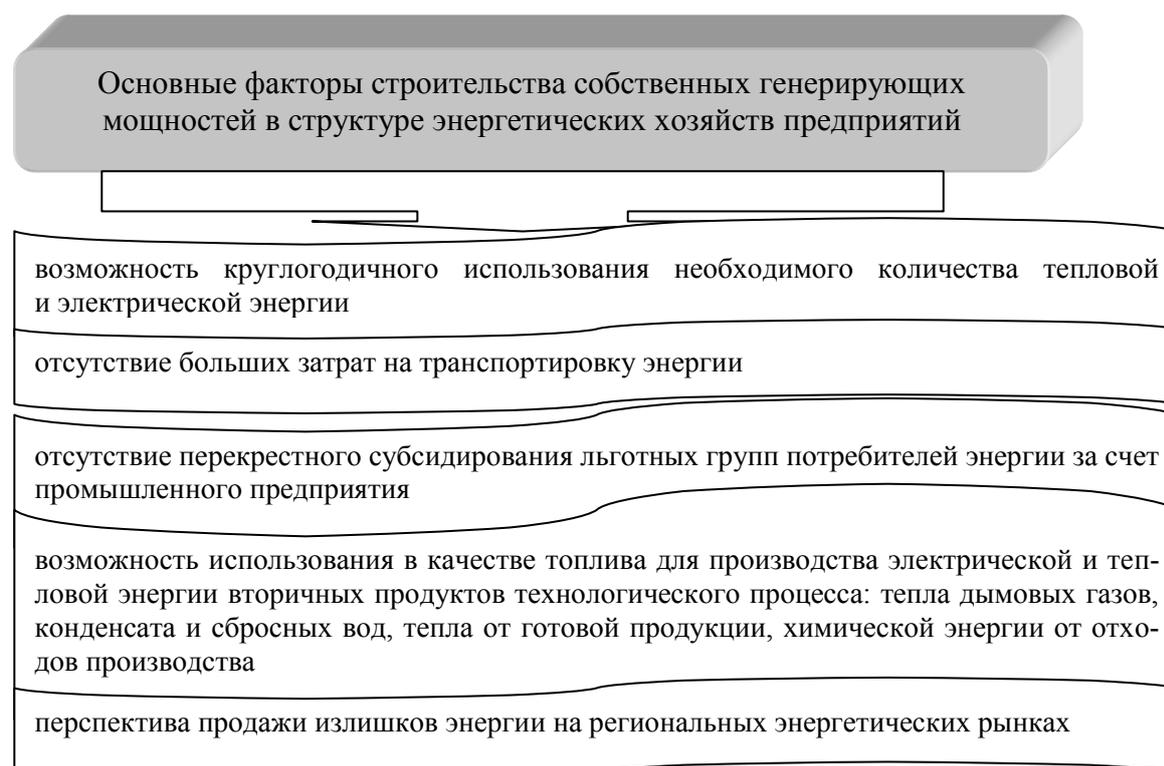


Рис. 3 - Основные факторы строительства собственных генерирующих мощностей в структуре энергетических хозяйств предприятий

Наличие собственного источника энергии гарантирует энергетический минимум для осуществления технологического процесса. Таким образом, управление энергетическим хозяйством промышленного предприятия - это трудоемкий процесс, требующий эффективных организационно-экономических и производственно-технических решений.

Список использованных источников:

1. Богомолова И.П. Сырьевое обеспечение мясоперерабатывающей промышленности с учетом социально-экономического развития сельских территорий / И.П. Богомолова, М.В. Пигунова, Д.В. Шайкин – Воронеж: ЦНТИ. – 2013. – 214 с.
2. Богомолов, А.В. Роль рисков в инновационной деятельности перерабатывающих предприятий / И.Н. Василенко, А.В. Богомолов, Т.Ю. Ульченко // Сборник научных трудов «Методические и практические проблемы экономики и управления предприятиями пищевой промышленности», МГУПП, Москва, 2009. – С. 134 – 139
3. Татаркин, А.Н. Комплексная методика диагностики энергетической безопасности территориальных образований РФ / А.И. Татаркин, А.А. Куклин и др. - Екатеринбург: УрОРАН, 2002. – 187 с.

ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЫ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$

*Трегубов И.М., Татьянкин Г.К., Гребенников А.А., Стогней О.В.
Воронежский государственный технический университет*

Проведено исследование электрических свойств нанокomпозитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ в исходном состоянии и после гидрирования в водородной плазме. Исследованы температурные зависимости электросопротивления нанокomпозитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ в интервале 77 – 273 К после нахождения в воздушной и водородной плазме. Установлено, что после наводороживания плазмой величина среднего числа локализованных состояний $\langle n \rangle$ уменьшается, в то время как значения плотности электронных состояний на уровне Ферми $g(E_f)$ увеличивается. Предполагается, что это связано с заполнением ионами водорода оборванных связей атомов металла, находящихся в матрице, и смещением уровня Ферми вследствие изменения соотношения между заполненными и свободными энергетическими уровнями в зоне локализованных состояний.

Введение

На сегодняшний день водородная энергетика является одной из перспективных, бурно развивающихся областей науки. По сравнению с традиционными энергоносителями, водород имеет ряд преимуществ: экологическая чистота, широкое распространение в природе и возобновляемость. Однако, использование водорода до сих пор не нашло широкого применения поскольку полученные к настоящему времени материалы не вполне удовлетворяют требованиям по массовому и объемному содержанию водорода. Поэтому проблема поиска новых адсорбирующих водород материалов остается актуальной. Возможным вариантом решения этой проблемы является использование наногранулированных материалов в качестве адсорбционной среды [1]. Помимо этого, не в полной мере отработаны методы безопасного наводороживания материалов, не требующие высоких давлений или температур. Оба фактора необходимы для увеличения проникающей способности водорода в твердую среду и повышения его реакционной способности: диссоциации молекул водорода и образованию гидридов. Можно предположить, что если водород будет находиться в ионизированном состоянии, то процесс наводороживания будет осуществляться в менее «жестких» условиях по сравнению с молекулярным водородом.

С учетом вышеизложенного целью данной работы являлось исследование возможности наводороживания наногранулированного композиционного материала, за счет воздействия на него водородной ВЧ плазмы.

В качестве объекта исследования выбраны наногранулированные композиты $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$, поскольку все металлические элементы, входящие в их состав (Co, Fe, Zr, Al) способны формировать гидриды. Качественно и количественно адсорбция водорода нанокomпозитами оценивалась по изменению их электрических свойств.

Методика

В работе исследованы гранулированные нанокomпозиты $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ в широком интервале концентрации металлической фазы ($40 \leq x$, ат. % ≤ 55). Композиты сформированы из металлических гранул диаметром 2–8 нм, случайным образом распределенных в объеме диэлектрической матрицы оксида алюминия Al_2O_3 . Образцы получены методом ионно-лучевого распыления составных мишеней в атмосфере аргона с последующей конденсацией материала на ситалловые подложки. Химический состав образцов контролировался рентгеновским электронно-зондовым микроанализом.

В качестве метода гидрирования использовалась водородная плазма, что не предполагает нагрев образцов до высоких температур и их обработку при высоких давлениях. Для получения водородной плазмы была разработана экспериментальная установка, состоящая из кварцевого реактора, вакуумной системы и СВЧ печи [2].

Ранее было показано, что находясь в газовой плазме, материал подвергается термическому нагреву, что может значительно влиять на его электрические свойства. Композиционные пленки, находясь в газовой плазме нагреваются до температуры порядка 400 °С [2]. Поэтому прежде чем поместить образцы в водородную плазму они выдерживались в плазме, зажигаемой в остаточной воздушной атмосфере ($P \sim 2 \cdot 10^{-1}$ Торр), в течении 45 минут. Это обеспечивало протекание процессов релаксации и позволяло исследовать влияние водородной плазмы на отожженных образцах. Тем самым, исключалось влияние термического отжига на возможные изменения физических свойств композитов после нахождения в водородной плазме. Общая длительность процесса наводороживания составляла 150 мин, однако, поскольку процесс горения плазмы не был непрерывным [2], полное эффективное время нахождения композитов в плазме водорода составляло 25 минут.

Так как нанокompозит представляет собой тонкую пленку, то для исследования степени его наводороживания не могут применяться методы непосредственного измерения количества адсорбированного водорода. При наводороживании нанокompозита атомы водорода могут проникать как в диэлектрическую матрицу, так и в металлическую фазу. В доперколяционных нанокompозитах, то электронный транспорт в нем определяется переносом заряда через диэлектрическую матрицу (так называемая прыжковая проводимость [3]). Такой механизм крайне чувствителен к структурным дефектам, имеющимся в диэлектрике и на интерфейсе диэлектрик-гранула [4, 5]. Если предположить, что атомы водорода, адсорбированные композитом, могут создавать локализованные состояния в запрещенной зоне диэлектрика то анализ электрических свойств нанокompозитов до и после наводороживания позволит оценить степень наводороживания материала. Поэтому в данной работе изучено влияние наводороживания на электрические свойства композитов, которое оценивалось по изменению температурных зависимостей сопротивления образцов измеренных в интервале 77 – 280 К.

Анализ полученных зависимостей осуществлялся с помощью моделей использовалась модель резонансного туннелирования электронов [3, 4] и модели Мота (модель прыжковой проводимости) [5, 6]. Поскольку в исследуемых образцах электроперенос осуществляется туннелированием электронов по локализованным состояниям в диэлектрической матрице, модель позволяет оценить среднее число локализованных состояний ($\langle n \rangle$), по которым электроны туннелируют при движении между соседними гранулами [4], а также оценить плотность электронных состояний на уровне Ферми $g(E_f)$ [5].

Результаты

На рисунке 1 представлены температурные зависимости электрического сопротивления образцов $(Co_{40}Fe_{40}Zr_{20})_x(Al_2O_3)_{100-x}$ с различным процентным содержанием металлической фазы после отжига в «воздушной» плазме. С целью получения более достоверных результатов проводилось измерение двух образцов одного состава.

Величина удельного электрического сопротивления R увеличивается с понижением температуры, что характерно для композиционных материалов, в которых электроперенос осуществляется посредством туннелирования электронов из гранулы в гранулу по локализованным состояниям вблизи уровня Ферми в диэлектрической матрице. Такая зависимость позволяет применить модели Мотта и резонансного туннелирования для электропереноса в тонких пленках.

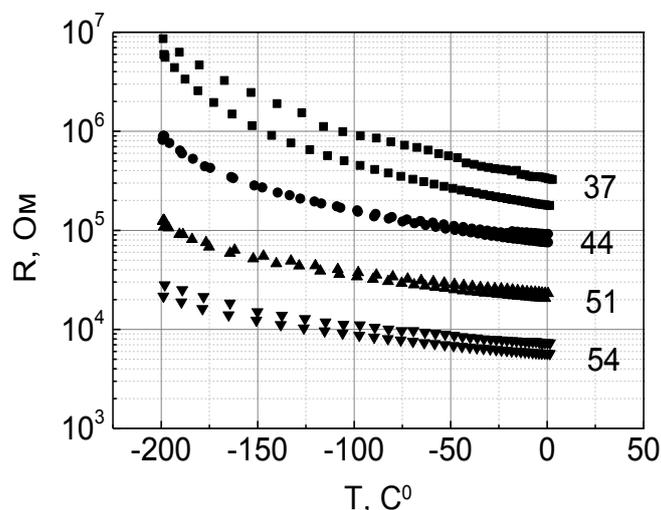


Рис. 1 - Зависимость удельного электрического сопротивления от температуры нанокompозитов $(Co_{40}Fe_{40}Zr_{20})_x(Al_2O_3)_{100-x}$. Цифрами на графике показаны проценты содержания металлической фазы

Для расчета среднего числа локализованных состояний $\langle n \rangle$ экспериментальные зависимости (рис. 1) перестраивались в координатах модели неупругого резонансного туннелирования, рис. 2. Затем, вычислялся угол наклона температурной зависимости электрического сопротивления в координатах $\ln(R/R_0)(T_0/T)$, показанной на рис. 2. В [4] было показано, что существует определённый температурный интервал (обычно это более высокотемпературный интервал), в котором число локализованных состояний, участвующих в электропереносе, не меняется и для этого интервала температур угол наклона зависимости также будет постоянным. В соответствии с методикой, изложенной в [4, 6] были рассчитаны значения среднего числа локализованных состояний, по которым электроны туннелируют между соседними гранулами. В качестве значений T_0 была взята температура 273 К, в качестве R_0 – сопротивление композита при этой температуре.

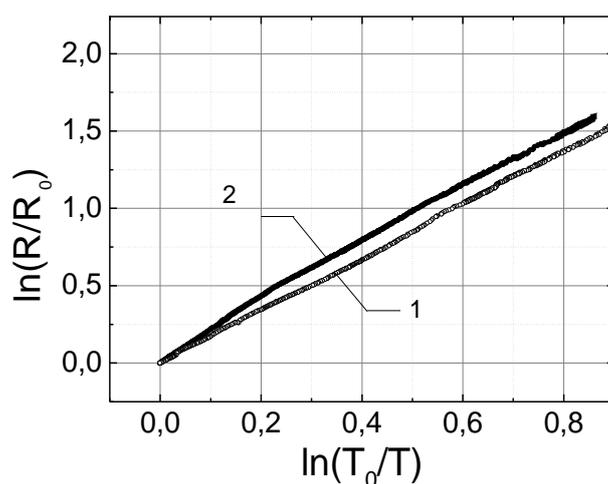


Рис. 2 - Температурная зависимость сопротивления композита $(Co_{40}Fe_{40}Zr_{20})_{44}(Al_2O_3)_{56}$ в исходном состоянии (кривая 1) и после наводороживания (кривая 2). Зависимость построена в модельных координатах [5] для определения числа $\langle n \rangle$. $T_0 = 273$ К.

Используя модель Мота и перестраивая экспериментальные зависимости в соответствующих координатах [5, 6] определялись значения $g(E_f)$ для композитов с различным содержанием металлической фазы (рис. 4).

Для установления количественных изменений, вызванных влиянием водорода, на рисунках 3 и 4 показаны совмещенные концентрационные зависимости $\langle n \rangle$ и $g(E_f)$, измеренные в образцах до и после наводороживания.

Анализ полученных данных показал, что обработка композитов в водородной плазме не меняет характер зависимости композита в интервале температур 77 – 217 К. В интервале 217 – 280 К на зависимости $R(T)$, измеренной после наводороживания композита $(Co_{40}Fe_{40}Zr_{20})_{44}(Al_2O_3)_{56}$, наблюдается излом и угол наклона прямой, определяющий величину $\langle n \rangle$ меняется (рис. 2, кривая 2). Расчет среднего числа локализованных состояний показал, что наводороживание практически не влияет на величину $\langle n \rangle$ в низкотемпературном интервале 77 – 217 К, и до и после наводороживания она была равна 1,87. Однако, в наводороженном образце $(Co_{40}Fe_{40}Zr_{20})_{44}(Al_2O_3)_{56}$ в интервале температур 217 – 280 К значение $\langle n \rangle$ уменьшилось с 3,1 до 2,70.

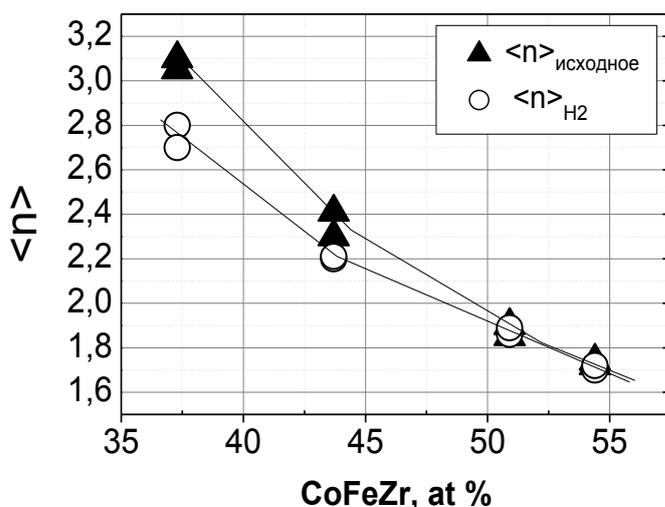


Рис. 3 - Зависимость среднего числа локализованных состояний от процентного содержания металлической фазы для образцов $(CoFeZr)_x(Al_2O_3)_{100-x}$ до и после воздействия водородной плазмы

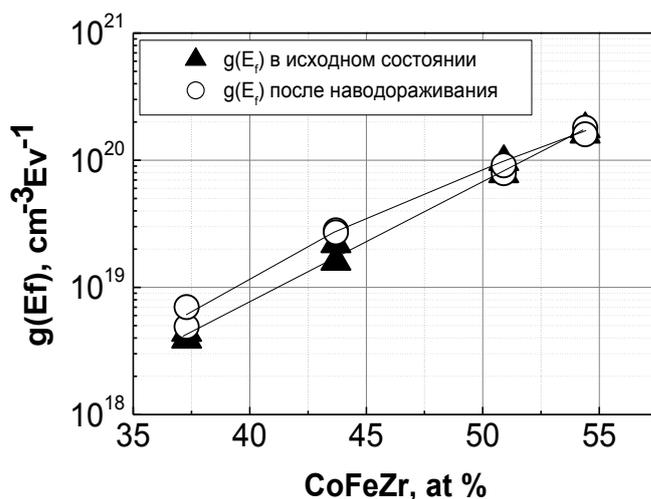


Рис. 4 - Зависимость плотности локализованных состояний от процентного содержания металлической фазы для образцов $(CoFeZr)_x(Al_2O_3)_{100-x}$ до и после воздействия водородной плазмы

Аналогичные результаты наблюдались на образцах с различной концентрацией металлической фазы. У всех исследованных композитов на зависимости $R(T)$, полученной после наводороживания, вблизи комнатной температуры наблюдался излом, а число локализован-

ных состояний для температурного интервала, примыкающего к 273 К, во всех случаях было меньше, чем в исходном состоянии (после обработки в воздушной плазме, но до наводороживания). На рис. 3 приведены концентрационные зависимости значения $\langle n \rangle$, рассчитанные для образцов, подвергнутых термической релаксации в воздушной плазме ($\langle n \rangle_{\text{исходное}}$ рис.2 кривая 1), и значения $\langle n \rangle$, рассчитанные для участка с измененным углом наклона вследствие наводороживания ($\langle n \rangle_{\text{H}_2}$ рис.2 кривая 2). Характерно, что как $\langle n \rangle_{\text{исходное}}$, так и $\langle n \rangle_{\text{H}_2}$, уменьшается с увеличением концентрации металлической фазы в образце, что типично для нанокompозитов металл-диэлектрик и связано с приближением концентрации образцов к порогу перколяции и уменьшением ширины диэлектрического барьера между гранулами.

Полученные результаты (рис. 3, 4) позволяют утверждать, что воздействие ионов водорода приводит к изменению плотности локализованных состояний на уровне Ферми и среднего числа локализованных состояний, вовлеченных в резонансное туннелирование. Наибольшие изменения наблюдаются в композитах с меньшей долей металлической фазы. Это дает возможность предположить, что ионы водорода в основном проникают в диэлектрическую матрицу и взаимодействуют именно с ней. По всей видимости, обладая положительным зарядом, ионы атомарного водорода или заряженные молекулы H_2^+ взаимодействуют с дефектами матрицы, формирующими локализованные состояния, на которых находятся электроны. Взаимодействуя с дефектами ионы водорода заполняют оборванную связь, исключая таким образом, ее из процесса электропереноса. Такими дефектами могут являться незаконченные связи атомов металлической фазы, которые всегда находится в объеме диэлектрической фазы композитов. Вследствие этого суммарное число локализованных состояний в «проводящей цепочке» между соседними гранулами будет снижаться, что отражается и на среднем значении величины $\langle n \rangle$.

Изменение значения плотности электронных состояний на уровне Ферми может происходить по двум причинам. Во-первых, в композитах могут появляться новые локализованные состояния с энергиями близкими к E_f и если эти состояния будут заполняться электронами, то это приведет к росту $g(E_f)$. Однако полученные экспериментальные данные (рис.3) свидетельствуют об обратном: число локализованных состояний вблизи уровня Ферми снижается после наводороживания. Во-вторых, может происходить смещение положения уровня Ферми относительно зоны, в которой расположены локализованные состояния. Поскольку в общем случае число локализованных состояний с разными значениями энергии не является одним и тем вероятностью того, что при смещении уровня Ферми он окажется в области с более высоким значением $g(E_f)$ весьма высока. По-всей видимости, в случае наводороживания доперколяционных композитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ наблюдается именно такая ситуация. Заполнение атомами водорода оборванных связей атомов металла (выступающих в роли ловушек) приводит к перераспределению электронов между оставшимися ловушками, что влечет за собой изменение энергии Ферми.

Выводы

Исследованы температурные зависимости электросопротивления нанокompозитов $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{Zr}_{20})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ в интервале температур 77 – 273 К после нахождения в воздушной и водородной плазме.

Установлено, что после наводороживания плазмой величина $\langle n \rangle$ уменьшается, в то время как $g(E_f)$ увеличивается. Предполагается, что это связано с заполнением ионами водорода оборванных связей атомов металла, находящихся в матрице, и смещением уровня Ферми вследствие изменения соотношения между заполненными и свободными энергетическими уровнями в зоне локализованных состояний.

Список использованных источников

1. Тарасов Б.П., Бурнашева В.В., Лотоцкий М.В., Яртысь В.А. Методы хранения водорода и возможности использования металлогидридов // Альтернативная энергетика и экология, 2005, №12, с. 14-37.

2. Трегубов И.М., Стогней О.В., Пригожин В.И., Савич А.Р. Термический нагрев тонкоплёночных нанокомпозитов металл-диэлектрик в водородной плазме // Вестник ВГТУ. – 2010. – Т. 6. - №3. – С. 10–13.
3. Л.И. Глазман, К.А. Матвеев Неупругое резонансное туннелирование электронов через потенциальный барьер // ЖЭТФ. – 1988. – Т.94, Вып.6. – С.332.
4. Л.В.Луцев, Ю.Е.Калинин, А.В.Ситников, О.В.Стогней Электронный транспорт в магнитном поле в гранулированных пленках аморфной двуокиси кремния с ферромагнитными наночастицами // ФТТ.-2002.-Т.44, вып.10.-С.1802-1810.
5. Мотт Н. Электронные процессы в некристаллических веществах / Н. Мотт, Э. Дэвис. – М.:Мир, 1982. – 368 с.
6. Гребенников А.А., Стогней О.В. Влияние структурного состояния на механизм электропереноса в нанокомпозитах $\text{Co}_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{100-x}$ и $\text{Co}_x(\text{CaF})_{100-x}$ // Вестник ВГТУ. – 2010. – Т. 6. - №1. – С. 175 – 176.

**ФЕНОМЕН ЗОЛОТОГО СЕЧЕНИЯ КАК ФАКТОР СТРУКТУРНОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ И ГАРМОНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ***Кулаков Г.Т., Кравченко В.В.**Белорусский национальный технический университет*

Для обеспечения системной и структурной устойчивости и гармонии систем в технике и других областях необходимо установить между основными показателями системы соотношения, соответствующие золотой пропорции. Золотое сечение – это такое пропорциональное деление отрезка на две неравные части, при котором весь отрезок так относится к большей части, как самая большая часть относится к меньшей или, другими словами, меньший отрезок так относится к большему, как больший ко всему. По определению золотого сечения должно выполняться равенство: $1/x = x/1-x$, то есть свойства золотого сечения описывают квадратным уравнением: $x^2 + x - 1 = 0$, положительный корень которого определяют выражением: $x = \frac{\sqrt{5}-1}{2} = 0,618$ (число Фибоначчи). Характерным примером использования золотой

пропорции служит пентаграмма. Все диагонали пятиугольника делят друг друга на отрезки, связанные между собой золотой пропорцией. Каждый конец пятиугольной звезды представляет собой золотой треугольник, стороны которого образуют угол 36° при вершине, а основание, отложенное на боковую сторону, делит ее в пропорции золотого сечения (0,618/0,382). Теория чисел Фибоначчи и золотого сечения непрерывно развивается. Возникают интересные методы решения ряда кибернетических задач (теории поиска, игр, программирования, оптимального управления) с использованием чисел Фибоначчи и золотого сечения.

В БНТУ разработан метод структурно-параметрической оптимизации систем автоматического регулирования на базе передаточной функции оптимального регулятора, в передаточную функцию которого в качестве критерия оптимальности входит заданная передаточная функция разомкнутой системы по задающему воздействию, численное значение параметра оптимальной динамической настройки которого определяется по правилу золотого сечения, где за целое принимается величина запаздывания по каналу регулирующего воздействия с учетом максимально допустимой величины этого воздействия.

Метод структурно-параметрической оптимизации позволяет существенно улучшить качество регулирования теплоэнергетических процессов при переменных режимах, что позволяет повысить экономичность, надежность, долговечность работы теплоэнергетического оборудования и уменьшить ущерб от выброса вредных веществ в окружающую среду.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАДРОВОЙ СТРАТЕГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Богомолова И.П.¹, Василенко И.Н.¹, Малевич И.Х.²

¹Воронежский государственный университет инженерных технологий

²Белорусский национальный технический университет

Проблема обеспечения продовольственной безопасности страны вышла на одно из ведущих мест в мировой политике. Продовольствие наряду с нефтью стало ведущим фактором геополитики нашего государства. Уровень продовольственной безопасности определяется функционированием трех систем: системы потребления, зависящей от покупательной способности населения и насыщенности потребительского рынка, и двух систем, наполняющих потребительский рынок продовольствия.

Указанные системы взаимосвязаны, имеют критические пределы и определяют продовольственную безопасность страны. Население Земли увеличивается быстрыми темпами - более чем на 1,4 % в год. По прогнозам ООН, численность населения Земли в 2050 г. почти в 4 раза превысит критический порог устойчивости биосферы.

Вместе с тем, масштабы голода в мире расширяются. Сегодня общее количество людей, страдающих от недоедания, на планете превысило 1 млрд. Плохое питание взрослых снижает работоспособность и результативность труда, что экономически неэффективно.

Количество потребляемых калорий варьирует по странам и годам в зависимости от гендерной и возрастной структуры населения. По данным ФАО, среднемировой показатель энергетического содержания дневного рациона питания в расчете на одного человека составлял 2780 ккал, тогда как в развитых странах он колебался в пределах 3200-3600 ккал, в России составляет 2300, в развивающихся странах с низким доходом составлял на 500-1000 ккал ниже среднемирового уровня.

В настоящее время в качестве критерия оценки состояния продовольственной безопасности принят удельный вес отечественной продукции в общем объеме предложения на внутреннем рынке. Наиболее важными критериями продовольственной безопасности в мире считаются уровень самообеспечения основными видами продовольствия и уровень их переходящих запасов, равный примерно 17 % годового потребления. Вместе с тем, Россия до сих пор не вышла на рекомендуемый уровень (таблица 1).

Следует отметить, что потребность в рациональном управлении продовольственной безопасностью обусловлена рядом объективных причин: значительное сокращение посевных площадей в сельскохозяйственном секторе экономики АПК; низкий валовой сбор урожая; низкие темпы экономического роста в животноводческом комплексе; низкая эффективность уборки урожая; диспаритет цен; рост суммарной задолженности сельскохозяйственных организаций по всем обязательствам; низкий уровень обновления техники в сельскохозяйственном секторе, неэффективная кадровая стратегия и другие.

Кадровая стратегия – это определенное руководством организации приоритетное направление действий, учитывающее ее стратегические задачи и ресурсные возможности, которые необходимы для достижения долгосрочных целей по формированию высокопрофессионального, сплоченного и ответственного коллектива.

Любое предприятие, которое ориентировано на успешное существование и развитие, в том числе и агропромышленного комплекса, планирует свою деятельность не только на ближайший период времени, но и на перспективу. Очень важную роль в этом играет кадровая стратегия организации, которая имеет долгосрочный характер (формирование системы мотивации, психологических установок, системы управления персоналом, структуры персонала требует много времени) и связь со стратегией предприятия в целом (при изменении стратегии предприятия необходимо корректировать и кадровую политику: изменить структуру и численность персонала, его квалификацию и навыки, методы и стиль управления).

Таблица 1 – Потребление основных продуктов питания по России в год

Продукты питания	Рациональные нормы потребления, кг	Потребление на душу населения, кг	Соотношение потребления к рациональной норме питания, %	Обеспечение за счет отечественного производства, %
Мясо и мясопродукты	75	61	81,30	61
Молоко и молокопродукты	305	242	79,30	78
Яйца и яйцопродукты, шт.	250	254	101,60	87
Сахар	30	39	130,00	60
Масло растительное	12	12,8	106,70	73
Картофель	100	132	132,00	85
Овощи	150	110	73,30	84
Фрукты и ягоды	70	54	77,10	40
Хлебные продукты	105	121	115,20	93

В области развития агропромышленного комплекса поставлена цель не только применения грамотной кадровой стратегии, но и: устойчивое развитие сельских территорий; создание условий для повышения конкурентоспособности продукции; воспроизводство имеющихся природных ресурсов, эффективное использование трудового потенциала.

Отсюда вытекают соответствующие задачи. Это, прежде всего, эффективное использование земли, которое предполагает внедрение интенсивных и инновационных ресурсосберегающих технологий и, самое главное, становление эффективного собственника. С этой целью разрабатываются стратегии «Социально-экономического развития муниципальных районов Воронежской области до 2020 г.», в разработке которых принимают участие студенты и ученые ВГУИТ.

Россия в 2020 г. по сравнению с текущим периодом увеличит производство пищевых продуктов в 1,6-1,7 раза при среднегодовом темпе прироста 4,3-5,5 %. Это предусмотрено проектом стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности страны на период до 2020 г. Стратегия разработана Минсельхозом РФ и стала составной частью Госпрограммы развития АПК с 2013 по 2020 гг. Вместе с тем, в этой важнейшей социально значимой отрасли имеется ряд проблем, на решение которых направлены, в том числе, усилия ППС ВГУИТ: низкий уровень использования производственных мощностей; высокий износ основных фондов в производстве пищевых продуктов составляет 36 %; низкая механизация труда на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности (40 – 60 %); несоответствие качества отечественного оборудования мировому уровню; низкое качество вырабатываемого продовольствия; резкая стратификация населения по уровню доходов; недостаточное количество квалифицированного персонала.

Важнейший фактор развития интеллектуальных ресурсов национальной экономики - технологические инновации, основными точками роста которых являются техникумы, университеты, институты, академии наук и другие исследовательские организации. Вместе с тем, создаваемые, например, в университетах технологии могут превратиться в рыночный продукт только путем передачи их в промышленность посредством процесса, получившего название трансфера технологий, а также за счет привлечения в производственный процесс высококвалифицированного персонала.

Создание новых продуктов питания, превосходящих мировые образцы, конкурентоспособных на внешнем рынке, неразрывно связано с поиском и анализом информации о существующих образцах. Один из видов научно-исследовательской деятельности - патентные исследования, которые входят в единую систему информационного обеспечения научных ис-

следований и разработок продуктов питания. Опыт зарубежных стран показывает, что ведущие фирмы на информационный поиск и анализ полученных документов затрачивают от 8 до 12 % общей суммы, выделенной на прикладные исследования. Патентные исследования - один из наиболее совершенных инструментов системного изучения технического уровня и конкурентоспособности объектов техники. Они проводятся, в частности, с целью изучения и обоснования применения новейших научно-технических достижений, а также для предотвращения неоправданного дублирования исследований и разработок и исключения нарушения, исключительных прав третьих лиц на объект интеллектуальной собственности.

Решение проблемы массового обеспечения населения толерантными к информационному восприятию организмом человека продуктами питания лежит в более глубоком изучении закономерностей информационного воздействия внешних факторов на человека. Очевидно, что питание служит мощным ресурсом для обеспечения высокого качества жизни человека и полномасштабное использование этого ресурса позволит качественно изменить эффективность многих сторон жизнедеятельности.

Научный потенциал профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений в совместной работе с представителями академических и научно-исследовательских институтов, а также работниками АПК, будет способствовать: повышению уровня экономической, продовольственной, инновационной и экологической независимости страны посредством формирования новых знаний и интеллектуального потенциала; повышению уровня федерализма и статуса России в системе международного разделения труда; формированию цивилизованного социально - ориентированного общества страны; формированию оптимальной структуры производства и развитию ассортиментной политики на предприятиях и в организациях; созданию инновационного и научно - технического потенциала, позволяющего внедрять принципиально новые технологии и виды оборудования на предприятиях различных видов; технико-технологическому и финансово-экономическому развитию регионов, комплексов, отраслей и предприятий; экономическому росту в сфере материального производства; созданию новой потребительной стоимости, удовлетворяющей потребности и предпочтения различных групп населения; повышению производительности труда, обеспечивающей прирост валового внутреннего продукта и национального дохода государства и его федеральных округов; росту объема производства национальной готовой продукции и повышению ее экспортного потенциала; повышению качества и конкурентоспособности отечественных товаров; снижению экономических, финансовых, коммерческих и других видов рисков в производственно-организационной деятельности предприятия; улучшению экологической среды обитания человека; формированию потенциала бизнес - менеджмента предприятий, обеспечивающих позитивное развитие производства, труда и управления; повышению качества и уровня жизни населения регионов и в целом государства; улучшению уровня корпоративной культуры и этики бизнеса и другим направлениям перспективного развития экономики России. При этом важным элементом является также сетевое взаимодействие вузов и отраслевых предприятий, которое должно развиваться по следующим основным направлениям: организация совместных образовательных, научно-исследовательских проектов, использование уникального оборудования, совместная научно-исследовательская работа и самое основное в данном взаимодействии – целевое обучение студентов, с целью реализации кадровой стратегии.

Подготовка конкурентоспособных, квалифицированных, востребованных специалистов, профессиональные качества и компетенции которых, соответствуют запросам современного рынка труда и требованиям кадровой стратегии, позволят в условиях глобализации экономики российским предприятиям повысить свою конкурентоспособность и эффективность функционирования. А реализация потенциала может являться инструментом решения проблем и инновационным направлением обеспечения продовольственной безопасности России.

Список использованных источников

1. Василенко, И. Н. Проблемы подготовки квалифицированных рабочих кадров [Текст] / И. Н. Василенко, С. В. Кивва, А. В. Лушников // *Материалы Международной научно-технической конференции (заочная): Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство* [Электронный ресурс]: сборник материалов, 3-4 декабря 2013 г. / Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий, ВГУИТ, 2013. – 1 CD-R. – С. 963 – 967.
2. Богомолова, И. П. Особенности дополнительного образования в свете компетентного подхода [Текст] / И. П. Богомолова, И. Н. Василенко // *X Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы практической подготовки студентов: современные подходы к решению проблемы трудоустройства»* – Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий. – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – С. 193 – 195.
3. Социально-экономическое обеспечение развития хозяйственных формирований / Н. В. Боковая, И. Н. Василенко, А. В. Богомолов: коллективная монография. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2012. – С. 103 – 118.

ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МЯСОПРОДУКТОВОГО КЛАСТЕРА КАК НАПРАВЛЕНИЕ УКРЕПЛЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Магомедов М.Д.¹, Домарев И.Е.²

¹Московский городской педагогический университет

*²Московский государственный университет экономики, статистики
и информатики (МЭСИ)*

Переход продовольственного сектора АПК на импортозамещение вызывает необходимость повышения конкурентоспособности отечественной продукции и применения адекватных методов защиты интересов российских предприятий, в том числе мясной промышленности. Зарубежный и отечественный опыт хозяйствования свидетельствует, что одной из эффективных мер является объединение усилий товаропроизводителей. Это стало предпосылкой внутри- и межотраслевой интеграции предприятий разных сфер экономики путем создания горизонтально и вертикально интегрированных комплексов и других объединений, включая кластеры, в состав которых входят предприятия разного профиля деятельности. Однако ученые и специалисты отмечают, что успешному функционированию и развитию данных формирований препятствует отсутствие механизмов, позволяющих эффективно управлять такого рода объединениями и совместно решать текущие и стратегические задачи. В этой связи требуется методический подход, позволяющий координировать деятельность разных по отраслевому профилю предприятий и обеспечивать более тесные взаимоотношения хозяйствующих субъектов в составе кластера.

Исследование современного состояния мясной промышленности и ряда других сфер экономики показало, что среди разных типов кластеров приоритетной формой является межотраслевая кластеризация, в которой приоритетным является развитие предприятий отраслей, сопряженных общностью технологического цикла.

Формирование кластеров на базе предприятий мясной промышленности и связанных отраслей объективно обусловлено их технико-экономическим состоянием. Мясная промышленность России не только обеспечивает население основными продовольственными товарами, но и во многом определяет условия функционирования и развития, связанных с ней организаций сельского хозяйства, комбикормовой, консервной, пищевкусовой и других сфер экономики. В состав мясной промышленности России входит около 500 мясокомбинатами (20% из которых в настоящее время не работают), а также несколько тысяч цехов, предприятий общепита, осуществляющих переработку мяса. Результаты их деятельности неоднозначны. С одной стороны, в отрасли за период 2000-2012 гг. отмечается рост объемов производства основных видов продукции. Так, производство мяса и мясопродуктов I категории, а также колбасных изделий увеличилось почти в 2,5 раза, а по мясным полуфабрикатам (без продукции предприятий общественного питания) - более чем в 5,5 раз. С другой стороны в сравнении с 1990 г. рост объемов производства составил по колбасным изделиям 7%, по мясным полуфабрикатам - 29,%, а по производству мяса, включая субпродукты I категории, - в 2,3 раза меньше.

Отечественный рынок мясной продукции в натуральном выражении в среднем увеличивается на 4-5% в год. Недостающая доля восполнялась за счет импорта, составляющего 30% емкости национального рынка. Общее потребление мяса в расчете на одного жителя России (при норме, рекомендованной учеными РАМН – 80 кг), составляет около 62 кг, в том числе продуктов мясной гастрономии (включая различные виды колбас, сосисок, сарделек, мясных деликатесов) - около 13-15 кг/год.

Исследование позволило определить факторы, способствующие консолидации российских предприятий мясной промышленности, среди которых: дефицит мясного сырья, недостаток финансовых средств для его закупки, низкий уровень использования производственных мощностей (на некоторых предприятиях до 30 %), высокие тарифы на энергоресурсы,

а также сильный износ оборудования (на ряде мясокомбинатов свыше 50 %). Только 35% предприятий имеют отвечающие санитарным требованиям очистные сооружения. Доля технологического оборудования эксплуатируемого свыше 10 лет превышает 60%, а более 20 лет – 10 %, Общий уровень механизации составляет 40 %, а автоматизации производства не достигает 10%. Как следствие - расход сельскохозяйственного сырья на 1 т готовой продукции на 20-30 % выше, чем в развитых странах.

В этих условиях главной задачей данной отрасли является не только насыщение российского рынка собственной мясной продукцией, но и создание условий для выхода на внешние рынки. Решению данной проблемы может способствовать межотраслевая кластеризация.

Межотраслевой кластер представляет собой интегрированную и диверсифицированную структуру, сформированную по инициативе самостоятельных предприятий - представителей разных отраслей экономики на конкретной территории, с целью наиболее полной реализации объединенного потенциала; осуществления общей конкурентной политики, инновационной программы развития, снижения затрат, укрепления экономических взаимосвязей; ведения (на основе кооперации и специализации труда) прибыльной хозяйственной деятельности всеми субъектами и кластером в целом; выхода на траекторию устойчивого развития. Данный тип кластеризации способствует повышению научно-технического потенциала предприятий, улучшению качества продукции, снижению издержек, росту квалификационного уровня персонала, доступности инвестиций, внедрению инновационных проектов и обеспечению продовольственной безопасности. Отличие межотраслевых кластеров от других типов кластерных формирований состоит в ряде универсальных и специализированных признаков, к которым относятся: диверсифицированный характер, возможность расширения границ деятельности за пределы региона или страны и т.д.

Опираясь на позицию ряда ученых, выделен ряд преимуществ кластера, которые можно разграничить на две группы: внешние и внутренние [1].

К группе внешних преимуществ относятся: наиболее полное удовлетворение потребностей в товарах и услугах; укрепление и/или расширение доли рынка; повышение доступности инвестиций и инновационной активности; создание дополнительных рабочих мест, снижение вероятности негативного проявления рисков и т.д.

В состав внутренних преимуществ кластера входят те, которые способны оказывать влияние на развитие отдельного предприятия и кластерного объединения в целом. К ним относятся: повышение производительности и уровня использования производственных мощностей; более свободный доступ к источникам сырья, инвестициям, квалифицированной рабочей силе, информации; проведение на более высоком уровне научных исследований и внедрение инноваций; эффективное выполнение маркетинговой, логистической и других функций; снижение затрат, а также цен на ресурсы и готовую продукцию; улучшение результатов хозяйственной деятельности предприятий кластера и интегрированной компании в целом и т.д.

К недостаткам кластеризации можно отнести: вероятность ухудшения показателей деятельности отдельных предприятий кластера (выручки, рентабельности и др.) из-за неравномерного развития компаний разных отраслей кластерного объединения; несоответствие качества сырья потребностям промышленного производства, что потребует крупных инвестиций для улучшения качественных характеристик сырьевых ресурсов; географическую отдаленность ряда организаций - потенциальных участников кластера (НИИ, вузы и др.) от базисного предприятия; возможность более выгодных предложений со стороны других представителей рынка; отсутствие методических рекомендаций по формированию механизма, способствующего эффективному функционированию и развитию мясопродуктовых кластеров.

Кластеру, сформированному на базе мясной промышленности целесообразно включать представителей следующих ключевых отраслей: мясоперерабатывающие предприятия; сельскохозяйственные организации – производители мясного сырья; а также зерна и другой про-

дукции растениеводства; пищевкусные предприятия; комбикормовые заводы; элеваторы, хлебоприемные предприятия; зерноперерабатывающие предприятия (мукомольные, крупяные); организации пищевого и сельскохозяйственного машиностроения; компании, специализирующиеся на тароупаковочном производстве; финансово-кредитные учреждения; организации по стандартизации и сертификации сырья и готовой продукции; научно исследовательские институты; высшие учебные заведения и др.

Одной из проблем, препятствующих развитию кластерных объединений, является недостаточно сбалансированность деятельности предприятий – участников кластера. В этой связи необходим механизм управления, способствующий укреплению взаимоотношений и взаимодействия хозяйствующих субъектов в составе межотраслевого кластера,

Под таким механизмом следует понимать – совокупность целей, принципов, функций, методов и инструментов (аккумуляированных в соответствующих управленческих воздействиях), определяющих характер экономических отношений и результаты, достигнутые в процессе хозяйственной деятельности и развития субъектов кластера и объединения в целом в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Механизм управления кластером должен обеспечивать: императив приоритетов целей развития кластера в целом; паритетность (достижение баланса) интересов всех участников объединения; соблюдение стандартов качества продукции во всех звеньях технологической цепочки кластерной структуры; охват всего процесса преобразования ресурсов в конечную продукцию; синхронность взаимодействия субъектов объединения; учет профиля деятельности (специализации) предприятий кластера; мониторинг и анализ деятельности кластера и предприятий в его составе (для выявления отклонений) и принятия адекватных решений; адекватность планов и прогнозов динамике рынка; контроль основных материально-вещественных и финансовых потоков; нивелирование негативного воздействия внешних и внутренних факторов на финансово-экономические показатели; взаимоприемлемые (сбалансированные) цены для всех участников технологической цепочки кластера, а также для потребителей его продукции; своевременное разрешение возникающих противоречий; транспарентность деятельности; освоение инновационных технологий.

Исследование показало, что для эффективного развития кластеров мясной промышленности необходимы следующие условия: государственная и региональная поддержка деятельности по загрузке мощностей мясоперерабатывающих производств; улучшение качества сырья и продукции; снижение затрат, тарифов, цен, транспортных издержек; совершенствование системы сбыта; уменьшение числа посредников для реализации продукции по более низким ценам и т.д. [2].

Реализация данных условий на практике позволит предприятиям мясной промышленности и сельского хозяйства в составе кластера укрепить межхозяйственные отношения, повысить заинтересованность в увеличении объемов производства высококачественной и доступной по цене продукции.

Интеграция различных отраслей промышленности в рамках одного мясоперерабатывающего кластера позволит достичь следующих позитивных результатов: обеспечить защиту от внешней продовольственной агрессии; укрепить взаимоотношения между субъектами разных отраслей экономики; ускорить продвижение продукции к потребителю; улучшить материально-техническую базу; снизить цены на мясную продукцию; создать новые рабочие места; повысить уровень жизни населения и т.д.

Для расширения масштабов внутреннего производства, повышения конкурентоспособности продукции и укрепления продовольственной безопасности необходимо решить задачи в следующих областях: разработка механизмов взаимодействия участников кластера; развитие сырьевой базы на основе современных технологий; гармонизация российских технических регламентов и стандартов с международными; внедрение инновационных высокотехнологичных производств; улучшение подготовки кадров; создание брендов продукции и предприятий кластера; совершенствование нормативно-правовой базы и механизмов государственного регулирования.

Процессы создания и развития кластеров могут отличаться в зависимости от числа участников, поставленных целей, взаимоотношений между его участниками, механизма управления. Проведенное исследование позволило разработать методику межотраслевой кластеризации, предусматривающую следующий алгоритм действий [3]:

1. Установление основных организационных принципов кластеризации.
2. Определение участников кластера. Важным условием эффективной кластеризации является интегрирование всей производственно-технологической цепочки в рамках одного объединения.
3. Формирование координационного центра кластера.
4. Разработка механизма управления и коммуникаций. Межотраслевым кластерам необходима коммуникационная платформа, обеспечивающая обмен информацией, включая ее систематизацию и передачу участникам кластера.

Результаты прохождения каждого этапа определяются следующими особенностями: цели кластера, размер кластера (число участников), условия функционирования (состав команды менеджмента) объем финансовых ресурсов и т.д.

Использование предложенных методических рекомендаций при соответствующей государственной поддержке позволит мясопродуктовым кластерам создать предпосылки для перехода на более высокий уровень экономического развития. Таким образом, реализация на практике кластерного позволит значительно улучшить экономические результаты и построить более сбалансированные и эффективные взаимоотношения между разными секторами экономики и обеспечить продовольственную безопасность.

Список использованных источников

1. Руководство по формированию кластеров – основные направления формирования и управления кластерными инициативами //Внутриевропейская связь кластеров. Перевод МИГСУ РАГС при Президенте РФ.
2. Магомедов М.Д., Домарев И.Е. Повышение эффективности деятельности предприятий мясной промышленности на основе кластеризации. //Вестник МГАДА, 2012, № 6.
3. Магомедов М.Д., Домарев И.Е. Методический подход к управлению субъектами мясоперерабатывающего кластера путем создания координационного центра.//Вестник МГАДА, 2013, № 5.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП НАПРЯЖЕНИЕМ 110–220 кВ

*Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Климкович П.И.
Белорусский национальный технический университет*

Согласно правилам устройства электроустановок проверка электродинамической стойкости проводов ВЛ необходима, если действующее значение периодического тока короткого замыкания (КЗ) превышает 20 кА. По данным РУП «Белэнергосетьпроект» токи КЗ на 110 и 330 кВ достигают в Беларуси 35–40 кА. Ожидается их заметный рост в связи со строительством Белорусской АЭС.

В электрических сетях 110–220 кВ Московского региона, благодаря стационарному делению сети, токи КЗ находятся на уровне 30–40 кА, а не 130–140 кА при номинальном напряжении 110 кВ и 70–80 кА при 220 кВ, при отсутствии деления сети.

В докладе для решения актуальной задачи исследований электродинамической стойкости проводов ВЛ, расположенных по вершинам произвольного треугольника, в пролетах большой длины принята расчетная модель провода в виде гибкой растяжимой по закону Гука нити.

Вычисление электродинамических усилий производится по закону Био-Савара-Лапласа в векторно-параметрическом виде. Поставлена краевая задача динамики проводов с начальными и краевыми условиями. Выполнена оценка достоверности расчетов по разработанной компьютерной программе LINEDYS+ с использованием опытных данных Electricite de France.

Получено приближенное условие электродинамической стойкости проводов ВЛ по допустимой длине пролета. Выполнен компьютерный анализ параметров и определены токи электродинамической стойкости ВЛ 110 и 220 кВ для типовых конструкций опор по условиям допустимых сближений и тяжений проводов. Установлены длины пролетов ВЛ, начиная с которых ток электродинамической стойкости ограничивается по условию допустимых тяжений. При меньших длинах – по условию допустимого сближения. Их величины при номинальном напряжении 110 кВ лежат в диапазоне от 20 до 35 кА в зависимости от марки провода и его веса. Для пролетов ВЛ 220 кВ длиной от 100 до 400 м токи электродинамической стойкости по условию сближения достигают 50 кА, а по критерию допустимого тяжения не превышают 20 кА.

Таким образом, при проектировании новых и реконструкции действующих ВЛ 110–220 кВ необходимо выполнять проверку электродинамической стойкости. Для этих целей рекомендуется использование компьютерной программы LINEDYS+, разработанной в БНТУ.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Калентионок Е.В., Мазурек Ю.А.

Белорусский национальный технический университет

Smart Grid – это интеграция технологий электроэнергетики, электроники, телекоммуникаций, сенсоров, программного обеспечения и математики.

Интеллектуальная распределительная электрическая сеть (или сеть Smart Grid) – это комплексная электроэнергетическая система, которая обеспечивает распределение электрической энергии между пунктами потребления и системный контроль параметров электрической сети.

Распределительная электрическая сеть Smart Grid включает в себя:

- линии электропередачи разных классов номинального напряжения;
- пункты секционирования (Sectionalizers);
- коммутационные аппараты (Switches);
- информационно-измерительную систему мониторинга, диагностики и управления электрической сетью (Operations);
- распределенные источники электрической энергии (Distributed Generation);
- распределенные накопители электрической энергии (Distributed Storage);
- конечных потребителей электрической энергии (Customers).

Отличительной особенностью сети Smart Grid является усиление интеграции всех субъектов электроэнергетики и потребителей на базе двустороннего коммуникационного обмена.

В части исполнения линий электропередачи сеть Smart Grid подразумевает сложную разветвленную сеть. Принцип традиционного радиального построения распределительной электрической сети заменяется сложной неструктурированной сетью с наличием пунктов секционирования, малых генераций, накопителей энергии.

Пункты секционирования (Sectionalizers), помимо автоматического секционирования линий электропередачи, обеспечивают реализацию функций релейной защиты и автоматики, учета электроэнергии, телемеханики и др.

Коммутационные аппараты в сети Smart Grid имеют свои особенности. Прежде всего, необходимо отметить интеграцию функций других устройств в интеллектуальных коммутационных аппаратах.

Информационно-измерительная система мониторинга, диагностики и управления электрической сетью Smart Grid (Operations) строится на основе информации, поступающей от самой сети.

Информация поступает от интеллектуальных электронных устройств (intelligent electronic device – IED), которые включают в себя первичные преобразователи и устройства обработки и передачи данных. Современные IED позволяют получать формы кривых тока и напряжения, их симметричные составляющие, мощность, частоту, а также накапливать измеренную информацию, реализовывать запрограммированный алгоритм действий и передавать данные на пункты и центры сбора и обработки данных.

В настоящее время для сети Smart Grid производители предлагают новые «интеллектуальные датчики» (Smart Sensors), которые могут работать автономно с собственным коммуникационным интерфейсом или в комбинации с IED.

Для обеспечения информационного обмена данными в Smart Grid предусмотрено использование цифровых коммуникационных сетей и интерфейсов обмена данными. Связь может осуществляться по различным каналам: по высоковольтным проводам линий

электропередачи (PLC-связь от англ. Power Line Communication), низковольтным проводам, оптическим кабелям и т.д. Для обмена информацией устройств подстанций сети Smart Grid разработан стандарт МЭК 61850. Требования по синхронизации поступающих данных во времени реализуются двумя методами – с помощью GPS сигналов или компьютерной сети.

Современные системы учета электроэнергии наиболее приближены к требованиям сети Smart Grid: многотарифные микропроцессорные счетчики электроэнергии не только выполняют измерения, но и способны выполнять необходимые расчеты, связываться с другими аналогичными счетчиками, передавать информацию по каналам связи.

Распределенные источники (Distributed Generation) и накопители (Distributed Storage) электрической энергии являются обязательным атрибутом сети Smart Grid. Особенностью данных элементов сети является их небольшая мощность и нестабильность работы. Поэтому для синхронизации с сетью рассматриваемых элементов требуются интеллектуальные управляющие устройства.

Конечные потребители электрической энергии (Customers) в сети Smart Grid оснащаются упрощенными многотарифными микропроцессорными счетчиками электроэнергии.

СТРУЙНЫЙ РАСХОДОМЕР-СЧЕТЧИК

Зюбин И. А.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Перспективной с точки зрения надежности и безопасности эксплуатации при контроле потоков агрессивных, пожаро- и взрывоопасных веществ, а также жидкостей, содержащих абразивные включения являются струйные расходомеры и счетчики, действие которых основано на периодическом присоединении струи вязкой жидкости к твердой стенке [1], [2].

Одновременно с преимуществами, струйным расходомерам свойственны и недостатки класса гидродинамических расходомеров – чувствительность рабочей характеристики к изменению физических свойств измеряемой среды, что приводит к возникновению дополнительной погрешности. На практике наиболее распространенной причиной возникновения дополнительной погрешности является изменение температуры измеряемой среды в процессе измерения [2].

Количественным выражением качественного понятия «точность расходомера» является инструментальная погрешность расходомера. Инструментальная погрешность определяется нормируемыми метрологическими характеристиками расходомера, а именно, основной и дополнительной погрешностями. Основная погрешность имеет место в нормальных условиях эксплуатации средства измерения. Дополнительная погрешность возникает при изменении некоторых величин, называемых влияющими [3].

Современный уровень микропроцессорной техники позволяет измерять частотный сигнал, поступающий от датчика колебаний струи с пренебрежимо малой погрешностью по сравнению с общей погрешностью расходомера, таким образом, наиболее важной частью прибора с точки зрения его точности, является первичный преобразователь, в котором происходит преобразование расхода измеряемой среды в частоту колебаний струи жидкости. Частотно-модулированный сигнал формируется первичным преобразователем в виде импульсов давления сложной формы. Идеализированно, в зависимости от конструкции первичного преобразователя, можно представить генерируемый сигнал в виде прямоугольных или синусоидальных импульсов давления, частота следования которых пропорциональна измеряемому расходу, а амплитуда – динамическому давлению струи жидкости на датчик положения струи.

Для формирования взаимосвязи дополнительной погрешности струйного расходомера и температуры измеряемой среды применен традиционный метод – сравнивались безразмерные характеристики измеряемого потока жидкости [4]. В частности расходомер-счетчик, преобразователь которого показан на рис.1, был поочередно испытан на воде и керосине при стабилизированной температуре с известными величинами плотности и вязкости.

Первым из критериев подобия течения в первичном преобразователе струйного расходомера является число Рейнольдса (Re). Вторым критерием подобия является число Струхала (Sh).

Обозначим как $f_0(Q)$ рабочую характеристику струйного первичного преобразователя – зависимость частоты следования импульсов от величины проходящего расхода. Величина $f(Q)^{-1}$ представляет собой суммарное время, протекающее от одного момента одного переключения струи и прохождения сигнала по линии положительной обратной связи (ЛПОС) до другого.

В первичном преобразователе струйного расходомера для удобства представления геометрического подобия топологии первичных преобразователей в качестве линейного масштаба используется ширина сопла.



Рис.1. - Внешний вид первичного преобразователя струйного расходомера (рабочая среда – жидкая пропанобутановая смесь, расход до 70 л/мин, давление 15 атм.)

Назначенные критерии подобия позволяют для любой неизменной геометрии первичного преобразователя по известной рабочей характеристике, в частности, экспериментально полученной для нормальных условий, построить безразмерную рабочую характеристику вида $Sh(Re)$. Безразмерная рабочая характеристика позволяет решить обратную задачу – определить геометрию рабочей части первичного преобразователя при заданных нормальных условиях эксплуатации: типе жидкости (плотности и вязкости), величине расхода и заданной точности. На рис. 2 показана безразмерная характеристика испытанной проточной части. Совпадение результатов эксперимента на воде и керосине соответствовало точности экспериментальной установки.

Из анализа критериев подобия следует, что единственным фактором, определяющим влияние физических свойств измеряемой среды на размерную рабочую характеристику, является кинематическая вязкость. Плотность измеряемой среды не оказывает влияния на дополнительную погрешность струйного расходомера или счетчика. Однако, следует отметить, что плотность оказывает влияние на динамическое давление среды, которое фиксируется датчиком положения струи и влияет на диапазон измерения прибора, а именно на нижнюю границу диапазона измерения.

Инструментальной абсолютной погрешностью Δ струйного расходомера в режиме счетчика накопленного объема является объем жидкости или газа, который проходит через первичный преобразователь за время одного импульса.

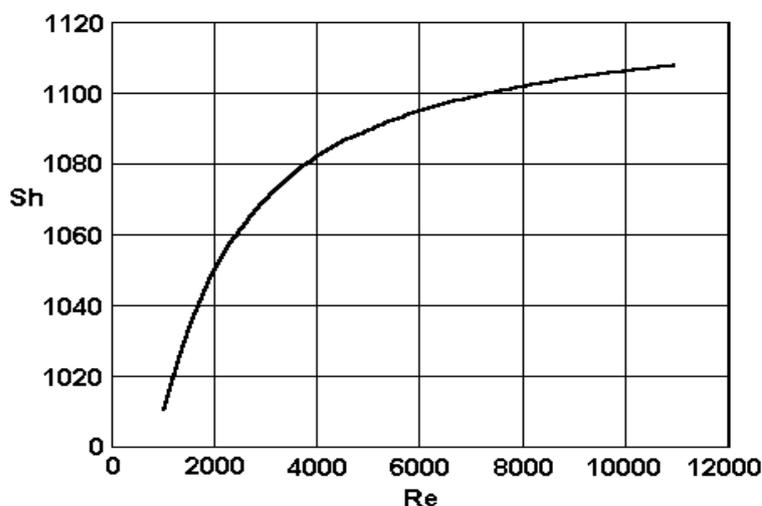


Рис. 2. - Безразмерная характеристика первичного преобразователя

Безразмерная характеристика позволяет определить рабочую характеристику проектируемого прибора на заданные размеры проточной части или и с учетом свойств реальной рабочей жидкости в нормальных условиях.

Рабочую характеристику струйного первичного преобразователя, полученную для условий отличных от нормальных обозначим как $f_T(Q)$. Для нормальных условий инструментальная погрешность равна основной погрешности. При нарушении нормальных условий, в частности при выходе температуры измеряемой среды за нормированный диапазон, инструментальная погрешность представляет собой сумму основной и дополнительной погрешностей. Очевидно, что дополнительная погрешность Δ_T за один импульс вычисляется как разность:

$$\Delta_T = Q f_0(Q)^{-1} - Q f_T(Q)^{-1} = Q [f_0(Q)^{-1} - f_T(Q)^{-1}].$$

Знание характера изменения разности $[f_0(Q)^{-1} - f_T(Q)^{-1}]$ от температуры позволяет ввести в блок преобразования сигнала функцию, корректирующую вид рабочей характеристики. Коррекция рабочей характеристики по температуре позволяет значительно снизить величину дополнительной погрешности расходомера на всем диапазоне возможных температур эксплуатации. При этом проявляется целый ряд негативных с точки зрения конкурентоспособности прибора факторов: происходит незначительное, но удорожание конструкции прибора, усложняется калибровка и поверка, несколько снижается надежность.

Предварительный анализ расчетных моделей процесса переключения струи показал, что при снижении вязкости потока фокус струи смещается выше по течению, что говорит о снижении эжекционной способности струи. Это приводит к падению перепада давления на линии обратной связи, с одной стороны и смещает точку присоединения струи к стенке ниже по течению с другой. Таким образом, наблюдаются два взаимно уничтожающих фактора – снижение уровня энергии в линии обратной связи и снижение энергии, потребной для переключения струи. В этом случае решающим фактором становится поведение потока в ЛПОС.

Предварительные исследования показали возможность существования такого взаимодействия струи и сигнала обратной связи, при котором влияние вязкости потока на частоту колебаний струи в достаточно широком диапазоне чисел Рейнольдца будет минимальным или вообще отсутствовать.

Второй особенностью струйных расходомеров является то, что возможно получения данных не только об объемном расходе, но и данные о плотности жидкости и подобные устройства позволяют проводить контроль массового расхода жидкости. Для реализации указанной функции необходимо измерить импульс струи.

При малых расходах импульс струи достаточно слабый, поэтому к усилительно-детекторному узлу, предъявляются особые требования с точки зрения надежности детектирования. Задача определения плотности перекачиваемой среды обусловила качественный пересмотр схемотехнического решения усилительно-детекторного узла, в качестве которого применен синхронный детектор, чем и обеспечен требуемый уровень надежности показаний прибора.

Список использованных источников

1. Рехтен А.В. «Струйная техника. Основы, элементы, схемы», М:Машиностроение, 1980
2. Касимов А.М., Климов А.Н. «Опыт разработки струйных расходомеров», Институт проблем управления и автоматики. Всероссийское совещание, Москва, 1998 г.
3. Куликовский К.Л., Купер В.Я. «Методы и средства измерений», М:Энергоатомиздат, 1986 г.
4. Шенк Х. «Теория инженерного эксперимента», под ред. Бусленко Н.П., М:МИР 1972 г.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОГРАНИЧНЫХ СЛОЕВ ЖИДКОСТИ ОКОЛО НАГРЕТЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКТОГРАФИИ

Ведяшкина А.В., Павлов И.Н., Сапронов М.В., Толкачев А.В.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Аннотация. Приведено описание двухцветной лазерной измерительной системы и методики проведения экспериментальных исследований физических процессов в прозрачных жидкостях с помощью метода лазерной рефрактографии и метода рассеяния плоского лазерного пучка на мелких частицах. Показаны примеры визуализации градиентов температуры и определения параметров тонких пограничных слоев жидкости около нагретых тел различной конфигурации. Описана методика проведения эксперимента и приведены результаты визуализации вихревых течений около нагревательного элемента, помещенного в воду.

Ключевые слова: лазерная рефрактография, лазерная визуализация потоков, теплообмен в жидкости, пограничные слои, двухцветная лазерная измерительная система.

Пограничные слои играют большую роль в работе всех тепловых приборов нагрева и охлаждения жидкости, определяя эффективность их работы и КПД. Исследования этих тонких слоев контактными методами существенно затруднены их малой толщиной. Численные методы расчета процессов требуют значительных затрат времени и вычислительных ресурсов из-за трехмерности задачи и нестационарности процесса. Поэтому существует необходимость создания новых методов исследования тепловых процессов. Одним из таких методов является метод лазерной рефрактографии [1,2].

Все тепловые потоки жидкости являются оптически неоднородными средами, в которых при распространении лазерного пучка наблюдается его рефракция, которая изменяет направление его распространения, поэтому возникает возможность разработки новых лазерных измерительных систем.

Метод лазерной рефрактографии основан на зондировании среды структурированным лазерным излучением (СЛИ), цифровой регистрации рефракционной картины (рефрактограммы) и ее компьютерной обработке с целью восстановления параметров среды. Использование современных цифровых методов регистрации и обработки рефрактограмм позволяет решать обратную задачу восстановления профиля температуры и проводить количественную диагностику неоднородной среды одновременно с ее визуализацией.

На рис. 1 показана структурная схема лазерной рефрактографической системы [2]. Излучение лазера 1 преобразуется оптической системой 2 в структурированное лазерное излучение 3, которое проходя через оптически неоднородную среду 4, содержащую нагретые или охлажденные тела в жидкости образует 2D-рефрактограмму на полупрозрачном экране 5. Далее изображение 2D-рефрактограммы регистрируется цифровой фотокамерой 6, передается в компьютер 7 и обрабатывается с помощью специального программного обеспечения. В нижнем ряду показаны этапы формирования рефрактограммы из узкого пучка и график определенной зависимости температуры в пограничном слое, по которому восстанавливаются температурные характеристики пограничного слоя.

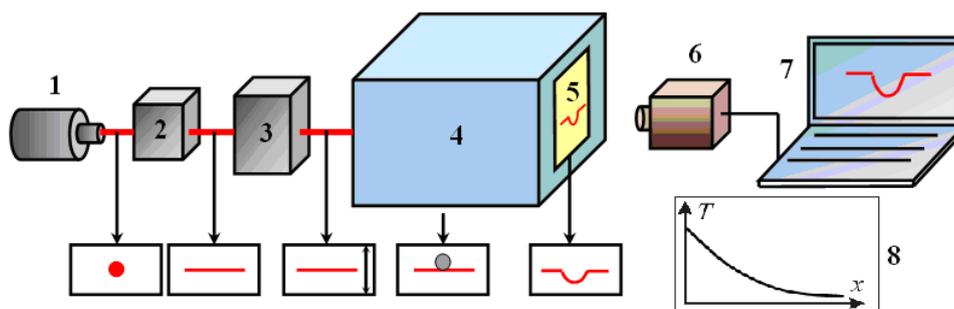


Рисунок 1 – Структурная схема лазерной рефрактографической системы: 1 – лазер, 2 – оптический блок, 3 – блок сканирования пучка, 4 – исследуемая среда, 5– диффузный экран, 6 – цифровая фотокамера, 7 – ПК, 8 – график температуры

Особенности исследования пограничных слоев жидкости рефракто-графическим методом рассматривались в работах [3-5]. В качестве примера в таблице 1 приведены типичные рефрактограммы, характеризующие пограничные слои жидкости около нагретых тел [4].

Таблица 1 – Рефрактограммы плоского лазерного пучка, прошедшего около нагретых тел

Объекты и условия освещения	Форма и направление зондирования объекта	Рефрактограммы
Цилиндр – ПЛП проходит под основанием сплошного цилиндра		
Толстостенный цилиндр – ПЛП проходит под основанием цилиндра		
Шар – ПЛП проходит под нижней точкой нагретого шара		

На основе метода лазерной рефрактографии рассеяния лазерного излучения на мелких частицах на кафедре физики им. В.А. Фабриканта НИУ "МЭИ" разработана двухцветная лазерная система, предназначенная для измерения распределения температуры около нагретых тел в жидкости и визуализации течений по рассеянному излучению [6]. Схема разработанной двухцветной лазерной системы приведено на рис. 2(a,b). В системе одновременно используются эффекты рассеяния лазерного излучения на мелких частицах и его рефракция из-за градиента показателя преломления среды. Система предназначена для исследования динамических тепловых процессов в прозрачных жидкостях, а также для визуализации пограничных слоев около нагретых тел.

В системе применяются два лазера, работающие в различных спектральных диапазонах и в различных режимах. Рефрактографический канал (рис.2a) состоит из лазера с блоком формирования структурированного лазерного излучения 1, исследуемой кюветы с жидкостью 2, в которую погружаются нагретые или охлажденные тела 3, полупрозрачного экрана 5. Рефрактограммы регистрируются с помощью цифровой фотокамеры 6. Указанные элементы установлены на основании 7. Координатник 4 позволяет перемещать исследуемые тела в трех направлениях.

Второй канал предназначен для регистрации рассеянного частицами излучения. Он состоит из лазера 9 с блоком формирования структурированного лазерного излучения в виде плоского лазерного пучка, распространяющегося параллельно фронтальной стенке кюветы 2. Рассеянное на частицах излучение регистрируется цифровой камерой 10. Рефрактограммы с камер 6 и 10 обрабатываются с помощью специального программного обеспечения на компьютере 8. При использовании импульсного лазера и соответствующего программного обеспечения возможно получить распределение скоростей частиц в потоке.

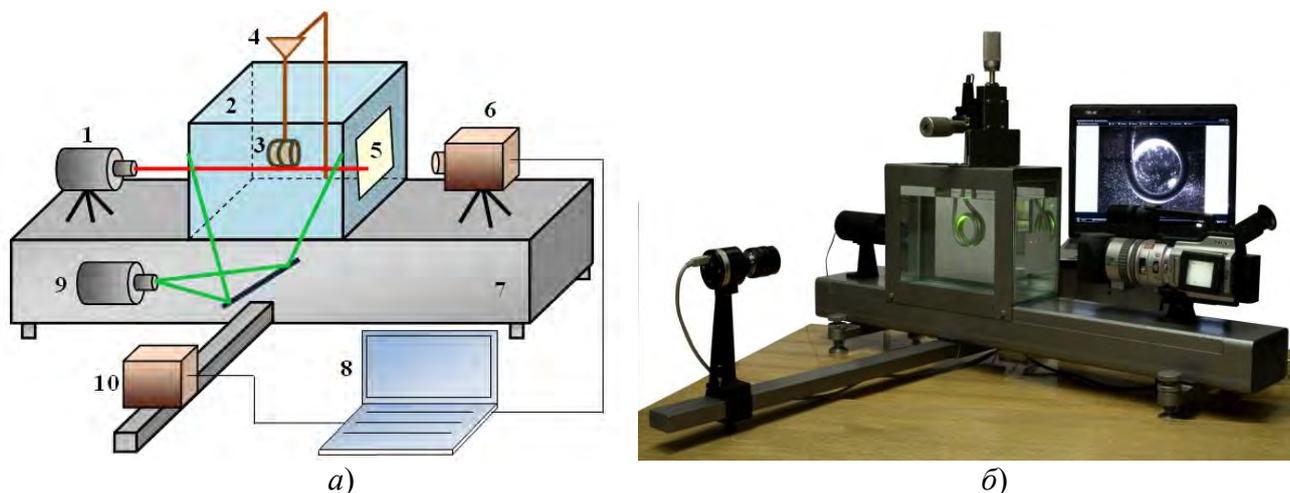


Рисунок 2 – Двухцветная рефрактографическая установка: а) схема: 1, 9 – лазеры, 2 – кювета с водой, 3 – нагретое или охлажденное тело, 4 – координатник, 5 – диффузный экран, 6, 10 – цифровые фотокамеры, 7 – основание системы, 8 – ПК, б) фотография системы

При использовании лазера непрерывного действия и скоростной видеокамеры измерительная система позволяет получить картину тепловых потоков, по которой рассчитываются такие характеристики процесса нагрева или охлаждения как: поле скоростей около исследуемого объекта (скорость движения частиц в среде); поля градиентов температур в различных слоях и зонах жидкости; характер (ламинарный или турбулентный) движения слоев жидкости в различных фазах нагрева или охлаждения жидкости; поле градиента температуры среды; время нагрева или остывания; степень однородности нагрева или остывания жидкой среды.

Полученные на установке рефракционные картины позволяют оценить геометрические размеры характерных зон около исследуемого объекта, например, толщину пограничных слоёв или выявить зоны с нестационарными течениями.

В качестве нагретого тела для исследования тепловых полей и вызванных ими конвекционных течений рассмотрен трубчатый спиральный нагревательный элемент, помещенный в холодную воду [6].

На рис. 3а показаны конвекционные потоки внутри витка через 9 секунд после включения нагревательного элемента. Рис. 3б демонстрирует изображения, полученные в рефрактографическом канале измерительной установки при прохождении лазерного пучка под тем же нагревательным элементом, находящемся в холодной воде.

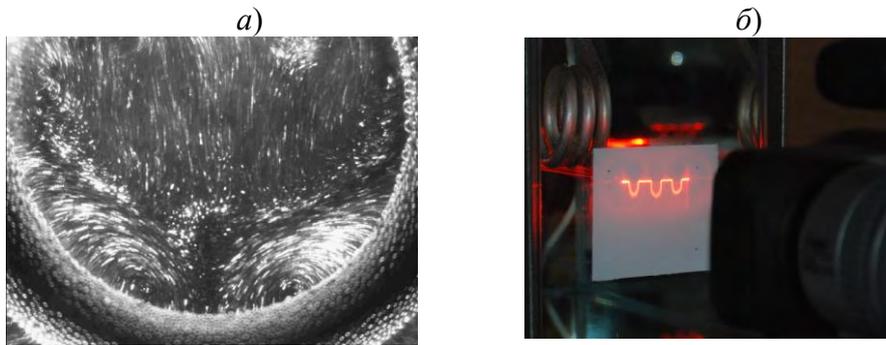


Рисунок 3 – Визуализация тепловых процессов в нагревательном элементе:

а) визуализация потоков по рассеянному излучению, б) рефрактограмма прошедшего плоского пучка снизу нагревательного элемента

Приведенные материалы наглядно иллюстрируют сложную структуру тепловых полей под витками трубчатого нагревательного элемента, а также возникающих в исследуемой зоне течений жидкости.

Заключение. Создана экспериментальная установка для одновременной регистрации тепловых полей около нагревательного элемента и визуализации потоков жидкости вокруг него с помощью рассеянного лазерного излучения. Метод лазерной рефрактографии позволяет исследовать тонкие температурные слои в жидкости около нагретых твердых тел. Разработано программное обеспечение, позволяющее восстанавливать градиент температуры около нагретых тел в жидкости.

Разработанная измерительная система может быть использована для научных теплофизических исследований, таких как изучение тонких пограничных слоев жидкости около нагретых тел, визуализации сложных потоков жидкости в тепловых и химических установках. Особенно это важно для проверки различных гипотез, используемых в компьютерных методах расчета пограничных слоев жидкости.

В учебных целях на базе данной установки может быть поставлен целый ряд лабораторных работ для студентов теплофизических специальностей по визуализации и изучению закономерностей теплопередачи от нагретых металлических тел разнообразной формы к различным жидкостям, перемешивания различных жидкостей в разнообразных условиях.

Список использованных источников

1. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Лазерная рефрактография // Под. ред. Б.С. Ринкевичюса. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. С. 176.
2. Евтихиева О.А., Расковская И.Л., Ринкевичюс Б.С. Основы лазерной рефрактографии. Учебное пособие под ред. Б.С. Ринкевичюса. – М.: Изд. МЭИ, 2012. С. 84.
3. Лапицкий КМ, Расковская ИЛ, Ринкевичюс БС. Моделирование влияния краевых эффектов при рефракции лазерного излучения в температурной неоднородности. // Измерительная техника. 2008, №7. С.28-33.
4. Расковская И.Л., Б.С. Ринкевичюс, А.В. Толкачев // Диагностика конвективных процессов в пограничном слое жидкости методом лазерной рефрактографии. // Инженерно-физический журнал. Т.83, № 6, 2010. С.1149-1156.
5. Vedyashkina A.V. Computer modeling of optical rays' refraction in inhomogeneous mediums. // Journal of Beijing Institute of Technology. 2013, Vol.22, Suppl.1, Pp.39-41.
6. Ринкевичюс Б.С., Есин М.В., Расковская И.Л., Толкачев А.В. Лазерная рефрактометрическая система для визуализации физических процессов в жидкости. Патент № 105433 от 10.06.2011. БИ-10-2011. МПК- 601F 1/00.

ПОВЫШЕНИЕ КВАЛИФИКАЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АСУ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ И В ОБЛАСТИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ПОДСТАНЦИЙ

Антонов А.А., Чо Г.Ч.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Актуальность

В настоящее время, на объектах электроэнергетики, наблюдается интенсивное внедрение современного оборудования, выполненного в соответствии с международными стандартами, разработанными IEC, IEEE. Это и кабели 6 – 35 кВ однофазного исполнения с изоляцией из сшитого полиэтилена, быстродействующие токоограничивающие автоматические выключатели, микропроцессорные терминалы релейной защиты и автоматики, автоматизированные системы управления электротехническим оборудованием электроустановки (АСУ ЭТО). Происходит усовершенствование методик расчета коротких замыканий и оценки термического воздействия на оборудование в процессе эксплуатации. Кафедра «Электрические станции» НИУ «МЭИ» является автором всех действующих нормативных методик расчета коротких замыканий. Краткосрочные программы повышения квалификации в этих областях представляются эффективным способом поддержания высокого профессионального уровня специалистов проектных и эксплуатирующих организаций.

Введение

В НИУ «МЭИ» на базе кафедры «Электрические станции» проводятся на постоянной основе курсы повышения квалификации по двум программам:

- автоматизированные системы управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО);
- расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования для электростанций и подстанций.

Методические материалы и компетенции преподавателей непрерывно совершенствуются, [1], в том числе, по результатам научно-исследовательских работ, выполняемых в МЭИ. Большое внимание уделяется практическим навыкам расчета и выбора оборудования, построения автоматизированных систем управления. По результатам обучения проводится контроль приобретенных знаний и навыков. Слушателям, успешно прошедшим обучение, выдается удостоверение о краткосрочном повышении квалификации НИУ «МЭИ».

Курс «Автоматизированные системы управления электротехническим оборудованием (АСУ ЭТО)»

Обучение проводится на учебно-исследовательском полигоне АСУ ЭТО кафедры «Электрические станции» НИУ «МЭИ». Полигон АСУ ЭТО представляет собой высокотехнологичную установку, оснащенную современным оборудованием, позволяющим организовать как эффективную подготовку специалистов, так и исследовательские работы для создания и эксплуатации интеллектуальных электроэнергетических систем [2, 3]. Полигон построен на основе микропроцессорных устройств РЗА разных производителей, связанных с реальным первичным оборудованием лабораторий кафедры и имитаторами сигналов на базе комплексов РЕТОМ.

Структура полигона

Основой АСУ ЭТО является программно-технический комплекс (ПТК), включающий оборудование верхнего (сервера, средства локальной вычислительной сети; автоматизированные рабочие места (АРМ) оперативного персонала, служб РЗА и АСУ) и нижнего (набор специализированных и многофункциональных микропроцессорных устройств, непосредственно связанных с объектом управления) уровней, рис.1 Имитация работы измерительных трансформаторов, дискретных входных и выходных сигналов обеспечивается РЕТОМ-61.

Объектом управления является электроустановка, состоящая из распределительных устройств нескольких уровней напряжения. РУ СН 0.4 кВ, ЩПТ, КРУ-10 кВ представлены в виде реальных щитовых устройств, применяющихся на современных электростанциях и подстанциях.



Рис. 1 – Учебно-исследовательский полигон АСУ ЭТО: а) фрагмент полигона АСУ ЭТО; б) фрагмент КРУ 10 кВ

Программа обучения

1. Микропроцессорные устройства защит и управления для различных видов присоединений. Входные и выходные сигналы. Реализуемые функции. Токковые цепи. Цепи напряжения. Оперативные цепи.
2. Конструктивное исполнение ИЭУ. Модули УСО. Цифровые интерфейсы.
3. Реализация вторичных цепей для различных видов присоединений в виде щитовых устройств. Проектно-конструкторская документация (принципиальные и монтажные схемы).
4. Организация цифровых сетей. Сетевые концентраторы Ethernet. Оптические и медные связи. Сеть на основе RS-485. Преобразователи интерфейсов. Сервера сбора и обработки информации. Стандарт МЭК 61850.
5. Операторский интерфейс ИЭУ. Органы контроля и управления. Графический экран. Работа с меню. Местное управление присоединением с помощью ИЭУ.
6. Программный инструмент конфигурирования интеллектуального устройства защиты и управления.
7. Основные функции в системе наблюдения и управления SCADA: осуществление интерфейса человек-машина; обработка событий и аварийных сигналов; выполнение расчетов и выдача отчетов; реализация автоматического управления. Работа оператора (наблюдение, управление, работа с журналами событий, тренды, архивы).
8. Разработка системы управления. Формирование базы данных переменных. Организация связи с ИЭУ. Создание пользовательского интерфейса.

Курс «Расчет токов короткого замыкания и выбор оборудования для электростанций и подстанций»

Программа курса рассчитана на специалистов проектных организаций (электрическая часть электростанций и подстанций), персонала расчетных групп эксплуатирующих организаций генерирующего и электросетевого комплекса. Занятия проводятся в компьютеризированных классах НИУ «МЭИ» с использованием программного обеспечения, разработанного специалистами кафедры «Электрические станции» и широко используемого в отечественной энергетике. Большое внимание уделяется закреплению теоретического материала на практических занятиях.

Программа обучения

1. Расчет коротких замыканий в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ (по ГОСТ Р 50270-92) и свыше 1 кВ (по ГОСТ Р 52735-2007);
2. Расчет коротких замыканий в электроустановках оперативного постоянного тока;
3. Выбор оборудования электроустановок переменного тока и электроустановок оперативного постоянного тока;
4. Расчет защит и выбор защитных аппаратов в низковольтных электроустановках (по ГОСТ Р 50030-2010);
5. Расчет параметров кабелей высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена;
6. Состав современной системы оперативного постоянного тока. Типы аккумуляторных батарей, зарядных устройств, их вольт-амперные характеристики;
7. Обзор и анализ отечественной и зарубежной нормативной документации по проверке и выбору оборудования.

Программное обеспечение, используемое в процессе обучения

- GUFAULTS – расчет токов короткого замыкания в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ;
- GUEXPERT – расчет токов короткого замыкания в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ;
- GUSELECT - построение карт селективности защитных аппаратов сетей переменного тока напряжением 0,4 кВ;
- GUSETSDC - расчет коротких замыканий в электроустановках постоянного оперативного тока напряжением 24 - 220 В;
- GUMAPSDC - построение карт селективности защитных аппаратов сетей постоянного оперативного тока напряжением 24 – 220 В;
- GUCABLES – расчет параметров кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- NEPLAN (разработчик «BCP», Швейцария), ETAP (разработчик «OTI», США) – многофункциональные программные комплексы по расчету установившихся режимов и коротких замыканий в электроустановках.

Кафедра «Электрические станции» НИУ «МЭИ» приглашает специалистов-электроэнергетиков пройти краткосрочное повышение квалификации в области проектирования, эксплуатации и испытания оборудования электростанций и подстанций в соответствии с требованиями отечественной и зарубежной нормативной базы.

Список использованных источников

1. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие для вузов // И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. – Издательский дом МЭИ, 2012 – 568 с.
2. Богданов И.А., Гусев Ю.П., Поляков А.М., Трофимов А.В. Комплексное обучение специалистов как средство повышения надежности предприятий электроэнергетики // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт - 2014. - №1. С. 18-23.
3. Гусев Ю.П., Поляков А.М., Трофимов А.В. Учебно-исследовательский полигон АСУ электроустановок // Труды международной научно-методической конференции Информатизация инженерного образования – 2012. С. 283-284

ОБЗОР СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СИНТАКТНЫХ ПЕНАХ ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

*Рыженков А.В., Логинова Н.А., Беляева Е.В., Лапин Е.Е., Прищепов А.Ф.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Аннотация

Статья посвящается теплоизоляционным покрытиям, применяемым в энергетике. Особое внимание уделяется синтактным пенам, создаваемым с использованием микросфер и различного рода связующих. Проводится анализ используемых в синтактных пенах сырья. Использование микросфер в структуре синтактных пен определяет их теплоизолирующие свойства, обеспечивает снижение плотности и теплопроводности материала, в то время как связующие вещества обеспечивают механическую прочность и термостабильность теплоизоляционного покрытия.

Ключевые слова

Теплоизоляция, конструкции, теплоизоляционные материалы, синтактные пены, микросферы, композиционные материалы, теплопроводность, механическая прочность

1. Введение

Сегодня на рынке теплоизоляционных материалов (ТМ) представлен широкий класс теплоизоляционных покрытий, создаваемых с использованием различного рода связующих и микросфер, так называемые синтактные пены. Синтактные пены - вид газонаполненных композиционных полимерных материалов (ПКМ), наполнителями в которых служат полые сферические частицы, равномерно распределенные в связующем. Ячейки в таких пенах образуются

не вспениванием полимера, а благодаря введению полых микросфер [1]. Наличие в составе микросфер делает его, по сути, закрытопористым материалом.

Производители синтактных пен предлагают использовать их как для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений, так и для защиты промышленных объектов, эксплуатирующихся при температурах до 600 °С, например, трубопроводов и энергетического оборудования. Вместе с тем, встречаются публикации с резко отрицательными оценками этого вида теплоизоляционных покрытий [2]. Основанием для критики служат рекламные материалы ряда фирм-производителей, которые указывают значение коэффициента теплопроводности ТТП ~ 0,001 Вт/(м·К), и как следствие рекомендации формировать слой теплоизоляции, например, на поверхности трубопровода системы теплоснабжения с температурой теплоносителя ~ 150 °С толщиной всего 1÷2 мм. Основной причиной таких противоречий является малая изученность свойств синтактных пен применительно к высокотемпературным объектам, отсутствие их классификации.

Количество и качество введенных микросфер определяет теплоизолирующие свойства материала, при этом возникают сопутствующие эффекты: повышение вязкости и возникновение или усиление прочности системы [3-5]. У большинства изученных наполненных систем обнаруживается критическая степень наполнения, выше которой наблюдается резкое изменение значений реологических параметров и прочностных показателей [6].

Введение в полимеры микросфер, как и прочих наполнителей, сопровождается формированием нового комплекса свойств композиций. Этот процесс является результатом межфазных взаимодействий на границе раздела полимер - твердое тело, к которым, прежде всего, относятся адсорбционные или молекулярные взаимодействия, которые являются ответственными за адгезию на межфазной границе, физические, механические и другие свойства наполненных систем [7]. Немало важным является оптимальный выбор сочетания полимера и наполнителя. Механические свойства наполненных композиций могут меняться в зависимости от формы частиц наполнителя. Необходимо учитывать не только природу, форму

и характер распределения частиц наполнителя, но и их взаимодействие по границе раздела фаз [8].

В свою очередь связующие вещества в составе синтактных пен обеспечивают механическую прочность и термостабильность теплоизоляционного покрытия, а при использовании на поверхности металлической подложки, дополнительную антикоррозионную защиту [4, 9-10].

Целью настоящего обзора является выявление наиболее перспективных связующих веществ для изготовления синтактных пен, предназначенных для использования в теплоизоляционных конструкциях энергетического оборудования и трубопроводов.

При подготовке статьи анализировалась и обобщалась патентная информация, данные учебно-методических пособий и научно-технических периодических изданий.

2. Анализ патентной информации

В таблице 1 представлены патенты, описывающие ТМ, наполнителями в которых являются микросферы [6, 11-21].

Наибольшее распространение для получения синтактных пен нашли связующие на основе органических полимеров: акриловые латексы и эпоксидные смолы, пенополиуретан, благодаря тому, что они характеризуются высокой адгезией, как к металлу, так и к материалу микросфер [1]. С целью повысить эффективность конечного материала в ПКМ вводят различные добавки: пластификаторы, антипирены, диспергаторы, стабилизаторы и пигменты.

Таблица 1 - Патенты, описывающие теплоизоляционные материалы с использованием микросфер

Наполнители	Связующее	Другие добавки	Функциональность, макс. температура применения
Заполненные воздухом керамические и кремниевые, белая сажа; аэрогель; вспученный вермикулит; вспученный перлит	Акриловый латекс.	Пеногаситель Sotro-145; Консервант; Пигмент; Диспергатор; Загуститель; Вода; Гидрофобизатор	Тепло-, гидроизоляция, шумопоглощение, антикоррозионная защита, огнестойкость, износостойкость. Термостойкость покрытия 600 – 650°C, коэффициентом теплопроводности 0,001 Вт/м×К
Модифицированные зольные микросферы	Полиуретан.	-	Повышенная прочность материала, по сравнению с не модифицированными микросферами, снижение влагопоглощения в 2-7 раз.
Стеклянные, керамические, полимерные, зольные и их смеси (размер 10-500 мкм)	Латексная композиция: гомополимер акрилата, стиролакрилатный сополимер, бутадиенстирольный сополимер, полистирол, бутадиеновый полимер, полихлорвиниловый полимер, полиуретановый полимер, полимер или сополимер винилацетата.	Вода, ПАВ (ОП-6, ОП-7, ОП-10, праксанолы), пигменты (двуокись титана/ оксид цинка), огнестойкие добавки (тригидрат алюминия, полифосфат аммония, борат цинка, слюда, асбест), Преобразователь ржавчины ПРЛ-2, ингибиторы коррозии (нитрит натрия, бензоат натрия, хромат гуанидина, тетраоксихромат цинка, АКОР-1, НГ-203)	Термостойкость до 150°C. Повышение степени антикоррозийной и теплоизоляционной защиты
Стеклянные и/или полимерные	Эпоксидное связующее.	Отвердители из группы аминного и амидного типа	Высокая адгезия к трубе.
Стеклянные микросферы	Эпоксидная смола.	Глицидиловый эфир кислот фосфора; отвердитель	Коэффициент теплопроводности 0,02 – 0,03 Вт/м×К
Алюмо-силикатные	Натриевое и/или калиевое жидкое стекло.	-	Характеризуется плотностью на сжатие до 11 МПа и коэффициентом теплопроводности 0,16 – 0,175 Вт/м×К
Смесь металлизированных и неметаллизированных керамических микросфер	Стирол-акриловый латекс, натриевое жидкое стекло, низкомолекулярный силиконовый каучук.	-	Повышенная защита от теплового и электромагнитного излучения.

Окончание таблицы 1

Наполнители	Связующее	Другие добавки	Функциональность, макс. температура применения
Стекланные микро-сферы	Полиорганосилоксановый блок-сополимер Лестосил СМ (ТУ 38.03.1.006-90) и силоксановый каучук низкомолекулярный СК ТНФ (А ТУ 38-103129-77).	Нитрид бора	Огнестойкое покрытие.
Керамические и кремниевые микро-сферы	Смесь бутадиен-стирольного каучука и акрилового полимера.	Углеродистые микроволокна, пигмент (оксид титана, свинцовый крон), вода.	Улучшенная адгезия, прочность на разрыв 2,4 кгс/мм ² , теплопроводность 2900 – 3400 эрг/(с.см.к).
Зольные микро-сферы	Пенополиуретан.	-	Плотность 51 кг/м ³ , прочность на сжатие 1,36 МПа, коэффициентом теплопроводности 0,124 Вт/м×К
Стекланные микро-сферы	Пенополиуретан.	-	Прочность на сжатие до 0,95 МПа. Уменьшение горючести материала по сравнению с ППУ. Плотность 51-75 кг/м ³

3. Связующие компоненты. Термопласты и термореактивы

Важнейшей задачей при изготовлении ТМ является подбор связующего. Основные характеристики формируемого композитного материала, такие как диапазон рабочих температур, ударная прочность, водо- и атмосферостойкость, химическая стойкость, преимущественно определяются типом матрицы. В качестве связующих компонентов используют органические, элементоорганические и неорганические полимеры. По типу технологической переработки органические и элементоорганические полимеры можно разделить на два больших класса: термопластичные и термореактивные.

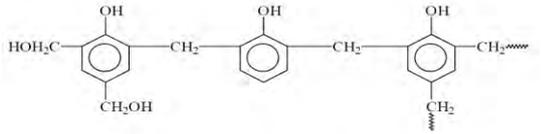
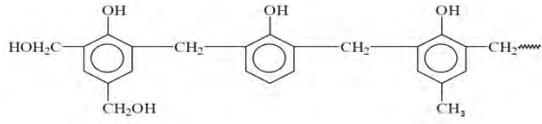
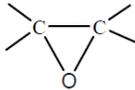
Переработка термопластов основана на их способности при нагревании выше температуры стеклования переходить в эластичное, а выше температуры текучести и температуры плавления - в вязкотекучее состояние и затвердевать при охлаждении ниже температуры стеклования и температуры плавления. Преимуществом термопластов является технологичность переработки, высокая ударная прочность, трещиностойкость, долговечность [22]. К таким связующим относятся: полиолефины, полиэтилен-терефталат, алифатические полиамиды, полиформальдегид, полиимиды и многие другие. Однако термопласты не лишены недостатков, основным из которых является низкая термостойкость [23].

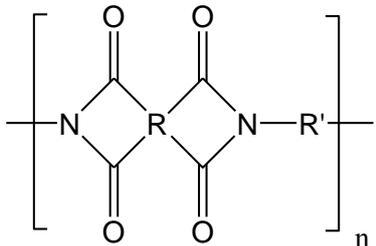
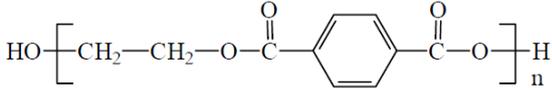
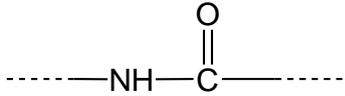
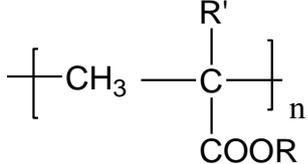
По сравнению с термопластичными термореактивные связующие обладают более широкими возможностями регулирования вязкости, смачивающей и пропитывающей способности. Изделия формируемые из реактопластов характеризуются высокой механической прочностью и теплостойкостью, однако, по ударной вязкости и трещиностойкости, они уступают изделиям из термопластов. Термореактивные связующие характеризуются образованием сетчатых структур в результате полимеризации реакционно-способных олигомеров или низкомолекулярных мономеров. В последнее время широкое распространение получил метод изготовления полимеров на основе реакционно-способных олигомеров. Типичными представителями материалов, получаемых таким путем, являются эпоксидные смолы, полиэфиракрилаты и полиуретаны. Свойства полимерных материалов во многом зависят от распределения по типу функциональности (природа функциональных групп) исходного олигомерного сырья [24]. Особенно чувствительны физико-механические характеристики к наличию в реакционно-способных олигомерах многофункциональных олигомеров, которые создают дефекты в пространственной структуре сетчатого полимера. Так, например, у полиуретанов с увеличением многофункциональной фракции олигомеров снижается модуль упругости, прочность на разрыв и плотность пространственной сетки [24].

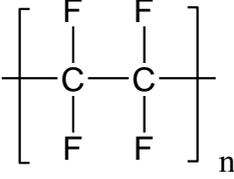
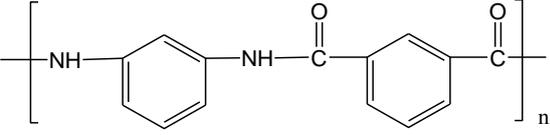
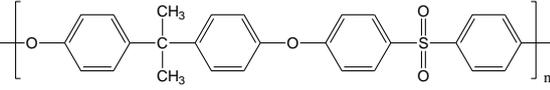
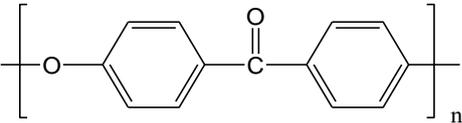
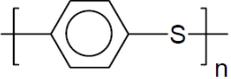
Перспективными связующими для создания теплоизоляционных покрытий являются полимерные матрицы, используемые для приготовления ПКМ [25]. Основные классы органических и элементоорганических полимеров систематизированы нами по химическому строению элементарного звена (таблица 2) [26].

Таблица 2. Характеристики формируемого сырья

Классы связующих	Основные характеристики формируемых материалов
1	2
Термореактивные связующие	
<p>Глифталивые смолы</p> $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\left[\text{CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{C}_6\text{H}_4-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}\right]_n\text{H}$	<p>Медленно отверждение, при комнатной температуре, сопровождающееся значительной усадкой материала и формированием хрупких покрытий. Полученные покрытия обладают антикоррозионными свойствами, хорошей атмосферостойкостью и термостойкостью до 150°C</p>

1	2
<p>Олигоэфирмалеинаты</p> $\text{HO} \left[\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C}(=\text{O}) - \text{CH} = \text{CH} - \text{C}(=\text{O}) - \text{O} \right]_n \text{H}$	<p>Отверждаются при комнатной температуре. Отличаются хорошей адгезией к стекловолокну, бумаге и металлам. При отверждении наблюдается минимальная усадка покрытий. Покрытия устойчивы до температуры 80 – 100°C</p>
<p>Резольные фенолформальдегидные смолы</p> 	<p>Отверждаются при нагревании до 170 - 180°C с образованием твердого полимеров, стойких к воде, органическим растворителям и кислотам, за исключением серной и азотной кислот. Стабильны при нагревании до 200 - 250°C</p>
<p>Наволачные фенолформальдегидные смолы</p> 	<p>Характеризуются линейным строением молекул. Обычно отверждают при 150 - 200°C в присутствии гексаметилентетрамина (6-14%). Обладают высокой водостойкостью. При температуре выше 280°C начинают постепенно разрушаться</p>
<p>Уретановые смолы (полиуретаны, (ПУ)), на основе уретановой группы вида:</p> $\text{---NH---C}(=\text{O})\text{---O---}$	<p>Отверждение достигается при комнатной температуре за 30-150 мин. Не растворяются в воде и традиционных растворителях. Характеризуются высокой адгезией к следующим материалам: ткани, бумага, дерево, стекло, штукатурка, металлы. Стойкость к старению несколько раз выше, чем у искусственного и натурального каучуков. Основной недостаток - горючесть и токсичность выделений. Диапазон рабочих температур изделий содержащих уретановые группы от -50°C до +130°C</p>
<p>Эпоксидные смолы, содержат в молекуле не менее двух эпоксидных групп вида:</p> 	<p>Возможно отверждение при комнатной температуре с использованием катализаторов, и при повышенной температур (170 – 220°C в течение 40-20 мин). Покрытия, характеризуются хорошей водо – и химической стойкостью. Термостойкость определяется химическим строением сетки, которое зависит от природы отвердителя и находится в диапазоне 150 - 320°C. Формируемые покрытия отличаются хрупкостью</p>
<p>Кремнийорганические связующие</p> $\left[\begin{array}{c} \text{R} \\ \\ \text{---Si---O---} \\ \\ \text{R} \end{array} \right]_n$	<p>Термическое или каталитическое отверждение. Покрытия характеризуются водоотталкивающими свойствами, повышенной термостойкостью, устойчивостью к озону и агрессивным средам. Используются в качестве защиты от коррозии. Эластичность, твердость и прочность силиконовых резин, зависит от степени сшивания мономеров. При низких температурах покрытия сохраняют эластичность, не подвергается старению. Их свойства остаются постоянными до температуры 370°C</p>

1	2
<p>Полиимидные и бисмалеимидные связующие</p> 	<p>Полимеризация может быть осуществлена как термически (300 - 350°C в инертной атмосфере), так и химически. Покрyтия представляют сетчатую матрицу с повышенной механической прочностью и термостойкостью. В зависимости от типа взаимодействия между основными цепями могут относиться к термопластам, которые характеризуются повышенной стабильностью 280°C, а кратковременно до 400°C</p>
Термопластичные связующие	
<p>Полиолефины</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Полиэтилен 2. Полипропилен 3. Полистирол 	<p>Эластичность полиэтилена зависит от плотности и снижается с её ростом, при этом увеличивается жесткость полимера.</p> <p>Полипропилен имеет самую высокую прочность при изгибе среди всех термопластов.</p> <p>Полиэтилен и полиэтилен устойчивы к действию воды, водяных паров, органических растворителей, минеральных кислот и щелочей.</p> <p>Стирол хороший диэлектрик, обладает низкой теплопроводностью и хрупкостью. Устойчив к действию органических растворителей, концентрированных растворов щелочей и кислот.</p> <p>Материалы, получаемые на основе полиолефинов, имеют температуру эксплуатации до 140°C</p>
<p>Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)</p> 	<p>Температурный интервал эксплуатации до 170°C. Волокна из ПЭТФ обладают высокой прочностью, эластичностью и химической стойкостью. Пленки на основе ПЭТФ не пропускают пары воды, кислорода, азота и пары растворителей</p>
<p>Алифатические полиамиды, содержат в основной цепи полимера амидную группу:</p> 	<p>Отличаются высокой твердостью, прочностью на изгиб и износостойкостью. Температура эксплуатации до 215°C</p>
<p>Полиакрилаты</p> 	<p>Растворимы в собственных мономерях, сложных эфирах, ароматических и хлорированных углеводородах. Низшие полиакрилаты растворимы в ацетоне и нерастворимы в неполярных растворителях. Температуры размягчения полиакрилатов на основе алифатических дикарбоновых кислот лежат в области 30 - 240°C, а на основе ароматических дикарбоновых кислот в интервале 120 - 350°C. Температура разложения на воздухе составляет 300-350°C</p>

1	2
<p>Фторопласты</p> 	<p>Температура формования различных марок фторопластов находится в диапазоне 150 - 327°C. Фторопласты характеризуются высокой электрической прочностью, низким коэффициентом трения, стойкостью к агрессивным средам, атмосферо-, коррозионно- и радиационностойкостью, слабой газопроницаемостью, негорючи, нерастворимы во многих органических растворителях и воде</p>
<p>Ароматические полиамиды</p> 	<p>Относятся к числу наиболее жесткоцепных синтетических полимеров. Размягчаются при температурах 300 – 400°C. Растворимость и теплостойкость ароматических полиамидов зависит от надмолекулярной структуры формируемого полимера. Полимеры данного класса масштабно применяют для производства высокопрочных органических волокон</p>
<p>Полисульфоны</p> 	<p>Обладают стойкостью к радиоактивному излучению, химической стойкостью к растворам щелочей, слабым растворам минеральных кислот, слабым и насыщенным растворам минеральных солей, алифатических углеводородов, моторных и дизельных топлив, нефтяных масел, ПАВ. Перерабатываются при 300 – 380°C</p>
<p>Полиэфиркетоны (ПЭК)</p> 	<p>Наиболее широко используется в промышленности полиэфирэфиркетон (ПЭЭК) с температурой плавления 340-390°C. Обладает высокой тепло- и огнестойкостью, стойкостью к УФ излучению, горячей воде и пару</p>
<p>Полифениленсульфид (ПФС)</p> 	<p>Характеризуется повышенной жесткостью и ударпрочностью, стабильностью размеров при длительных нагрузках, исключительной химической стойкостью, в том числе к автомобильному и авиационному топливу. Отличаются низким уровнем водопоглощения (до 0,02%). Являются диэлектриком. Покрытия могут работать постоянно при температуре от 60°C до 220°C и выдерживать кратковременный нагрев до 270°C</p>

В последнее время активно развивается направление гибридных матриц, сочетающих термопластичные и терморезистивные компоненты, что позволяет реализовать преимущества двух основных классов связующих. Композитные материалы на основе представленных полимеров (таблица 1) используются практически во всех областях промышленности: энергетике, авиации, космонавтике, автомобилестроении, судостроении, строительстве производстве бытовой техники, медицине.

Из таблицы 1 видно, что термостабильность органических и элементоорганических полимеров не превышает 400°C. Однако введение специальных добавок приводит к повышению теплостойкости органических полимеров. Например, силиконовые смо-

лы производства Dow Corning модифицированные неорганическими пигментами, такими как алюминиевая паста и окислы металлов могут использоваться в высокотемпературных средах, вплоть до 760 °С [27].

4. Неорганические вяжущие вещества

Помимо органических связующих, одним из недостатков которых является высокая стоимость, синтактные пены получают и на основе неорганических вяжущих веществ [16]. В указанном патенте для связывания зольных микросфер используют жидкое стекло. Применение в качестве матрицы неорганических соединений имеет ряд преимуществ: доступность, низкая стоимость, возможность использование композиционного материала при высоких температурах.

Рассмотрим основной класс минеральных (неорганических) строительных вяжущих соединений. К минеральным вяжущим относятся вещества, способные под влиянием внутренних физико-химических процессов переходить из жидкого или тестообразного состояния в твердое, связывая при этом в единое целое другие компоненты. Вяжущие материалы, применяемые в строительстве, по способу отверждения подразделяют на воздушные вяжущие и гидравлические вяжущие (таблица 3). Воздушные вяжущие материалы способны отвердевать и долго сохранять свою прочность только на воздухе; во влажных условиях они размокают и быстро теряют прочность (например, воздушная известь, гипс, глины) [28].

Таблица 3. Строительные вяжущие материалы

Неорганические вяжущие	Способ отверждения
Известковые (в основе $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	Воздушный
Глины (Al_2O_3 и SiO_2)	
Гибсовые ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или CaSO_4)	
Магнезиальные (основной компонент MgO)	
Жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$ и/или $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$)	
Гипсо-цементно-пуццолановое вяжущее вещество (ГЦПВ): 50-75 % строительный гипс, 15-25 % портландцемент, 10-20 % активных минеральных добавок	Во влажной и воздушной среде
Системы, состоящие из соединений четырех оксидов: $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$, к ним также относятся вяжущие этрингитового типа ($m\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaSO}_4$)	

В системах, состоящих из соединений четырех оксидов (таблица 2), в зависимости от преобладания одного из них выделяют романцемент, силикатные цементы (в том числе портландцемент), алюминатные цементы (глиноземистый цемент) и вяжущие этрингитового типа (расширяющиеся и безусадочные цементы) [29]. Отличительной чертой неорганических связующих является потеря пластично-вязких свойств при «схватывании», то есть формирования структуры с молекулярными связями. В качестве пластифицирующей добавки к цементам используют глину, благодаря ее высокой пластичности и способности удерживать воду на поверхности своих тонкодисперсных частиц.

В последнее десятилетие стремительно возрастает число работ по применению стеклянных полых или алюмосиликатных микросфер в кладочных растворах. В работах [30], [31] обосновано применение полых микросфер с целью снижению плотности и теплопроводности цементного камня, а также облегчения кладочных растворов. Например, в статье [32] описана разработка состава строительных смесей на основе полых алюмосиликатных и стеклянных микросфер. Было найдено, что оптимальная плотность ($\leq 600 \text{ кг/м}^3$) и коэффициент теплопроводности ($0,16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{K)}$) достигается при выборе в качестве наполнителя полых стеклянных микросфер. Авторам статьи [33] удалось получить цементный кладочный раствор плотностью в сухом состоянии 400 кг/м^3 при вве-

дении полых стеклянных микросфер до 50%. В работе [34] для увеличения адгезионной прочности цементно-минеральной матрицы, содержащей полые стеклянные микросферы, разработан комплексный наноразмерный модификатор. Предложенный модификатор позволяет структурировать бетонную смесь, увеличить сцепление на границе раздела фаз матрица-микросферы и повысить вязкость системы, обеспечивая однородность распределения наполнителя по объему. Материалы, описанные в рассмотренных работах, нашли применение в строительной отрасли.

Сегодня все больше возрастает потребность в эффективных современных высокотемпературных теплоизоляционных материалах [35]. Для высокотемпературных объектов используют фосфатные связующие, называемых в технике «связки». Такие соединения относятся к концентрированным водным растворам неорганических полимеров, которые относятся к неорганическим клеям [36]. По структуре растворов типовых связок выделяют две группы: 1) растворы щелочных силикатов и алюмосиликатов, 2) растворы фосфатов. На российском рынке представлен широкий ассортимент огнеупорных клеев, как на основе фосфатных связок (АФС, АБФК, АХФС), так и на основе алюмосиликатов (КОЗ-3, НС-Ш, НС-1). Неорганические клеи обладают рядом преимуществ: не токсичны, пожаро-, взрывобезопасны, характеризуются кислотоупорными и защитными свойствами, а также высокой рабочей температурой – до 2000°C. Для придания клеям или изделиям на их основе способности работать в условиях высоких температур в связку вводят дополнительные огнеупорные наполнители, такие как SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 с размером зерен 1 мкм [36].

Авторами работы [37] была получена сырьевая смесь для изготовления теплоизоляционных изделий, включающая фосфатное связующее, глиноземсодержащий компонент и в качестве заполнителя фосфатные микросферы. Температура эксплуатации полученного состава составила 1200°C. Алюмохромфосфатное связующее (АХФС) используют в качестве пленкообразующего компонента. Так, в патенте [38] описан огнезащитный состав на основе АХФС, отвердитель ОСА-1 и стеклянные микросферы. Данный состав обладает улучшенными технологическими свойствами, в частности, способностью к вспучиванию при повышенных температурах.

Известно получение жаростойкого фосфатного материала переменной плотности [39]. Жаростойкие материалы переменной плотности разработаны за счет послойного введения наполнителей, в качестве которых были отобраны шамот, отработанный катализатор ИМ-2201 и алюмосиликатные микросферы. Особенностью приготовленного данного состава является самопроизвольное затвердевание в режиме изотермического синтеза за счет введения алюминиевой пудры или алюминиевого порошка.

Использование фосфатных и алюмосиликатных связок для изготовления теплоизоляционных материалов на основе микросфер недостаточно изучено на сегодняшний день. Вместе с тем является очевидным перспективность их применения в композиционных материалах с целью расширения диапазона рабочих температур ТМ. Поэтому представляет интерес их дальнейшее изучение.

Дискуссия

Существует мнение специалистов, что практически все применяемые на сегодняшний день традиционные теплоизоляционные материалы подвержены быстрому старению и разрушению, реальный срок их эксплуатации, как правило, не превышает десяти лет [39]. Поэтому объективно существует необходимость в поиске и применении новых теплоизоляционных материалов, одними из которых являются синтактные пены. Есть все основания утверждать, что синтактные пены в ближайшее время будут широко востребованы и станут конкурентоспособными на рынке теплоизоляционных материалов.

Заключение

Использование микросфер в структуре синтактных пен определяет их теплоизолирующие свойства, обеспечивает снижение плотности и теплопроводности материала.

Связующие вещества в составе синтактных пен обеспечивают механическую прочность и термостабильность теплоизоляционного покрытия. Преимуществом использования термопластов в качестве связующих является технологичность их переработки, высокая ударная прочность, трещиностойкость, долговечность. Ограничением их использования в теплоизоляционных конструкциях трубопроводов и энергетического оборудования является относительно низкая термостойкость (~ 200 °С). Термореактивные связующие характеризуются высокой механической прочностью и термостойкостью, однако, по ударной вязкости и трещиностойкости, они уступают изделиям из термопластов. Термостабильность органических и элементоорганических полимеров не превышает 400°С. Однако введение специальных добавок приводит к значительному повышению термостойкости органических полимеров. Высокая термостойкость (до 2000°С) фосфатных и алюмосиликатных связок делает их весьма перспективными для использования в теплоизоляционных конструкциях трубопроводов и энергетического оборудования, однако требует дополнительных исследований.

Благодарности

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Соглашения №14.574.21.0022 от «17» июня 2014 г. «Разработка теплоизоляционных композитных материалов для обмуровки теплоэнергетического оборудования с использованием автономных мобильных высокопроизводительных установок» (Уникальный идентификационный номер RFMEFI57414X0022).

Список использованных источников

1. John, B., & Reghunadhan Nair, C. P. (2014). *Handbook of Thermoset Plastics. Handbook of Thermoset Plastics* (pp. 511–554). doi:10.1016/B978-1-4557-3107-7.00013-0
2. Корельштейн Л. Жидкая теплоизоляция – мнимая эффективность // CADmaster. 2011. # 3. С. 14-16
3. Bing Li. Effect of microstructure and physical parameters of hollow glass microsphere on insulation performance // *Material Letters*. 2011. V. 65. # 12. P. 1992-1994.
4. Логинова Н.А. Определение эффективности тонкопленочных теплоизоляционных покрытий применительно к системам теплоснабжения: дис. канд. тех. наук: 05.14.04 / Логинова Наталья Арамовна. - М., 2010. - 133 с. Liao Y., Wua X., Liua H., Chen Y. Thermal conductivity of powder silica hollow spheres // *Thermochimica Acta*. 2011. V.526. P. 178-184.
5. Теплоизоляционная композиция: пат. 2414495 РФ / Варламова Л. П., Варюхин В. А., Домрачев Г. А., Дрожжин В.С., Егоров В. А., Извозчикова В. А., Обьедков А. М., Пикулин И. В., Рябов С. А., Семенов Н. М.; опубл. 2006.
6. Завьялова Н. Б., Строганов В. Ф., Строганов И. В., Ахметшин А. С. Исследование влияния природы наполнителей на прочностные свойства гетерофазных полимерных составов // *Известия КГАСУ*. 2007. Т. 1. # 7. С. 63–66.
7. Katz H.S., Milewski J.V. *Handbook of fillers and reinforcements for plastics*. New York: Van Nostrand Reinhold Co. 1978. 652 с.
8. Deepthi, M. V., Sharma, M., Sailaja, R. R. N., Anantha, P., Sampathkumaran, P., & Seetharamu, S. (2010). Mechanical and thermal characteristics of high density polyethylene fly ash Cenospheres composites. *Materials and Design*, 31, 2051–2060. doi:10.1016/j.matdes.2009.10.014

9. Wang, C., Liu, J., Du, H., & Guo, A. (2012). Effect of fly ash cenospheres on the microstructure and properties of silica-based composites. *Ceramics International*, 38, 4395–4400. doi:10.1016/j.ceramint.2012.01.044
10. Покрытие жидкокерамическое изоляционное: патент РФ № 2342415 / Мотрикалэ Н.В.; опубл. 2007.
11. Антикоррозионное и теплоизоляционное покрытие на основе полых микросфер: пат. 2251563 РФ / Беляев В. С.; опубл. 2003.
12. Применение композиций, наполненной полыми микросферами, в качестве антикоррозионного и теплоизоляционного покрытия трубопроводов: пат. 2304600 / Беляев В. С.; опубл. 2006.
13. Способ получения теплоизоляционного материала на основе синтактной пены, теплоизолированная труба и способ нанесения теплоизоляционного покрытия на внешнюю поверхность трубы: пат. 2187433 РФ / Телегин В. А., Телегина Е. Б., Горев В. А., Шестаков С. П., Ремизов В. В., Михайлов Н. В., Тимонин В. И., Газиянц А. П.; опубл. 1999.
14. Способ получения теплоизоляционного градиентного покрытия: пат. 2424905 РФ / Амирова Л. М., Андрианова К. А., Рыбаков В. В., Овчинников Е. В., Амирова Л. Р.; опубл. 2009.
15. Способ получения конструкционно-теплоизоляционного строительного материала на основе алюмосиликатных микросфер: пат. 2455253 РФ / Бессонов И. В., Сепелин А. Н., Кордюков Н. П.; опубл. 2006.
16. Теплоизоляцион-ное покрытие: пат. 2473751 РФ / Гринавцев В. Н., Гринавцев О. В., Черногиль В. Б.; опубл. 2006.
17. Способ получения огнестойкого покрытия: пат. 2039070 РФ / Епифановский И. С., Дмитриенко Ю. И., Полежаев Ю. В., Ю. В.Медведев, Михатулий Д. С.; опубл. 1993.
18. Жидкое теплоизоляционное покрытие: пат. 2206550 РФ / Основин Е.В.; опубл. 2001.
19. Теплоизоляционная композиция: пат. 2279414 РФ / Маркин В.Б., Ананьева Е.С., Крюков А.С.; опубл. 2005.
20. Теплоизолирующая композиция на основе жесткого пенополиуретана: пат. 2226202 РФ / Гавриков Ю. М., Масик И. В., Сиротиинкин Н. В., Яценко С. В.; опубл. 2011.
21. Mascia L. Thermoplastics: Materials Engineering. Elsevier A. 1989. P. 537.
22. Engineering Thermoplastics: Properties and Applications. Taylor & F / ed. Margolis G.M. 1985. P. 408.
23. Entelis S.G., Evreinov V. V., Kuzaev I.A. Reactive Oligomers. New concepts in polymer science. VSP. 1989. P. 322.
24. Harris B. Engineering Composite Materials. IOM. Great Britain, 1999. P. 317.
25. Lubin G. Handbook of composites. New York: Van Nostrand Reinhold Company. 1982. 776 с.
26. Dow Corning. Resins and intermediates. Selecrion Guide. [Online]. 2004. P. 8. URL: http://www.rishichem.com/uploads/products/docs/file_15.pdf.
27. Волженский А. В., Буров Ю., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства. М.:Стройиздат. 1979. 476 с.
28. Odler I. Special Inorganic Cements. CRC Press. 2003. P. 416.
29. Kumar S. Fly ash–lime–phosphogypsum hollow blocks for walls and partitions // Build. Environ. 2003. Vol. 38, № 2. P. 291–295.
30. Kumar S. Fly ash-lime- phosphogypsum cementitious binder: A new trend in bricks // Mater. Struct. 2000. Vol. 33. P. 59–64.

31. Розовская Т. А., Семенов В.С. Облегченная сухая кладочная смесь с полыми микросферам // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. 2013. Т. 49. С. 181–185.
32. Кириллов К. И., Семенов В. С. Сверхлегкие кладочные растворы // Вестник МГСУ. 2009. Т. 3. С. 106–112.
33. Иноземцев А. С., Королев Е. В. Полые микросферы – эффективный наполнитель для высокопрочных легких бетонов // Промышленное и гражданское строительство. 2013. Т. 10. С. 80–83.
34. Суворов С. А. Современные проблемы производства огнеупорных материалов для металлургической промышленности // Новые огнеупоры. 2002. Т. 3, С. 38–45.
35. Сычев М. М.. Неорганические клеи. СПб.: Химия, 1986. 152 с.
36. Сырьевая смесь для изготовления теплоизоляционных изделий: пат. 753824 РФ / Данилова Т. А., Дудеров Ю. Г., Фехретдинов Ф. А.; опубл. 1980.
37. Огнезащитный состав для металлоконструкций: пат. 2422489 Р.Ф. / Михлай В. Н., Афанасьев С. В., Рощенко О. С., Кузьмин И. В.; опубл. 2009.
38. Пак Ч. Г., Абызов В. А., Батрашов В. М. Жаростойкие фосфатные ячеистые материалы переменной плотности // Вестник ЮУрГУ. Серия Строительство и архитектура. 2010. Т 15. С. 4–5.
39. Иванов В.В., Букаров Н.В., Василенко В.В. Влияние увлажнения изоляции и грунта на тепловые потери подземных теплотрасс // Электронный журнал «Энергосвет». 2010. # 7 (12).

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА В ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЗОНАХ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Матюнин В.М., Демидов А.Н., Марченков А.Ю.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Как известно, для металлических материалов и изделий характерно наличие различного рода концентраторов напряжений (КН) – участков малых размеров, обладающих повышенными остаточными напряжениями. В зависимости от происхождения различают конструктивные, металлургические, технологические и эксплуатационные КН. Наиболее проблемными являются структурные зоны концентрации напряжений (СЗКН) – локальные объёмы металла, в которых напряжения могут превышать номинальные для данной конструкции, а иногда и достигать значений разрушающих напряжений. Типичными СЗКН являются скопления дислокаций, полос скольжения, неметаллических включений и др. Современные физические методы и технические средства контроля позволяют обнаружить СЗКН на макро-, мезо-, микроуровнях. Однако наибольшие трудности при обнаружении и последующем исследовании представляют СЗКН на мезо- и микроуровнях, когда их протяженность составляет несколько десятков микрометров.

В работе представлены результаты исследования СЗКН, обнаруженных методом магнитной памяти металла (МПМ) в трубах пароперегревателя котлоагрегата из стали 10X13Г12БС2Н2Д2. При гидроопрессовке были выявлены течи на прямолинейных участках некоторых труб. В результате исследования микроструктуры металла в местах протечек были выявлены трещины (рис. 1а), а также СЗКН технологического происхождения, в которых наблюдается скопление полос скольжения (рис. 1б, 1в). Исследования на оптическом микроскопе с увеличением 1000х (рис. 1в) металла в вершине СЗКН показали, что средняя длина полос скольжения составляет ≈ 15 мкм, а расстояние между ними 0,5-1 мкм.

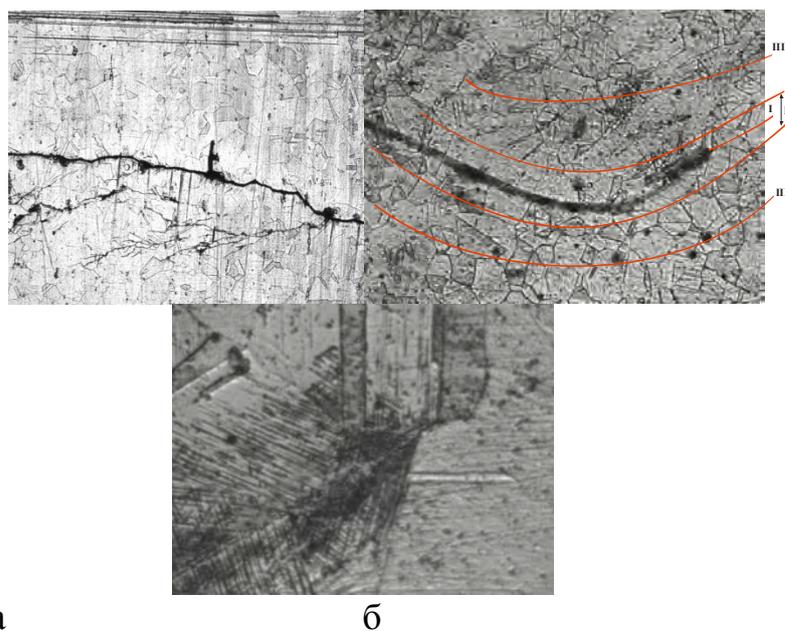


Рис. 1. - Дефекты, выявленные в трубе из стали 10X13Г12БС2Н2Д2: а – трещины, $\times 100$; б – скопление полос скольжения, $\times 100$; в – вершина СЗКН, $\times 1000$

Оценить механические свойства металла в таких зонах концентрации напряжений весьма проблематично. В настоящее время с помощью метода индентирования на макроуровне можно определять макротвёрдость, предел текучести, временное сопротивление и равномерную деформацию. Однако, в малых объёмах металла, когда индентирование происходит на мезо и микроуровнях, возможно определение только мезо- или микротвёрдости, т.к. не существует чётких методик определения характеристик прочности и пластичности металла по характеристикам мезо- и микротвёрдости.

Для оценки механических свойств в малых объёмах металла в СЗКН было предложено производить индентирование металла вне СЗКН на макроуровне (отпечаток с диагональю d_1 , рис. 2) и на микроуровне с малой нагрузкой (отпечаток с диагональю d_2 , рис. 2). Отношение, учитывающее изменение твёрдости металла при переходе с макроуровня на микроуровень, имеет вид:

$$\beta = \frac{HV_{\text{микро}}}{HV_{\text{макро}}} \quad (1)$$

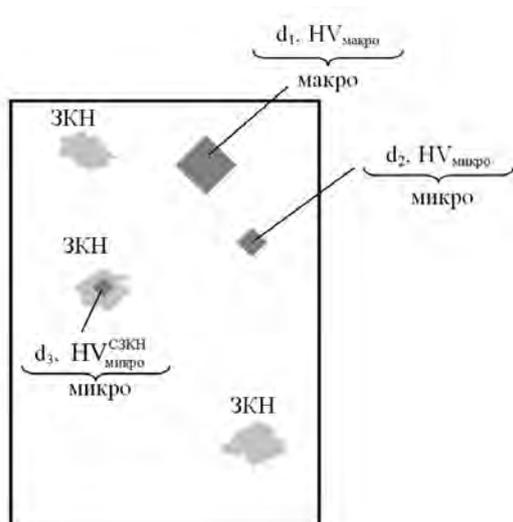


Рис. 2. Схема определения механических свойств в СЗКН методом индентирования

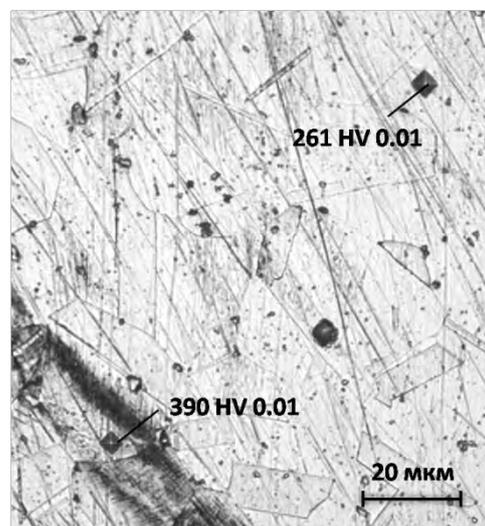


Рис. 3. Определение механических свойств металла в СЗКН трубопровода из стали 10X13Г12БС2Н2Д2

Ранее [1] было установлено, что этот коэффициент β , учитывающий влияние масштабного эффекта на характеристики твёрдости металла, не зависит от структурно-механического состояния металла и является константой для конкретного материала.

Затем, определив микротвёрдость в СЗКН (отпечаток с диагональю d_3 , рис. 2) и зная β , можно рассчитать значение макротвёрдости металла в СЗКН:

$$HV_{\text{макро}}^{\text{СЗКН}} = \frac{HV_{\text{микро}}^{\text{СЗКН}}}{\beta} \quad (2)$$

Для исследуемой СЗКН были проведены испытания металла микроиндентированием с определением микротвёрдости $HV_{0,01}$. Для металла, расположенного вне СЗКН, были проведены испытания макро- и микроиндентированием с определением макротвёрдости HV_{10} , микротвёрдости $HV_{0,01}$ и коэффициента $\beta = HV_{0,01}/HV_{10}$. Зная коэффициент β , можно было рассчитать макротвёрдость $HV_{10} = HV_{0,01}/\beta$ для ме-

талла в СЗКН. Результаты испытаний и расчётов представлены в таблице. Принимая примерно равными значения макротвердости по Виккерсу HV10 и Бринеллю HB_{2,5/187,5/5}, можно было оценить временное сопротивление σ_B по HB_{2,5/187,5/5} металла в СЗКН и вне СЗКН по ГОСТ 22761-77. Из таблицы видно, что приращение $\Delta\sigma_B$ в СЗКН за счет деформационного упрочнения составило 265 Н/мм² (27 кГ/мм²).

*Результаты определения механических свойств металла
трубопровода из стали 10X13Г12БС2Н2Д2*

HV, кГ/мм ² вне ЗКН	HV, кГ/мм ² в ЗКН	β	σ_B , Н/мм ² (кГ/мм ²) вне ЗКН	σ_B , Н/мм ² (кГ/мм ²) в ЗКН	$\Delta\sigma_B$, Н/мм ² (кГ/мм ²) в ЗКН
Макроуровень		1,485	Макроуровень		
176 HV ₁₀	263 HV ₁₀		579 (59.0)	858 (87.5)	279 (28.5)
Микроуровень					
261 HV _{0,01}	390 HV _{0,01}				

С использованием полученных результатов была проведена расчётная оценка приращения напряжения в СЗКН по модели Тейлора [2] и критического напряжения, необходимого для образования трещины, по модели Зинера-Стро [3]. Сопоставление расчётных значений напряжений с экспериментальными, определёнными методами микроиндентирования [1], показало их близкое совпадение.

Список использованных источников

1. Матюнин В.М., Демидов А.Н., Марченков А.Ю. Определение механических свойств металла в зонах концентрации напряжений (ЗКН) изделий машиностроения // Технология металлов. 2009. №7. – С. 19-22.
2. Иванова В.С. и др. Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов. М.: Наука, ИМЕТ им. А.А. Байкова, 1965.
3. Бернштейн М.Л. Структура деформированных металлов. М.: Metallurgia, 1974.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАСЧЕТА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*Антонов А.А., Гусев Ю.П., Трофимов В.А.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Введение

Повышение спроса на электроэнергию, а также увеличение требований потребителей к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии приводят к необходимости развития и модернизации распределительных сетей. В настоящее время в распределительных сетях активно внедряется новое оборудование: кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, вакуумные и элегазовые выключатели, микропроцессорные терминалы защит, расширяется использование резистивно-заземленной нейтрали. Принципиально новым для распределительных сетей является появление распределенной генерации. Изменение условий эксплуатации и требований к планированию развития распределительных сетей обуславливают необходимость применения современных компьютерных технологий моделирования электрических сетей, при оценке принимаемых технических решений [1].

Расчетные модели распределительных сетей

На кафедре «Электрические станции» «НИУ «МЭИ» накоплен значительный опыт моделирования и комплексных расчетов распределительных сетей среднего и низкого напряжений. В качестве инструмента для создания расчетных моделей распределительных сетей используется программный комплекс NEPLAN, который был выбран из большого числа отечественных и зарубежных специализированных программ.

Программный комплекс NEPLAN представляет собой набор из 42 модулей [2], каждый из которых предназначен для решения конкретной задачи, например: «расчет токов короткого замыкания», «надежность», «оптимизация потоков мощности» и т.д. Выполнение хозяйственных работ, по заказам сетевых компаний, позволило кафедре «Электрические станции» накопить опыт работы со следующими модулями программы NEPLAN:

1. Network Reduction – модуль создания модели сети. Модуль располагает инструментами для ввода электрической сети в модель и её отображения;
2. Модули для расчета токов короткого замыкания и установившихся режимов;
3. Over Current Protection (Selectivity Analysis) – модуль токовых РЗА и анализа селективности;
4. SQL Database Driver – программный драйвер для работы с базой данных;
5. NEPLAN Programming Library (C/C++) – библиотека для программирования в NEPLAN.

При выборе программы внимание уделялось следующим факторам:

1. поддержка электрических схем большой размерности;
2. возможность создания центра коллективного пользования с удаленными клиентскими местами;
3. возможность экспорта/импорта баз данных в едином формате, совместимом с CIM моделями, соответствующими МЭК 61970;
4. наличие встроенных инструментов программирования, позволяющих учесть нелинейные сопротивления электрической дуги, тепловой спад тока короткого замыкания, уточненное влияние генераторов и двигателей в узлах нагрузки и др.;

5. возможность автоматизации обновления расчетной модели и формирования протоколов с результатами расчетов.

Среди выполненных хоздоговоров, в рамках которых были разработаны расчетные модели в программе NEPLAN, можно выделить следующие:

1. Работы по договору с ОАО «МОЭСК» «Создание расчётной модели токов короткого замыкания для областной распределительной сети ОАО «МОЭСК»;
2. Работы по договору с ОАО «МОЭСК» «Оказание услуг по расчету уставок устройств релейной защиты и автоматики в электрических сетях ОАО «МОЭСК»;
3. Работы по договору с ОАО «РусГидро» Расчет электрических параметров схем питания собственных нужд ГЭС (ГАЭС) филиалов ОАО «РусГидро».

Расчетные модели содержат информацию, как о первичном (шины, линии, трансформаторы, коммутационные аппараты), так и вторичном оборудовании (измерительные трансформаторы, реле). В модель также включена информация об уставках защит и времятоковых характеристиках предохранителей и реле. Разработанные модели позволили, на основе единого комплекта исходных данных, решить ряд задач, среди которых:

- расчет токов короткого замыкания и остаточных напряжений во всех узлах схемы и различных режимах работы;
- проверка термической стойкости и невозгораемости кабелей;
- проверка чувствительности защит и построение карт селективности с учетом разброса времятоковых характеристик релейных защит и плавких предохранителей, рис. 1.
- разработка рекомендаций по замене электромеханических защит микропроцессорными терминалами;
- выявление слабых мест в сетях, перегрузок, отклонений от нормативного качества электроэнергии.

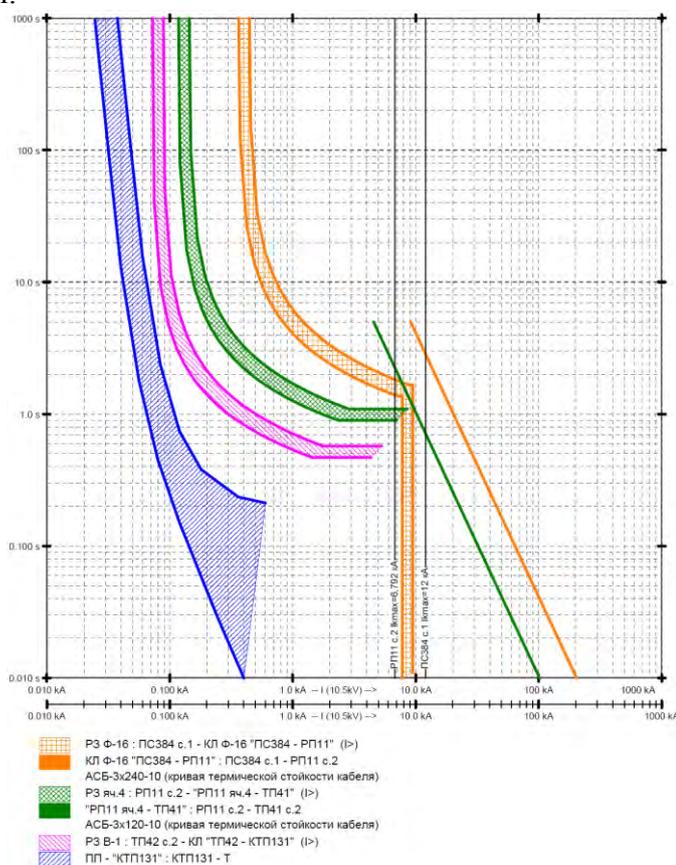


Рис. 1. Карта селективности защит

Информационные модели

Одним из требований, предъявляемым к современным программам, является возможность обмена информацией с программными продуктами других компаний. Для этих целей в Европе был разработан стандарт МЭК 61970 (СІМ), который в настоящее время активно внедряется крупнейшими российскими электросетевыми компаниями. Для взаимодействия с другими СІМ-совместимыми программными продуктами NEPLAN предоставляет возможность экспорта и импорта базы данных в формате SQL, содержащей полную информацию о расчетной модели электрической сети.

Помимо взаимодействия с другими программами, возможность экспорта и импорта базы данных позволяет автоматизировать процесс ввода исходных данных и обеспечить контроль достоверности исходных данных.

Адаптация программы

Эффективность использования программы NEPLAN можно повысить за счет ее адаптации под специфические задачи разработчика модели. Для этого в программе NEPLAN предусмотрен модуль «NEPLAN Programming Library» (NPL). Модуль NPL представляет собой набор из встроенных библиотек программ, на основе которых пользователь получает возможность создавать собственные подпрограммы для автоматизации расчетов. Пользовательские подпрограммы запускаются непосредственно из программы NEPLAN. После запуска подпрограмма берет управление на себя, при этом она может обращаться к встроенным функциям программы NEPLAN и внешним, специально разработанным программам.

Наличие встроенных инструментов программирования позволило реализовать следующие функции:

1. Обеспечение топологического контроля вводимой схемы;
2. Автоматическое изменение положения коммутационных аппаратов и потоковый анализ генерируемых схем, позволяющее автоматически анализировать режимные ограничения для ремонтных состояний сетей.
3. Автоматизация расчетов токов короткого замыкания для проверки термической стойкости и невозгораемости кабелей и выбора установок защит с учетом всех особенностей анализируемой распределительной сети.
4. Комплексный анализ результатов расчетов.

Выводы

Опыт создания расчетных моделей распределительных сетей подтвердил возможность эффективного использования программы NEPLAN для решения широкого круга задач эксплуатации и планирования развития электрических сетей.

Наличие в программе NEPLAN возможности импорта/экспорта базы данных и встроенного языка программирования позволяет обеспечить высокую эффективность создания и использования расчетных моделей распределительных сетей большой размерности.

Сложность освоения программного обеспечения, обладающего широкими функциональными возможностями для планирования развития и оптимизации эксплуатации распределительных сетей, предполагает создание методического центра для создания новых и сопровождения ранее разработанных расчетных моделей, а также, для подготовки кадров для работы с моделями.

Список использованных источников

1. Гусев Ю.П. Интеллектуальным сетям России комплексную интеллектуальную поддержку МЭИ // Труды Второй Всероссийской научно-практической конференции «Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций

и энергетических систем» - ЭНЕРГО-2012 (Москва, 4-6 июня 2012 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 26-31.

2. NEPLAN Packages // NEPLAN Power System Analysis and Engineering. Zurich, Switzerland. URL: http://www.neplan.ch/html/e/e_electricity_packages_default.htm.

ФАЗОПОВОРОТНОЕ УСТРОЙСТВО С ТИРИСТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Асташев М.Г., Раиштов П.А., Новиков М.А., Федорова М.И., Голодов А.В., Рожков А.Н.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Фазоповоротное устройство с тиристорным управлением (ФПУ) является одной из перспективных разработок в области гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока (в иностранной литературе известных как системы FACTS).

ФПУ создаёт фазовый сдвиг между напряжением первичных шин и напряжениями вторичных шин путём ввода вольтодобавочного напряжения в месте установки, что позволяет управлять потоками мощности в линиях передач переменного тока. Благодаря применению приборов силовой электроники (тиристоров), повышается надежность, срок службы, многократно увеличивается быстродействие ФПУ по сравнению с аналогичным устройством - фазоповоротным трансформатором (ФПТ).

Вопросы разработки полупроводниковых ФПУ на основе управляемых силовых ключей напрямую связаны с изучением электромагнитных процессов во всех узлах устройства. Электромагнитные процессы в статическом режиме работы ФПУ обусловлены текущим состоянием электрической сети. Электромагнитные процессы при переключении ФПУ зависят не только от состояния электрической сети, но и от алгоритмов управления тиристорными ключами. Особенности протекания электромагнитных процессов в ФПУ определяют надёжность переключения устройства.

Экспериментальные исследования тиристорного ФПУ до сих пор не проводились. В России лабораторией преобразовательной техники им. К.А. Круга ОАО «ЭНИН» создана экспериментальная установка физической модели фазоповоротного устройства по заказу ОАО «ФСК ЕЭС». Проведенные экспериментальные исследования работы ФПУ оказывают о явной необходимости таких исследований, поскольку полученные электромагнитные процессы в ряде случаев отличались от аналогичных, но рассчитанных на имитационной модели. В результате приходилось не только корректировать математические модели элементов ФПУ, но и создавать новые методики для измерения параметров элементов, необходимых для адекватного отражения протекающих процессов.

Экспериментальная установка физической модели фазоповоротного устройства (ФМ ФПУ) позволяет исследовать протекание процессов в силовой части и системе управления приближенно к реальным условиям эксплуатации ФПУ, проверить режимы работы оборудования, включая наиболее чувствительные элементы силовой части – тиристоры.

Вторым важным моментом является проверка алгоритмов управления ФПУ, а также работоспособности системы управления в условиях реальных электромагнитных помех. Отработка алгоритмов работы системы управления, диагностики и защиты ФПУ.

Проведение параллельного исследования, как на физической установке, так и на математической модели дает возможность убедиться в адекватности протекающих в них процессов, скорректировать параметры математической модели и тем самым получить мощное средство для расчета и проектирования ФПУ.

Таким образом, задача исследования электромагнитных процессов в силовых схемах полупроводниковых ФПУ, анализа и разработки алгоритмов управления, учитывающих состояние энергосистемы, является своевременной и актуальной, и требует детального рассмотрения.

Исследование выполняется ОАО "ЭНИН" совместно с сотрудниками кафедры Промышленной электроники НИУ «МЭИ» в рамках прикладного проекта "Разработка

автоматизированного узла регулирования транспортных потоков мощности в интеллектуальной распределительной электрической сети" с финансовой поддержкой Министерства образования и науки Российской Федерации (проект RFMEFI57914X0045) и применением уникальных научных установок.

Список использованных источников

1. Новиков М.А., Панфилов Д.И., Рашитов П.А., Ремизевич Т.В. Анализ процессов одновременной коммутации тиристорных мостов в преобразователях с многообмоточными трансформаторами. *Электричество*, №6, 2013.
2. Асташев М.Г., Панфилов Д.И., Рашитов П.А., Рожков А.Н. Анализ способов управления ключами тиристорного моста переменного тока. *Известия РАН: Энергетика* №4, 2014.
3. Голодов А.В., Ремизевич Т.В., Федорова М.И. Технические средства защиты и диагностики тиристорного преобразователя в составе мощного фазоповоротного устройства. *Глобализация науки: проблемы и перспективы. Сборник статей Международной научно-практической конференции, 7 февраля 2014г. Часть 2.* Уфа: РИЦ БашГУ.

ГИБРИДНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ГАРАНТИРОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

*Тягунов М.Г., Васьков А.Г., Абраменко Д.М.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

Развитие локальных энергетических систем, не включенных в систему централизованного электроснабжения, в значительной степени связано с использованием местных энергетических ресурсов, в том числе возобновляемых. Однако установки на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) обладают одним существенным недостатком: в отсутствие аккумуляторов энергии большой емкости не имеют гарантий обеспечения потребителей электроэнергией на уровне, определенном ПУЭ.

На сегодняшний день в мире не существует единого системного подхода к обоснованию структуры и параметров гибридных энергокомплексов с учетом режимов работы генерирующих установок и потребителей регуляторов. Для эффективного применения технологий малой распределенной энергетики важным условием является учёт специфики локального спроса, максимальное использование местных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии, единство всего энергокомплекса – от генерации до потребителя.

Предлагаемый в работе подход основан на комплексном обосновании параметров генерирующей, накапливающей, передающей, распределяющей и потребляющей частей локальной энергосистемы, которую предлагается называть «гибридным энергетическим комплексом». При разработке интеллектуальных распределенных энергетических систем с использованием возобновляемых источников энергии существенного повышения энергетической эффективности их работы можно достичь путём комплексной оптимизации режимов работы генераторов, аккумулирующих устройств и потребителей-регуляторов в едином процессе оптимизации. В проектной практике разные организации решают этот вопрос путем экспертной оценки. В предлагаемой работе осуществляется реализация данного комплексного подхода к оптимизации интеллектуальных гибридных энергокомплексов.

Говоря о системных свойствах систем энергоснабжения, необходимо рассматривать основные элементы, которые формируют целевую и технологическую структуру распределенной энергосистемы, состоящей из множества локальных самобалансирующихся энергоузлов, объединенных линиями обмена резервной или балансирующей мощностью.

Энергосистемы включают в свой состав потребителей, формирующих спрос на электрическую, тепловую, механическую и др. виды потребляемой энергии, производителей (генераторов) требуемых видов энергии, средств доставки энергии потребителю, гибкую систему резервирования поставщиков энергии и эффективного управления всеми элементами системы.

Важными особенностями малых энергосистем являются:

- каждый энергоузел представляет собой локальную энергосистему (ЛоЭС) со своей генерирующей, транспортной и потребляющей инфраструктурой;
- единичная мощность источников и потребителей энергии соизмеримы с мощностью ЛоЭС;
- режим работы каждого элемента влияет на устойчивость и надёжность работы остальных элементов и всей ЛоЭС;
- энергетическая безопасность энергоузлов достигается за счет их самобалансирования и управляемости потребителей.

Гибридный энергетический комплекс (ГЭК) – техническая система, объединяющая в рамках единого технологического процесса генераторы электрической, тепловой и др. видов энергии различных типов, аккумуляторы энергии, средства коммутации и передачи энергии, а также активных потребителей.

Использование энергетических установок на основе ВИЭ в малых энергосистемах затруднено отсутствием у них возможностей обеспечения гарантированного энергоснабжения, что лежит в основе модели управления традиционными энергосистемами – от проектируемого источника энергии требуется выработка энергии в точном соответствии с графиком потребления энергии в заданном интервале времени. С системной точки зрения это приводит к неучёту электростанций на основе ВИЭ в балансе энергосистемы.

Преодоление этого затруднения обычно ищется в области создания аккумуляторов электроэнергии.

Уже достаточно давно в литературных источниках упоминается идея о том, что эффективность использования изолированных ВИЭ должна повышаться путём развития регулируемых нагрузок, которые могут использовать энергию в любое время, а получаемый в результате их работы продукт может храниться без устройства дорогих сооружений (водоподъём, помол зерна, дробление сухих кормов, отопление с применением тепловых аккумуляторов).

Анализ результатов численных экспериментов по моделированию энергоснабжения населённого пункта, показав эффективность предложенных подходов по оптимизации всего ГЭК в целом – и его генерирующей части, и потребителя. Использование баков-аккумуляторов, выполняющих роль аккумулятора, позволяет существенно увеличить долю ВИЭ в энергобалансе такого потребителя.

Показано, что эффективность использования ВИЭ может быть повышена путём развития потребителей-регуляторов (потребителей энергии и потребителей свободной мощности), которые могут использовать энергию в любое время, когда есть приход ресурса ВИЭ.

Эффективность использования ГЭК возрастает по мере того, как его потребляющая часть становится менее требовательной к бесперебойности электроснабжения, т.е. при снижении требований потребителя к бесперебойности электроснабжения появляется возможность более широкого использования ВИЭ, что приводит не только к снижению топливных затрат, но и установленной мощности резервирующей ДГУ. При этом увеличивается доля свободной мощности, вырабатываемой установками на основе ВИЭ, которая может быть использована для работы потребителя-регулятора, а оптимизация структуры потребителей ГЭК позволяет снизить затраты на дизельное топливо на 50 %.

Возможные технические решения потребителей-регуляторов:

- Системы тепло- и хладоснабжения, оборудованные баками-аккумуляторами тепла (холода);
- Системы водоснабжения с гидравлическими аккумуляторами (водонапорными башнями, водохранилищами водохозяйственного назначения).

На кафедре ГВИЭ НИУ «МЭИ» начаты работы по разработке типовых гибридных энергетических комплексов, предназначенных для гарантированного теплоснабжения потребителей и водоснабжения водопользователей и водопотребителей. Для успешной и эффективной работы гибридный энергетический комплекс должен быть оснащён интеллектуальной системой управления, представляя из себя интеллектуальную сеть Microgrid.

Целью проекта является: повышение энергетической эффективности интеллектуальных энергетических комплексов распределённых энергосистем на основе сов-

местного использования местных источников энергии, аккумулирующих устройств и управляемых потребителей энергии путём режимного обоснования их параметров.

Задачи проекта и возможные пути их решения:

- определение взаимозависимости режимных параметров генераторов энергетических комплексов, аккумуляторов и управляемых потребителей энергии в системах распределенной энергетики;
- разработка принципов и алгоритмов интеллектуального управления режимами работы гибридного энергетического комплекса;
- разработка методики обоснования структуры и параметров гибридных энергетических комплексов на основе совместного использования традиционных и возобновляемых источников энергии, аккумулирующих устройств, управляемых потребителей и средств интеллектуального управления ими для систем распределенной энергетики на различных стадиях их проектирования.

Предлагается поэлементное моделирование всех узлов комплекса, что позволит включать разработанные модели в состав программных средств диспетчерского управления, автоматизированного управления и автоматизированного проектирования этих установок и энергетических комплексов с их участием.

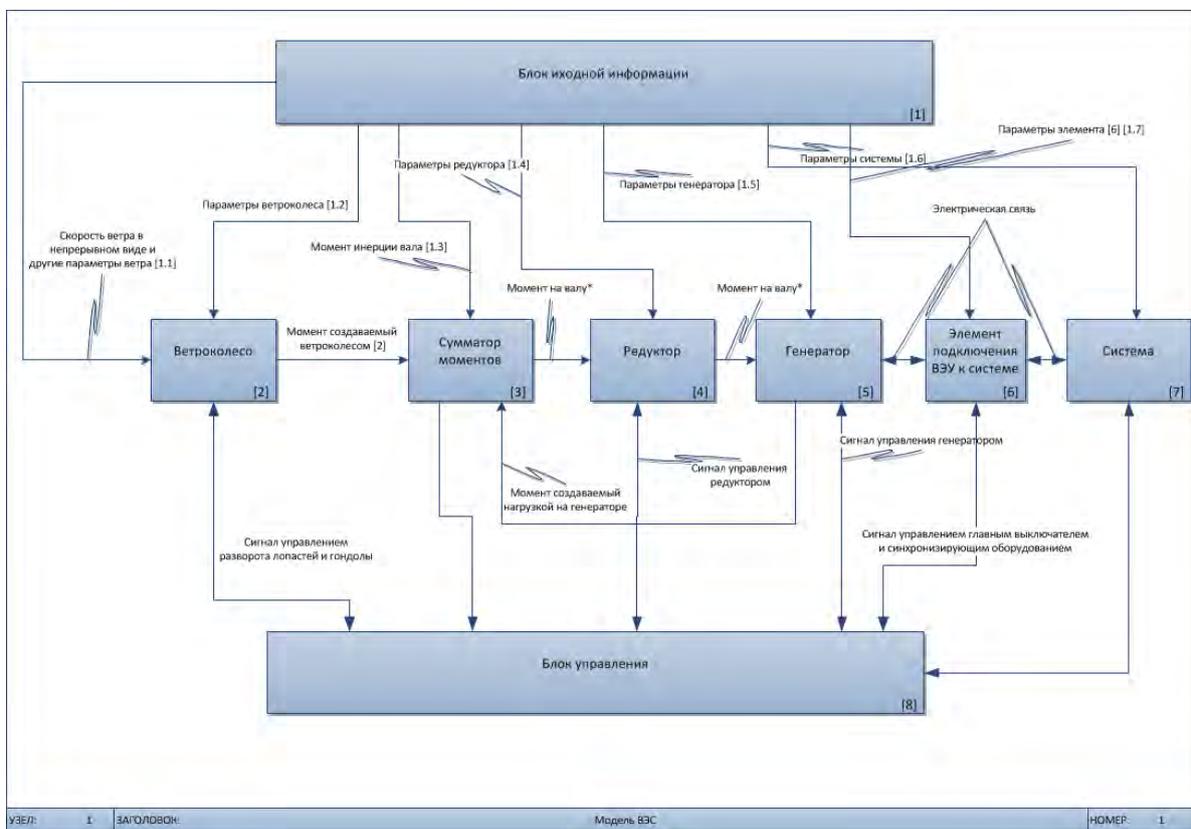


Рис. 1. Пример поэлементного моделирования ВЭУ

Для обеспечения адаптивности и надежности, в системе необходимо учитывать износ оборудования, прогноз климатически условий, запаса топлива и расходные материалы. На основе этих данных формируется наиболее эффективный плановый режим работы комплекса, который корректируется в реальном времени на основе изменения внешних данных.

Второй шаг построения данной системы, это разработка адаптивных или интеллектуальных алгоритмов. Задача этих алгоритмов в реальном времени оценить величину отклонения от планового режима и выдать решение по предотвращению неисправности или локализации неисправности. На основе которых будут формироваться

управляющие воздействия и рекомендовать воздействия для увеличения эффективности работы комплекса.

Функционирование такой системы позволит:

- Снизить эксплуатационные затраты до минимума;
- Снизить необходимый запас топлива для гарантированного источника питания и спрогнозирует его расход;
- Повысить общую надежность электроснабжения потребителя.

**КОМПЬЮТЕР В КУРСАХ МЕХАНИКИ И МЕХАТРОНИКИ В НИУ МЭИ:
ОТ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДО АНИМАЦИИ***Капустина О.М.**Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

В докладе отражён опыт применения систем компьютерной алгебры (СКА): лицензионной Mathematica и свободно распространяемой Maxima, в преподавании курсов «Теоретическая механика», «Динамика мехатронных систем» в Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» на кафедре теоретической механики и мехатроники. Описана методика использования СКА при выполнении студентами первого и второго курса расчётно-графических работ по разделам «Статика», «Кинематика», «Динамика», а также при подготовке студентами старших курсов и аспирантов курсовых, квалификационных бакалаврских работ, магистерских и кандидатских диссертаций. Представлены примеры построения и решения уравнений, проведения параметрического анализа, создания анимации в задачах статики плоской системы сил, кинематики многосвязных управляемых механизмов, динамики неголономных систем.

Практика использования компьютера в НИУ МЭИ имеет давнюю историю. Профессор И.В.Новожилов, известный советский и российский учёный, заложил основы применения ЭВМ в преподавании теоретической механики [1]. Начиная с 70-х годов двадцатого века, тысячи студентов МЭИ прошли и проходят в настоящее время практикум по решению задач механики с помощью компьютера.

Представители научно-методической школы И.В.Новожилова, к которым относится и автор доклада, руководствуются следующим принципом: студента следует учить построению моделей механических систем и проведению их численного, аналитического, графического анализа. Компьютер и программное обеспечение рассматриваются как эффективные и удобные подручные средства в этом образовательном процессе.

В начале обучения студенты вручную составляют уравнения равновесия и движения различных механических и электромеханических систем и обращаются к компьютеру для получения и анализа численного решения построенных уравнений. На следующем этапе они учатся составлять и сами уравнения с помощью компьютера, а также строить простейшие анимации на основе решения этих уравнений. В выпускных бакалаврских работах, магистерских и кандидатских диссертациях студенты и аспиранты проводят анализ динамики сложных управляемых систем, используя компьютерное моделирование, включающее построение геометрических иллюстраций и анимации. СКА Mathematica и Maxima являются превосходными инструментами как преподавателя, так и студента на всех этапах обучения.

Студенты НИУ МЭИ изучают теоретическую механику в течение одного или двух семестров на первом и втором курсах и выполняют за это время от трёх до пяти самостоятельных расчётно-графических заданий с помощью компьютера. Для выполнения каждого из заданий разработаны электронные методические указания-программы на языках Mathematica и Maxima [2-6]. Практика показала, что свободно распространяемая Maxima, хотя и уступает во многом лицензионной Mathematica, может быть достаточно эффективно использована в учебном процессе. Программы на обоих языках содержат текстовые и исполняемые ячейки, в которых размещены условия задач в виде текста, рисунков и таблиц, генераторы случайных значений параметров для индивидуального задания, описание постановок задач, методические указания к выполнению заданий, а также разобранные примеры. Студент, получив такие

программы-шаблоны, редактирует их в соответствии со своими индивидуальными заданиями.

В частности, при изучении раздела «Статика» требуется выполнить расчёт С-1 из [1] по определению реакций связей составной конструкции, дополненный исследованием зависимости реакций внутренних связей от веса тел конструкции [2]. Одно из заданий по разделу «Кинематика» посвящено исследованию управляемого движения многозвенного робота манипулятора [1]. В этом задании робот должен приблизиться к детали D , движущейся по известному закону. Учащиеся самостоятельно составляют уравнения движения робота, находят их численное решение и строят с помощью предложенной программы-шаблона анимацию всего механизма или только двух точек, схвата робота M и детали D . На рис. 1, рис. 2 представлены кадры анимации робота и детали для варианта №16 задания, полученные с помощью Mathematica и Maxima соответственно.

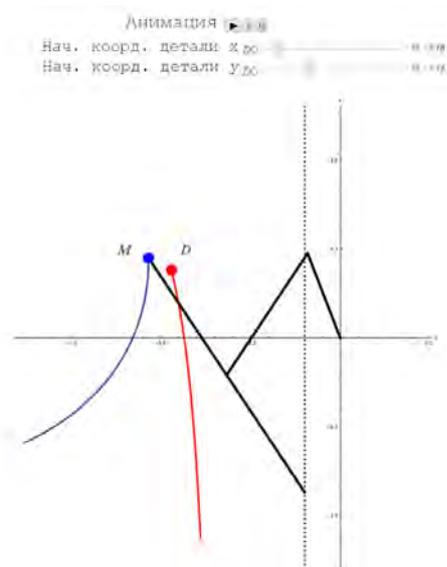


Рис.1. Кадр анимации робота-манипулятора, полученный с помощью Mathematica

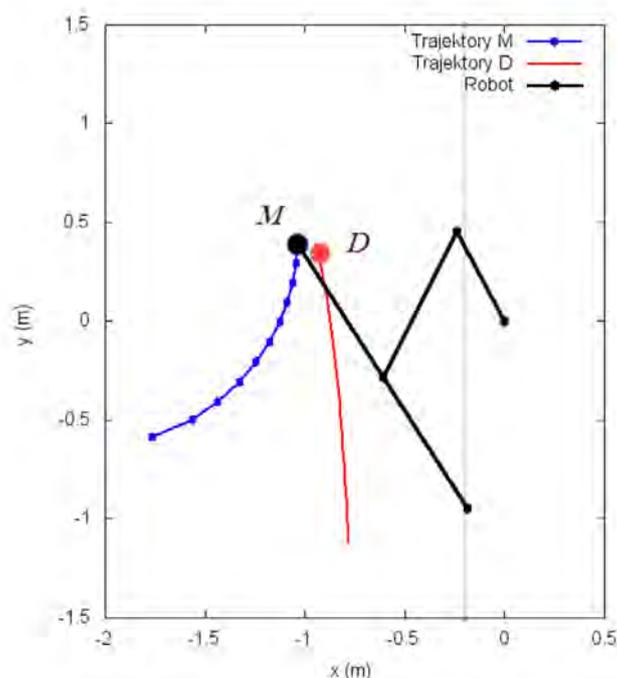


Рис.2. Кадр анимации робота манипулятора, полученный с помощью Maxima

При изучении раздела «Динамика» студенты выполняют с помощью Mathematica и Maxima расчёты по динамике материальной точки, находят динамические реакции несбалансированного ротора, составляют и решают уравнения Лагранжа II рода машины с кулисным приводом. Программа-шаблон на языке Maxima для расчёта реакций ротора разработана с участием студентов II курса [5].

Студенты старших курсов и аспиранты используют СКА при изучении курса «Динамика мехатронных систем» и других курсов, в исследованиях при выполнении выпускных и диссертационных работ. Сотрудниками кафедры в методических целях разработан веб-сайт "Компьютерные технологии в механике" [7], на котором в открытом доступе находятся программы Mathematica построения уравнений динамики неавтономных систем, линеаризации этих уравнений, построения и исследования характеристического уравнения системы линеаризованных уравнений и др. В частности, на сайте представлена программа построения анимации движений одноколёсного робота. Результат работы этой программы в виде анимации возмущённых движений диска является наглядной иллюстрацией понятия устойчивости по Ляпунову.

На кафедре ведутся научные работы [8,9], относящиеся к исследованию динамики одноколёсных роботов геометрическими методами. Получаемые при этом с помощью СКА бифуркационные диаграммы Пуанкаре-Четаева и Смейла, являющиеся геометрическими трёхмерными образами стационарных движений, а также анимация движений, отвечающих точкам этих поверхностей, способствуют лучшему пониманию динамики роботов, делая возможным участие студентов кафедры в научных работах.

Использование современных компьютерных методов в преподавании и исследованиях позволяет повысить интерес учащихся к предмету, сделать более содержательным и наглядным анализ предлагаемых задач. Полученный опыт применения СКА помогает освоению других профессиональных компьютерных систем.

Список использованных источников

1. Новожилов И.В., Зацепин М.Ф. Типовые расчёты по теоретической механике на базе ЭВМ. М.: Высш. шк., 1986. 136 с.

2. Капустина О.М., Мартыненко Ю.Г. Примеры параметрического анализа в задачах теоретической механики с помощью системы MATHEMATICA / Сборник научно-метод. статей по теоретической механике. М.: Изд-во МГУ, 2009, № 27, с. 107-120.

3. Капустина О.М. Применение свободно распространяемой системы компьютерной алгебры Maxima в преподавании теоретической механики / Сборник научно-метод. статей по теоретической механике. М.: Изд-во МГУ, 2012, № 28, с. 81-88.

4. Kapustina O.M. Mathematica in teaching at the Moscow Power Engineering Institute. Wolfram Research in collaboration with UNICEF. Computer-Based Math Education Summit 2013, November 21-22, New York USA // <http://www.computerbasedmath.org/events/education-summit-newyork-2013/schedule.html#friday>

5. Ищенко Д.С., Капустина О.М., Черников А.В. Решение задач теоретической механики с помощью системы символьных вычислений Maxima // Международная конференция «Восьмые Окуневские чтения». 25-28 июня 2013 г., Санкт-Петербург: Материалы докладов / Балт. техн. гос. ун-т. – СПб., 2013. С.373-374.

6. Капустина О.М. Геометрические интерпретации, компьютерные анимации в преподавании теоретической механики // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» - ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15-16 апреля 2014 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 539-540. http://inforino2014.mpei.ru/doc/proc_lo.pdf

7. Kapustina O.M., Martynenko Y.G. Computer technology in the mechanics. <https://sites.google.com/site/comptechmechanics/>

8. Борисов Д.Б., Капустина О.М., Мартыненко Ю.Г. Свойства геометрических образов стационарных движений диска-гиростата на шероховатой плоскости // Международная конференция «Восьмые Окуневские чтения». 25-28 июня 2013 г., Санкт-Петербург: Материалы докладов / Балт. техн. гос. ун-т. СПб., 2013. С.82-84.

9. Kapustina O.M., Martynenko Y.G. Stability Analysis and Visualization of One-Wheeled Robot Steady Motion. European Wolfram Technology Conference 11-12 June 2013, Frankfurt, Germany. <http://www.wolfram.com/events/technology-conference-eu/2013/resources.html>

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Лепанов М.Г., Киселев М.Г.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

В трехфазных системах электроснабжения основными параметрами, характеризующими качество электроэнергии, являются отклонение напряжения от номинального значения, искажение токов и напряжений, величина несимметрии напряжений и токов. Ухудшение качества электроэнергии обусловлено ограниченной мощностью источников электроэнергии, нелинейными потребителями, а также нагрузкой индуктивного характера [1]. Снижение коэффициента мощности ($\cos\varphi$) приводит к росту потерь при передаче электроэнергии. Высокочастотные гармонические составляющие тока и напряжения также приводят к увеличению потерь и нарушению работы различных электротехнических устройств. Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трехфазной сети напряжений обратной и нулевой последовательностей, что приводит к дополнительным потерям мощности и ухудшению режимов и параметров ее работы. Наложение напряжений и токов обратной и нулевой последовательностей приводит к разным дополнительным отклонениям напряжения в фазах и к увеличению токов в отдельных фазах. Исключительное значение имеет проблема перегрузки нейтрального провода, в котором складываются токи нулевой последовательности и гармонические составляющие с тройной частотой по сравнению с основной.

Низкое качество электрической энергии характерно для систем электроснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства, офисных зданий, коттеджных поселков и других подобных потребителей, имеющих большое количество различных однофазных нелинейных нагрузок. Используемые в настоящее время средства фильтрации гармоник и симметрирования токов при помощи пассивных элементов имеют ряд ограничений и существенных недостатков, что не позволяет обеспечить электроснабжение потребителей с требуемыми показателями качества. Данная проблема решается посредством создания высокоэффективных устройств повышения качества электроэнергии (компенсации неактивной мощности) на базе выпрямительно-инверторных преобразователей с емкостными накопителями энергии (статических компенсаторов и активных фильтров) [2]. Улучшение характеристик подобных устройств достигается разработкой алгоритмов высокочастотного импульсного управления преобразователями.

Многофункциональный регулятор качества электроэнергии на основе силового электронного устройства компенсации неактивной мощности выполняет три функции: снижение искажения формы тока, потребляемого из сети; симметрирование токов в фазах сети; компенсация реактивной мощности. Устройство подключается непосредственно к шинам питания потребителей, обеспечивая потребление только активной составляющей мощности за счет повышения коэффициента мощности, уменьшения коэффициента гармонических искажений (THD) и компенсации обратной и нулевой последовательностей тока.

Принцип работы. Регулятор выполнен на основе силового электронного преобразователя, на стороне переменного тока которого включены дроссели, соединенные с электрической сетью (Рис. 1). Преобразователь представляет собой трехфазную мостовую схему на IGBT-транзисторах. Такой преобразователь способен генерировать ток произвольной фазы. Таким образом, комплексный вектор выходного тока может изменяться в четырех квадрантах относительно вектора напряжения, что соответствует выпрямительному и инверторному режимам работы с регулированием реактивной мощности. Форма тока дросселей определяется выходным напряжением в каждой фазе пре-

образователя. Создание требуемых выходных токов осуществляется методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) выходного напряжения преобразователя. На стороне постоянного тока преобразователя подключен конденсатор, обеспечивающий работу преобразователя в качестве источника напряжения (инвертора напряжения). Для генерирования реактивных токов, фильтрации гармоник или устранения небаланса токов сети на стороне постоянного тока преобразователя достаточно использовать конденсатор небольшой емкости.

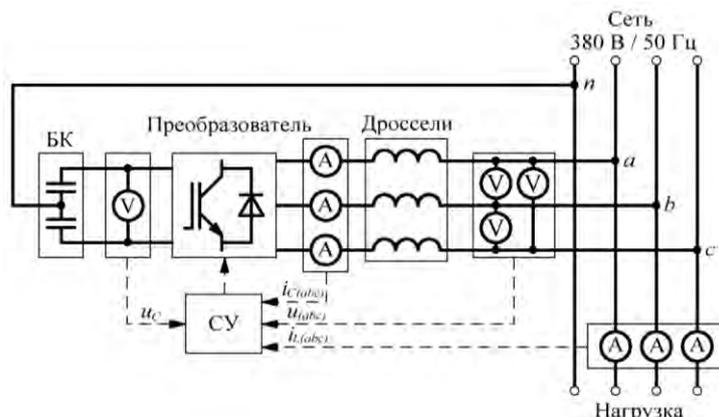


Рис. 1. Блок-схема регулятора качества электроэнергии (БК – блок конденсаторов; СУ – система управления)

Система управления преобразователя, выполненная на основе микроконтроллера (DSP), получает информацию с датчиков напряжений и токов. Измеряются напряжения и токи нагрузки, токи дросселей и напряжение на конденсаторном блоке. Используя эти входные сигналы, система управления формирует по заданному алгоритму импульсы управления транзисторами преобразователя. В системе управления регулятора, структурная схема которой показана на Рис. 2, можно выделить два основных функциональных блока, вычисляющих опорные сигналы токов и напряжений. Первый блок определяет неактивные составляющие тока нагрузки, которые должны быть скомпенсированы. Второй блок вычисляет сигналы напряжений, требуемых для формирования соответствующих токов.

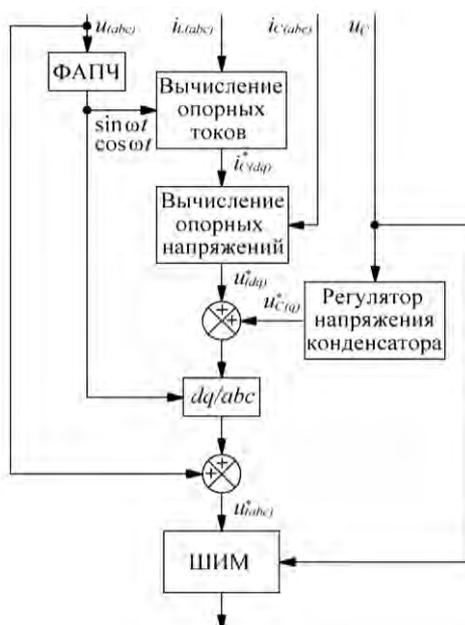


Рис. 2. Структура системы управления многофункционального регулятора

Алгоритмы управления основаны на использовании преобразования трехфазных координат во вращающуюся синхронную систему координат (abc/dq -преобразование) [3]:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ q_1 \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \cdot \begin{bmatrix} \sin \vartheta & \sin(\vartheta - \frac{2\pi}{3}) & \sin(\vartheta + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos \vartheta & \cos(\vartheta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\vartheta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где a, b, c – сигналы трех фаз; d_1, q_1 – составляющие пространственного вектора тока/напряжения в синхронных координатах; $\nu = \omega t$ – фазовый угол координатных осей d и q (фаза синхронизированных сигналов). Блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) генерирует гармонический сигнал основной частоты в фазе с напряжением фазы A . Этот блок реализуется как система регулирования на основе обратной связи по фазе синхронизируемого сигнала. В результате d -составляющая напряжения будет постоянной положительной величиной, а q -составляющая станет равной нулю. Таким образом, d -составляющая токов соответствует активному току, а q -составляющая равна амплитуде реактивной составляющей основной гармоники. В случае нелинейной и/или несимметричной нагрузки dq -компоненты токов содержат переменную (колебательную) составляющую, обусловленную высшими гармониками и/или обратной последовательностью тока. Для получения опорных сигналов токов в dq -координатах (вычисления их постоянных составляющих) используются фильтры нижних частот (ФНЧ) с минимальной фазовой задержкой и коэффициентом ослабления. Для управления токами регулятора необходимо создавать на выходе преобразователя соответствующие напряжения методом ШИМ. Регулирование тока обеспечивается посредством отрицательной обратной связи. Регулятор напряжения конденсатора обеспечивает поддержание на конденсаторах постоянного номинального уровня напряжения, который должен быть существенно выше амплитуды линейного напряжения, которое достигается в случае неуправляемого заряда через диоды преобразователя.

Фильтрация гармоник тока. В режиме активной фильтрации регулятор качества электроэнергии генерирует гармонические составляющие, соответствующие гармоникам тока с наибольшей амплитудой, потребляемого нелинейной нагрузкой. Алгоритм вычисления сигналов задания токов основан на использовании abc/dq -преобразования отдельно для каждой компенсируемой гармоники [4]. Учитывая, что 5-я и 11-я гармоники соответствуют обратной последовательности трехфазного сигнала, для вычисления опорных сигналов используется преобразование координат для обратной последовательности (abc/d_2q_2), а постоянные составляющие в d_2q_2 -координатах определяют амплитуду требуемой гармоники тока. Аналогично, для вычисления 3-й и 9-й гармоник применяется преобразование координат для нулевой последовательности.

На рис. 3 показаны результаты моделирования устройства в режиме компенсации гармоник тока для характерной нелинейной нагрузки – выпрямителя в каждой фазе. В спектре тока нагрузки присутствует значительная 3-я гармоника (150 Гц). Формируемые модулирующие сигналы содержат 3, 5, 7, 9 и 11-ю гармоники. Форма тока, потребляемого из сети, становится близкой к синусоидальной. Гармоники 3 и 9 замыкаются между регулятором и нагрузкой, обеспечивая, таким образом, разгрузку нейтрали.

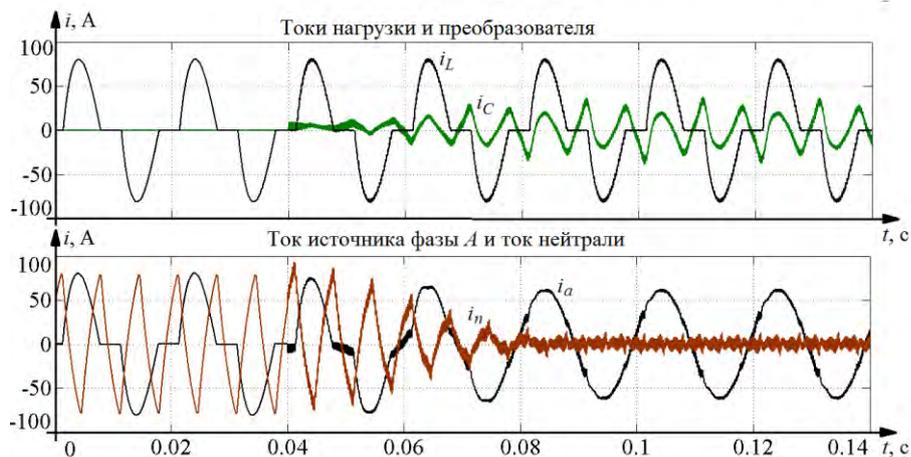


Рис. 3. Результаты моделирования регулятора качества электроэнергии в режиме активной фильтрации

Симметрирование токов. В режиме симметрирования токов регулятор генерирует токи, которые соответствуют обратной и нулевой последовательностям токов нагрузки [5]. Опорные сигналы вычисляются с использованием d_2q_2 -координат и d_0q_0 -координат.

Компьютерное моделирование режима симметрирования токов проводилось при резистивной несбалансированной нагрузке (Рис. 4). Амплитуда потребляемого тока фазы B в два раза меньше токов других фаз. В результате компенсации нулевой и обратной последовательностей токов происходит выравнивание фазных токов сети. Нулевая последовательность тока протекает в нейтральном проводе между регулятором и нагрузкой, а ток в нейтральном проводе сети снижается практически до нуля.

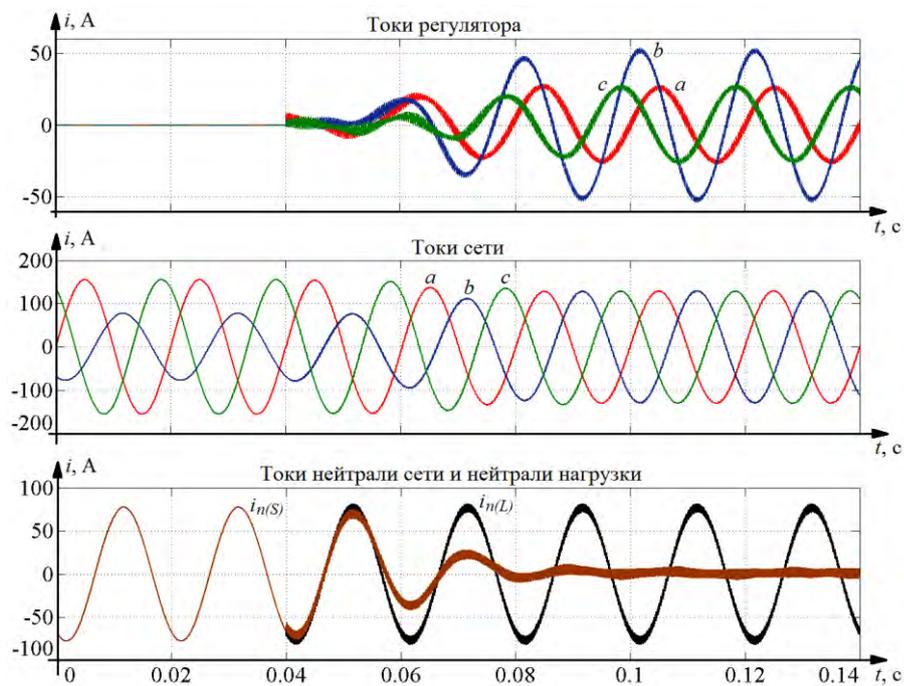


Рис. 4. Моделирование режима симметрирования токов

Список использованных источников

1. Карташев И.И., Тульский В.Н., Шаров Ю.В. и др. Управление качеством электроэнергии. – М.: Изд-во МЭИ, 2006.
2. Moreno-Munoz A. Power quality: mitigation technologies in a distributed environment. – London: Springer, 2007.
3. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. – М.: МЭИ, 2007.
4. Montero M.I.M. Comparison of Control Strategies for Shunt Active Power Filters in Three-Phase Four-Wire Systems // IEEE Transactions on Power Electronics. 2007. Issue 1. – P. 229-236.
5. Киселев М.Г., Розанов Ю.К. Анализ режимов работы статического компенсатора реактивной мощности в режиме симметрирования нагрузки // Электричество. 2012. №3.

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ НАКАТОМ ГИБКИХ ЛЕНТ

Устинов В.Ф., Степанов А.С.

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Основная задача микроэлектромеханики – создание не имеющих аналогов микромеханических конструкций широкого назначения.

Существует область микроэлектромеханических систем (МЭМС), представленная пленочными емкостными устройствами, в основе принципа действия которых лежит электростатический накат гибких проводящих лент на диэлектрическую пленку. Отечественными учеными из СО РАН были исследованы задачи о притяжении упругой ленты к диэлектрической пленке [1], японскими учеными рассмотрен накат ленты в электростатическом микроклапане [2]. В начале 2000-х был разработан эффект преобразования энергии, основанный на электростатическом накате упругой металлической ленты на поверхность сегнетоэлектрической пленки [3]. Исследователи рассмотрели применение наката в ряде устройств, таких как микродвигатель поступательного типа [3] и микроинжекторы микроструй жидкости [4].

Целью исследования является решение научной проблемы в области создания новых моделей современных МЭМС с электростатическим накатом, а также представления методов их анализа.

Для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- разработка конструктивных схем и динамических моделей микродвигателей и микросенсорных устройств с системой пленочных емкостных микроактюаторов;
- анализ различных режимов движения устройств;
- определение областей допустимых параметров системы для требуемых режимов работы устройств;
- разработка программного обеспечения для аналитического и численного анализа различных режимов движения устройств.

Разрабатываемые устройства могут использоваться при построении систем управления и диагностики, использующихся для решения задач безопасности и обследования объектов тепловой и атомной энергетики, создании блоков измерения ускорений, датчиков давления, в системах навигации мобильных роботов и авионики.

Методы исследования механико-математических моделей подобных устройств определяются спецификой изучаемых объектов и включают в себя:

- теорию емкостных электромеханических структур;
- асимптотические методы нелинейной механики;
- методы математического моделирования и аналитических вычислений.

Для описания динамики рассматриваемых МЭМС необходимо следующие классы систем уравнений:

- дифференциальные уравнения для потенциалов электростатических полей с комбинацией подвижных и неподвижных границ емкостных структур; по результатам решения, которых определяется электростатическое давление на подвижных границах;
- нелинейные дифференциальные уравнения для краевой задачи продольно-поперечного изгиба гибких лент (стержней) переменной длины при действии электростатического давления (нелинейность связана с большими деформациями лент и их электростатическим нагружением); по результатам решения краевой задачи определяются реакции лент на массу рабочего элемента МЭМС (слайдера);

- дифференциальные уравнения движения масс слайдера с нелинейной правой частью; по результатам интегрирования анализируются режимы движения слайдера при наличии напряжения на обкладках емкостных структур.

Комплексное решение всей совокупности дифференциальных уравнений электромеханической системы со столь сложными граничными условиями требует разработки соответствующих численных процедур.

В данной работе каждая из сформулированных выше задач решаются самостоятельно при использовании различного рода упрощающих допущений.

Реверсивный электростатический микродвигатель вращения (рис. 1) содержит ротор 1 с упругими лентами 2а, 2б, статор 3, с последовательно нанесенными проводящим слоем 4, сегнетоэлектрической пленкой 5, систему управления и питания (СУиП) 6, датчик угловой скорости 7, и приводится в движение системой микроактюаторов. Ленты 2а, 2б и проводящий слой 4 образуют конденсаторы переменной емкости.

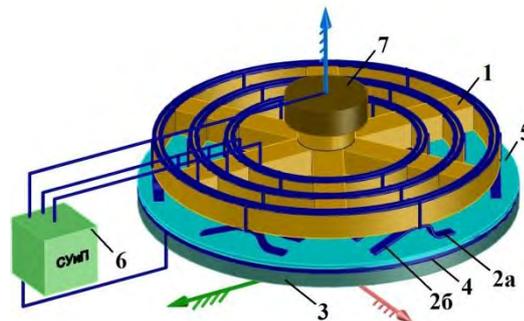


Рис. 1. Конструктивная схема микродвигателя

В пакете компьютерной алгебры *Maple* смоделирована динамика микроактюатора в шаговом режиме [6], в процессе разгона и в квазиустановившемся режиме [7, 8].

На основе принятой динамической модели микродвигателя вращения с учетом качества сопряжения контактирующих поверхностей (лента – пленка) построены его квазистационарные характеристики. На базе двухступенной упруго-массовой модели микроактюатора выполнен сравнительный анализ проскальзывания ленты на начальном этапе воздействующего импульса напряжения при учете сил адгезии.

Микромеханическое сенсорное устройство [9] (рис. 2) включает в себя чувствительный элемент 1 маятникового типа с упругими лентами 2а, 2б, основание 3. Чувствительный элемент 1, имеющий перфорационные отверстия 6, посредством торсионов 7 прикреплен к рамке 8.

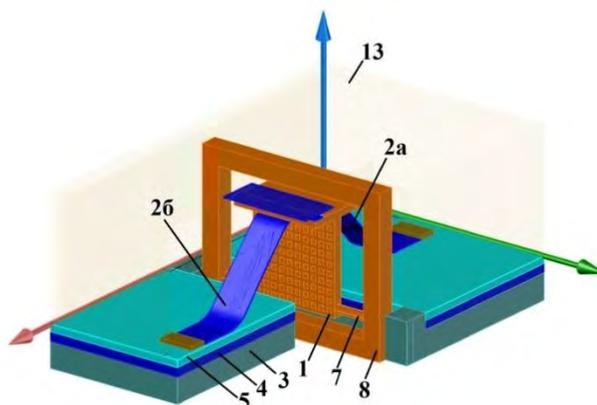


Рис. 2. Конструктивная схема микросенсорного устройства

Функционирование устройства возможно в качестве измерителя силового, кинематического возмущений в прямом и в компенсационном режимах.

Определены области допустимых значений основных параметров микросенсорного устройства исходя из величин допустимых механических напряжений и максимальных углов поворота сечений лент, а также от величины линейной зоны для чувствительности устройства.

Построена линейная модель сенсорного устройства. Установлены влияния базового напряжения и базового угла наклона лент на величину чувствительности системы. Установлено, что увеличение базовых напряжения и угла наклона лент приводит к повышению чувствительности.

На следующих этапах проекта будут разработаны конструктивные схемы и динамические модели микродвигателей, микросенсорных устройств с системой емкостных пленочных микроактюаторов со встроенными пьезоэлектрическими преобразователями. Предполагается, что указанные модели микроустройств позволят реализовать различные варианты движения рабочего элемента (слайдера): поступательное или вращательное; при этом накат гибких слоистых лент микроактюаторов будет осуществляться на плоские либо цилиндрические поверхности подложек.

В рамках указанных моделей будут выполнены следующие разработки:

- определены статические характеристики пьезопреобразователей;
- разработана методика расчета электростатического давления, действующего на гибкие ленты при их накате в неоднородном электростатическом поле при накате на цилиндрические поверхности подложки;
- установлено влияние упруго-массовых параметров микроактюаторов на динамику микродвигателей и чувствительность микросенсорных устройств;
- определены влияния внешних вибрационных воздействий на характеристики МЭМС.

Исследования по проекту выполняются при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 12-08-01072-а), совета по грантам Президента Российской Федерации (победитель конкурса 2013 года на право получения стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам № СП-4911.2013.3).

Список использованных источников

1. Плёночная электромеханика В.Л. Дятлов, В.В. Коняшкин, Б.С. Потапов и др. – Новосибирск: «Наука», 1991.
2. Sato K., Shikida M. An electrostatically actuated gas valve with S-shaped film element // Journal of micromechanics and microengineering. – 1994. – Vol. – 4. – P. 205–209.
3. Baginsky I.L., Kostsov E.G. High-energy capacitance electrostatic micromotors // Journal of micromechanics and microengineering. – 2003. – Vol. – 13. – P. 190–200.
4. Ахметов Д.Г., Косцов Э.Г., Соколов А.А. Микроэлектромеханические электростатические высокопроизводительные инжекторы микроструй жидкости // Нано- и микросистемная техника. – 2008. – № 1. – С. 53-60.
5. Реверсивный электростатический микродвигатель вращения: пат. на изобр. 2513030 Рос. Федерация: МПК⁵¹ H02N1/00 / В. Ф. Устинов, А.С. Степанов: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МЭИ». – 2012113770/07; заявл. 10.04.2012; опубл. 20.04.2014.
6. Устинов В.Ф., Степанов А.С. Моделирование динамики электростатического планарного микродвигателя // Вестник МЭИ. – 2010. – №4. – С. 12-19.
7. Устинов В.Ф., Степанов А.С. Анализ динамики разгона и квазиустановившегося режима электростатического планарного устройства // Вестник МЭИ. – 2012. – №1. – С. 78-84.

8. Степанов А.С. Анализ режимов работы планарного микроактюатора с электростатическим накатом // Труды конференции-конкурса молодых учёных. 12-14 октября 2011 г. Под редакцией академика РАН Г.Г. Черного, профессора В.А. Самсонова. М.: Изд-во Моск. Ун-та. – 2012. – С. 30-37.

9. Устинов В.Ф., Степанов А.С. Разработка модели и исследование динамики микромеханического сенсорного устройства с электростатическим накатом упругих лепестков на сегнетоэлектрическую пленку // Вестник МЭИ. – 2013. – № 3. – С. 21-26.

Научное издание

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА**

Сборник материалов секции

6 – 11 октября 2014 г.

Подписано в печать 6.10.2014. Формат 60x84 ¹/₈. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л.19,99, Уч.-изд. л. 7,82. Тираж 130. Заказ 974.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014.
Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск