

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

**ЭНЕРГЕТИКА.
ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ

28 – 29 мая 2019 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Энергетика. Технологии будущего: Науч.-техн. конф. студентов (28 – 29 мая 2019 г., Москва): Тез. докл. М.: Издательство МЭИ, 2019. – с.

ISBN

Тезисы докладов студентов, помещенные в настоящий сборник, отражают их исследования в рамках Программы научных исследований «Энергетика» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» на 2019-2024 годы и освещают основные направления развития энергетики в областях: газовая и угольная генерация; атомная энергетика; ветро-, гидро-, петротермальная и солнечная генерация; распределенная генерация; передача электрической энергии; конечное потребление энергии; аккумулирование энергии; цифровизация электроэнергетики, а также технологии индустрии 4.0.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Рогалев Н.Д.	- ректор МЭИ, председатель;
Драгунов В.К.	- проректор по научной работе, со-председатель;
Замолодчиков В.Н.	- первый проректор, со-председатель;
Аникеев А.В.	- к.т.н., и.о. заведующего кафедрой АЭС;
Волков А.В.	- д.т.н., профессор кафедры ПТС;
Комаров И.И.	- к.т.н., начальник ОТТ УИД;
Насыров Р.Р.	- к.т.н., доцент кафедры ЭЭС
Орлов К.А.	- к.т.н., заведующий кафедрой ТОТ;
Рыженков А.В.	- д.т.н., директор НИО НЦ «Износостойкость»;
Тульский В.Н.	- к.т.н., директор ИЭЭ;
Тягунов М.Г.	- д.т.н., профессор кафедры ГВИЭ;
Бычкова Е.В.	- ответственный секретарь.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. Большая энергетика. Газовая и угольная генерация	5
Секция 2. Атомная энергетика	19
Секция 3. ВИЭ (ветро-, гидро-, петротермальная и солнечная генера- ция)	27
Секция 4. Распределенная генерация	39
Секция 5. Передача электрической энергии	57
Секция 6. Конечное потребление энергии	63
Секция 7. Аккумулирование энергии	71
Секция 8. Цифровизация электроэнергетики	77
Секция 9. Технологии индустрии 4.0	83

Секция 1

Большая энергетика. Газовая и угольная генерация

научный руководитель –
начальник ОТТ УИД, к.т.н. **И.И. Комаров**

*К.В. Бабушкина, студ.; рук. В.П. Соколов, д.т.н., проф.,
(НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОТЛА НА УСКП ПАРА ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ КОМПАНОВКИ И СИСТЕМЫ СУХОГО ШЛАКОУДАЛЕНИЯ

Большая часть электроэнергии, производимая на электростанциях, как в России, так и в других странах Европы и мира, производится посредством сжигания органического топлива (в частности угля). Развитие тепловых станций идет по пути увеличения начальных параметров пара. Главными преимуществами перехода от докритических параметров к сверхкритическим параметрам (540 °С и 23,5 МПа) пара являются: увеличение энергетической эффективности и сокращение удельных выбросов загрязняющих веществ (увеличение КПД снижает выбросы CO₂, NO_x, SO_x и твердых частиц).

В настоящее время ведутся разработки энергоблоков нового поколения с ультрасверхкритическими параметрами (УСКП) пара. Перегрев пара до 700 – 720 °С с одновременным повышением давления до 35 МПа позволяет повысить КПД энергоблока нетто до 47 – 49 % (в сравнении с 39 – 40 % у энергоблоков на параметры пара 540 °С / 23,5 МПа) [1].

При реализации данной разработки существует ряд проблем. Заявленный уровень параметров пара потребует применения новых материалов – сплавов на никелевой основе, что неизбежно приведет к росту стоимости энергоблоков за счет увеличения доли дорогостоящих жаропрочных сплавов в структуре металлозатрат энергетического оборудования. Целиком из никелевых сплавов в энергоблоках на УСКП пара должны изготавливаться паропроводы свежего пара (главные паропроводы).

В рамках работы будет выполнена конструктивная проработка энергетического котла с горизонтальной компоновкой. Основное преимущество данной компоновки перед традиционными состоит в сокращении длины главных паропроводов, что существенно снизит стоимость энергоблока.

Литература

1. Зарянкин А.Е., Роголёв А.Н., Сойко Г.В. Возможные пути перехода к высокотемпературным паротурбинным установкам // Естественные и технические науки. – 2013. – №. 5. – С. 228-233.

*В.Б. Дерябин, студ.; рук. Л.В. Агамиров, д.т.н., проф.;
конс. А.Н. Роголев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ НА ТЭС ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА

Повышение средней температуры поверхности Земли связано с глобальным потеплением, возникающим в результате роста концентрации парниковых газов в атмосфере. Значительную часть этих газов составляет диоксид углерода, образующийся не только от естественных источников, но и в результате человеческой деятельности. При этом доля антропогенных выбросов углекислого газа, который попадает в атмосферу при выработке энергии на ТЭС, достигает порядка 25% [1].

Сократить выбросы, производимые тепловыми электрическими станциями, можно используя ряд технических решений. Одним из примеров является улавливание CO_2 из дымовых газов. Осуществляется этот процесс за счет использования технологий улавливания и хранения диоксида углерода: обработкой первичного топлива в реакторе с потоком до сжигания; отделением CO_2 от дымовых газов с помощью жидкого растворителя после сжигания; сжиганием в среде обогащенного кислорода [2]. Также возможен переход к кислородно-топливным циклам, таким как: цикл Аллама, цикл ZEITMOP [3], преимущество которых относительно традиционных циклов состоит в минимальном воздействии на атмосферу.

Несмотря на то, что решение проблемы улавливания CO_2 было найдено, вопрос о выборе экономически обоснованного варианта утилизации углекислого газа остается открытым. В связи с этим целью настоящей работы является определение наиболее перспективного способа утилизации углекислого газа на ТЭС на основе проведения технико-экономического анализа. В рамках работы исследуются следующие способы: геологическое захоронение диоксида углерода, утилизация диоксида углерода в теплицах, утилизация избыточного давления углекислого газа в турбодетандере.

Литература

1. Киндра В.О., Роголев А.Н., Роголев Н.Д. Кислородотопливные технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ в атмосферу// М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017.
2. Специальный доклад МГЭИК «Улавливание и хранение двуокиси углерода», 2005.
3. 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, 14-18 November 2016, Lausanne, Switzerland.

Д.И. Захарова, студ.; рук. Е.Т. Ильин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ И ПНЕВМАТИЧЕСКИХ
 АККУМУЛЯТОРОВ НА ТЭС ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ
 РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ДИАПАЗОНОВ**

Неравномерность графиков электрической и тепловой нагрузок в течение суток требует увеличения регулировочного диапазона электростанций. Для расширения регулировочного диапазона могут использоваться накопители энергии различного типа. В таблице представлены результаты анализа удельной плотности энергии накопителей различного типа [1].

Установка / материал	Плотность энергии после преобразования, кВт·ч/кг
Водород	20 – 23
Свинцово-кислотный аккумулятор	0,02 – 0,039
Маховик из углеволокна	0,21 – 0,41
Сжатый воздух	0,6 – 0,8 (°C, бар)

Высокие показатели имеет также вода. Например, при нагреве одного килограмма воды на 50 °C, запас энергии составит 209,3 кДж. В настоящее время аккумуляторы горячей воды и сжатого воздуха освоены и могут применяться для накопления объемов энергии в промышленных масштабах. В то же время остальные типы аккумуляторов используются в основном в качестве резервных источников небольшой мощности. Использование сжатого воздуха стало более доступно с вводом ГТУ и ПГУ. В этом случае, при прохождении провалов нагрузки часть воздуха можно забирать от компрессора работающей ГТУ и направлять в аккумулятор, снижая тем самым минимальную мощность установки. В период пиковых нагрузок аккумулятор разряжается: сжатый воздух используется для выработки электроэнергии в специальной ГТУ. Расширение регулировочного диапазона может достигать 8 – 10 % от номинальной мощности.

Применение тепловых аккумуляторов на паротурбинных ТЭЦ возможно следующим образом. Зарядка аккумуляторов производится в пиковые часы за счет увеличенного расхода сетевой воды через сетевые подогреватели, а разрядка – в часы провала. Вся дополнительная электроэнергия вырабатывается по комбинированному циклу, при этом рост отпуска электроэнергии происходит в часы увеличенного спроса на электроэнергию и максимальных цен на рынке РСВ, что приводит к росту прибыли.

Литература

1. Акулова Т.Л., Николаев И.И., Фатеев В.Н. и др. Совершенствование электрохимических систем аккумулирования энергии / *Kimya Problemleri*, 2018, №1.

*С.С. Зимина, студ.; рук. И.А. Милюков, к.т.н., доц.;
конс. В.О. Киндра, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕПЛОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ДИАПАЗОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ НА ПАРОТУРБИННЫХ ТЭЦ

Согласно Энергетической стратегии России до 2030 года эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является одной из важнейших задач энергетики Российской Федерации. Одним из наиболее распространенных способов экономии топлива на стадии производства электроэнергии и тепла является использование когенерационных установок. В нашей стране широкое применение приобрели паротурбинные теплоэлектроцентрали. Коэффициент использования теплоты топлива для этих установок достигает значения более 80 % в теплофикационном режиме работы. Однако сегодня в связи с разуплотнением графиков нагрузок положительный эффект от их использования сократился [1].

Решить проблему повышения энергоэффективности ТЭЦ при совместном прохождении графиков тепловой и электрической нагрузки можно за счет аккумулирования энергии. В частности, известны схемы аккумулирования пара со скользящим давлением, аккумулирования питательной воды (прямое, косвенное и с постоянным давлением), буферного аккумулирования и совместного аккумулирования питательной воды и пара [2].

Важной задачей при проектировании паротурбинной ТЭЦ с аккумулятором является выбор экономически обоснованных характеристик аккумулятора, зависящих от множества факторов, включая индивидуальный график тепло- и электропотребления, энергетические характеристики теплоэлектроцентрали и другие.

Цель настоящего исследования заключается в определении оптимальных с технико-экономической точки зрения характеристик системы аккумулирования энергии на паротурбинной ТЭЦ и разработка конструкции теплового аккумулятора.

Литература

1. Киндра В.О., Рогалев Н.Д., Лисин Е.М., Худякова В.П. Разработка и технико-экономический анализ тепловых схем отопительных газотурбинных электростанций / В.О. Киндра., Н.Д. Рогалев, Е.М. Лисин, В.П. Худякова // Новое в Российской электроэнергетике. – 2017 – №3 – С. 6-20.
2. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии: пер. с англ. / Г. Бекман, П. Гилли / Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272 с.

*Д.А. Каранова, студ.; рук. А.Н. Розалев, к.т.н., доц.;
конс. Д.М. Харламова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Постоянный рост численности населения приводит к росту потребления электроэнергии. Увеличение объемов её выработки неизбежно ведёт к росту выбросов вредных веществ в атмосферу. Повышение эффективности генерации электроэнергии снижает удельные выбросы продуктов сгорания.

Применение энергетических установок на базе топливных элементов (ТЭ), преобразующих напрямую химически связанную энергию топлива в электроэнергию, позволяет повысить эффективность выработки, поскольку КПД таких установок либо равен, либо выше КПД альтернативных энергоустановок такой же мощности. Другими важными преимуществами топливных элементов являются отсутствие движущихся механизмов, тихая работа, минимальное количество вредных выбросов в атмосферу [1].

Основное препятствие для эксплуатации ТЭ заключается в дороговизне используемого топлива – чистого водорода. Твердоокисные топливные элементы (ТОТЭ) способны работать на смеси водорода и угарного газа. Данный вид ТЭ является наиболее перспективным из-за отсутствия необходимости использования дорогостоящего катализатора (платины) и высокого электрического КПД, который составляет 50 – 60 % [2]. ТОТЭ целесообразно применять в составе мощных (10 – 100 МВт) гибридных энергоустановок [1]. В качестве топлива для них возможно использование генераторного газа, получаемого путем конверсии углей, запасы которых в России велики.

Целью работы является исследование технической возможности и определение целесообразности использования топливных элементов в составе технологического комплекса газификации угля, работающего на генераторном газе. В работе рассмотрены требования к топливам для ТЭ, способы их получения и разработана технологическая схема комплекса газификации угля, включающая в себя ТЭ.

Литература

1. Эркабаева Е. О., Швецов И. А. Применение твердоокисных топливных элементов для производства электроэнергии. // Актуальные проблемы энергетики: материалы 74-й НТК студентов и аспирантов – Минск: БНТУ, 2018.
2. Бредихин С.И., Голодницкий А.Э., Дрожин О.А., Истомин С.Я., Ковалевский В.П., Филиппов С.П. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технология, рынки. М.: Энергопрогресс, 2017.

*П.Г. Кодолова, ст. уд.; рук. А.В. Бурмакина, к.т.н., ст. преп.;
конс. Д.М. Харламова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕЗ-МЕТАНА ИЗ НИЗКОСОРТНЫХ УГЛЕЙ

Согласно «Стратегии экономической безопасности страны до 2030 года», главной угрозой экономической безопасности России является истощение экспортно-сырьевой модели экономического развития и истощение запасов полезных ископаемых, используемых для производства топлива, в связи с постепенным истощением действующих месторождений. Основным первичным энергоресурсом, используемым для электро- и теплоснабжения промышленности и населения страны, является природный газ. Другие виды топлива, в частности уголь, проигрывают природному газу по целому ряду показателей: стоимость транспортировки, теплота сгорания, экологическая безопасность (отсутствие выбросов оксидов серы при сжигании природного газа). В связи с этим создание теплотехнических комплексов, способных производить метан из топлив, запасы которых существенно превышают запасы природного газа, является актуальной задачей.

В рамках работы будет выполнена оценка возможности разработки эффективной технологии производства синтез-метана из низкосортных углей, разведанные запасы которых превосходят запасы нефти и природного газа. Основной задачей данной работы является разработка схем эффективного использования низкосортных (каменных, бурых) углей для переработки в высококалорийное газовое топливо.

Основными процессами разрабатываемой технологии являются получение генераторного газа и последующая конверсия его в синтез-метан по методу Фишера-Тропша в реакторе с катализатором [1]. В рамках работы необходимо определить способ газификации угля, обеспечивающий получение генераторного газа с составом, необходимым для максимизации выхода продуктов реакций метанирования.

Проведен обзор существующих технологических схем для производства синтез-метана по методу Фишера-Тропша, выполнен выбор реакторов метанирования, катализаторы которых обеспечивают максимальных выход метана.

Литература

1. Мордоквич В.З., Синева Л.В., Кульчаковская Е.В., Асалиева Е.Ю. Четыре поколения технологии получения синтетического жидкого топлива на основе синтеза Фишера-Тропша // Катализ в промышленности. – 2015. – №. 5. – С. 23-45.

*А.А. Кривошита, студ.; рук. И.В. Шевченко, д.т.н., проф.;
конс. В.О. Киндра, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ С ОРГАНИЧЕСКИМ ЦИКЛОМ РЕНКИНА

Потребление электроэнергии в мире ежегодно увеличивается за счет роста населения и высоких темпов индустриализации. При этом более 90 % всех энергетических ресурсов, используемых человечеством, приходится именно на долю органического топлива [1].

Одним из важных направлений совершенствования энергетических источников является утилизация низкопотенциальной энергии. Значительная её часть, которая зачастую рассеивается в окружающую среду вследствие выбросов продуктов сгорания в атмосферу и передачи теплоты холодному источнику, может быть полезно использована.

В частности, повысить эффективность парогазовых установок, КПД которых сегодня превышает 60 % [2], можно за счёт создания дополнительного контура рабочего тела с органическим теплоносителем. Для этого необходимо реализовать дополнительный цикл Ренкина с альтернативными рабочими телами, в качестве которых обычно используют вместо воды органическую жидкость (хладагенты и углеводороды) с более низкой, чем у воды, температурой кипения. Благодаря этому появляется возможность реализации цикла Ренкина при более низкой температуре [3].

При этом выбор параметров схемы и теплоносителя для органического цикла Ренкина, входящего в состав ПГУ, на основе анализа результатов математического моделирования является актуальной задачей. Проведение термодинамической оптимизации структуры и параметров тепловой схемы подобного энергоблока позволит повысить эффективность процесса производства электроэнергии.

Литература

1. **Цанев С.В.** Газотурбинные энергетические установки // М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с.
2. **Зысин Л.В.** Парогазовые и газотурбинные тепловые электростанции // СПб.: Изд-во Потитехн. ун-та, 2010. – 368 с.
3. **Tchanche B.F., Lambrinos Gr., Frangoudakis A., Papadakis G.** Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles // A review of various applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, pp. 3963-39.

М.Н. Митин, студ.; рук. К.А. Плешанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКЦИЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРЁХКОНТУРНЫХ КОТЛОВ- УТИЛИЗАТОРОВ

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2035 года, одной из основных отраслевых задач для теплоэнергетической и электроэнергетической отраслей является вывод из эксплуатации экономически неэффективного, устаревшего энергетического оборудования с внедрением необходимого объёма новых мощностей. В настоящее время наиболее эффективными энергетическими установками являются ПГУ. Они могут обеспечить эффективность получения электрической энергии более 60% [1] при использовании трёх контуров давления и современной газовой турбины.

Большинство котлов-утилизаторов 3-х давлений имеют следующие параметры перегретого пара на выходе из контура высокого давления: $p = 14...16$ МПа, $t = 540...545$ °С и горизонтальную компоновку котла.

Горизонтальная компоновка котла в большей степени нужна для простоты организации естественной циркуляции. Одним из существенных плюсов естественной циркуляции по сравнению с организацией прямоточного испарения воды является меньшая металлоёмкость испарителя и простота регулирования.

Перспективная ПГУ должна быть разработана на большие параметры пара: давление 18 МПа и температуру перегретого пара 560 °С. Это позволит повысить КПД всей установки. Разработка вертикального котла-утилизатора, по сравнению с горизонтальным, также имеет ряд преимуществ: уменьшение площади котельной ячейки, меньшее гидравлическое сопротивление поверхностей теплообмена и т.д.

Организация циркуляции в вертикальном котле-утилизаторе в большинстве случаев происходит при помощи циркуляционного насоса. Современный котёл-утилизатор должен быть спроектирован по принципу естественной циркуляции [2]. Это предъявляет особые требования к его конструкции и проектированию и требует проведения дополнительных исследований.

Литература

1. Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций: учебник для вузов / А.Г. Костюк, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.Д. Трухний. – М.: Издательский дом МЭИ, 2018.
2. Росляков П. В., Плешанов К. А., Стерхов К. В. Исследование естественной циркуляции в испарителе котла-утилизатора с горизонтальными трубами.// Теплоэнергетика. 2014. – № 7. – С. 3-10.

*Е.М. Нечаев, студ.; рук. В.П. Соколов, д.т.н., проф.;
конс. А.Н. Рогалёв, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА ВЫСОКОЙ ЧИСТОТЫ В БОЛЬШИХ ОБЪЕМАХ ДЛЯ СЖИГАНИЯ НА ТЭС

Основные направления развития энергетики России отражены в «Энергетической стратегии России на период до 2030 года». Ключевой задачей, установленной Стратегией, является оптимизация потребления топливно-энергетических ресурсов и необходимость обеспечения экологической безопасности.

На данный момент перспективным направлением снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и улучшения экологической ситуации является использование термодинамических циклов с «нулевыми» выбросами вредных веществ [1], основная особенность которых состоит в кислородном сжигании топлива с образованием только CO_2 и H_2O , что позволяет легко разделять диоксид углерода и водяной пар путем конденсации последнего при атмосферных условиях [2].

Другим перспективным направлением повышения энергетической эффективности и экологической безопасности является разработка и создание гибридных угольно-водородных энергетических комплексов. В таких установках осуществляется внешний перегрев пара за счет сжигания водорода с кислородом в камере сгорания, установленной в паровом потоке. Образовавшийся в результате сжигания водяной пар смешивается с основным потоком рабочей среды.

Создание энергетических комплексов на базе кислородно-топливных циклов требует разработки установок по производству O_2 и H_2 большой мощности. Исследование и оптимизация параметров тепловых схем установок ставят целью повышение эффективности производства водорода и кислорода, что обеспечит сокращение затрат энергии на собственные нужды и повышение энергоэффективности производства электроэнергии в высокотемпературных кислородно-топливных циклах.

Литература

1. **Киндра В.О., Рогалев А.Н., Рогалев Н.Д.** Кислородотопливные технологии производства электроэнергии с нулевыми выбросами вредных веществ в атмосферу. М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2017.
2. **F.C. Barba, G.S Martínez-Denegri, B.S. Seguí, H.G. Darabkhani*, E.J. Anthony** A technical evaluation, performance analysis and risk assessment of multiple novel oxy-turbine power cycles with complete CO_2 capture // UK: Journal of Cleaner Production, 2016, №133

*М.С. Постникова, студ.; рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н. проф.;
конс. Т. Падашмоганло, асп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОГО ВХОДНОГО ПАТРУБКА ОСЕВОГО КОМПРЕССОРА ГТУ

Характер течения воздуха в воздухозаборном тракте ГТУ весьма сложен. На пути к компрессору атмосферный воздух проходит через различные элементы входного тракта, выполняющие разные функции, при этом происходят потери давления, от величины которых зависят потребляемая мощность компрессором на сжатие воздуха и энергетические показатели установки.

В представленном докладе рассматривается задача создания углового входного патрубка осевого компрессора с равномерным входным полем скоростей на входе в его первую ступень.

В качестве исходного патрубка был использован входной патрубок фирмы Siemens для SGT5-2000E.

Проведенное математическое моделирование течения воздуха в этом патрубке показало, что по всему входному тракту имеет место очень сложное вихревое течение и в его выходном сечении (входное сечение в первую ступень компрессора) присутствует крайне неравномерное поле скоростей, которое отрицательно влияет на устойчивость работы компрессора при сниженных расходах воздуха.

Если оценивать степень неравномерности полей скоростей по отношению максимальной скорости к среднерасходной, то в данном случае этот коэффициент неравномерности оказался равным 1,36.

Для устранения указанной неравномерности была увеличена проходная площадь патрубка в области поворота потока в осевое направление. В его осевой части был установлен новый весьма эффективный объемный гаситель неравномерности, позволивший снизить коэффициент неравномерности поля скоростей при входе воздуха в компрессор с 1,36 до 1,06, существенно расширив тем самым область устойчивой работы осевого компрессора.

На рис. 1 представлена конструкция нового патрубка с усовершенствованным объемным гасителем неравномерности.

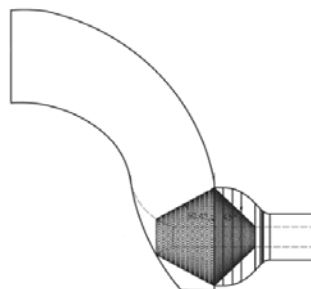


Рис. 1. Конструкция нового углового входного патрубка осевого компрессора с объемным гасителем неравномерности

*В.В. Чурмакова, студ.; рук. А.И. Лебедева, к.т.н., доц.
конс. А.Ф. Медников, к.т.н., доц., (НИУ «МЭИ»)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ТУРБОУСТАНОВОК ЭНЕРГБЛОКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ С УЛЬТРАСВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ НАЧАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРА

Экономичность паротурбинной тепловой электростанции зависит от начальных параметров свежего пара. Правильный выбор этих параметров для паротурбинного цикла во многом определяет надежность, экономичность и маневренность работы паровых турбин. Повышение начальных параметров пара ведет к повышению термического КПД теплового цикла, снижению удельного расхода топлива на выработку электроэнергии, увеличению мощности. На сегодняшний день развитие мировой теплоэнергетики идет по направлению массового использования суперсверхкритических параметров пара и активного продолжения проведения исследований и разработок в области создания энергоустановок на ультрасверхкритические параметры пара (35 МПа, 700/720°C), обеспечивающих КПД 51–53%. Одной из ключевых проблем энергоблоков с такими параметрами является необходимость применения дорогостоящих металлов и сплавов для высокотемпературных конструкций и узлов, к которым также относятся компоненты проточной части паровой турбины, а именно рабочие лопатки первых ступеней цилиндров высокого и среднего давлений, к которым подводится пар с начальными параметрами или после двухступенчатого пароперегрева. Целесообразный предел применения тех или иных начальных параметров зависит от уровня освоения технологий создания специальных сталей и сплавов или применения защитных покрытий, которые решали бы проблему совокупного воздействия сверхвысоких температур и абразивного износа частицами окалины, выносимыми потоком пара из трубок пароперегревателей котла и из паропроводов. Перспективным пассивным способом борьбы с абразивным износом в данных условиях эксплуатации может являться упрочнение функциональной поверхности за счет защитных покрытий, в том числе с использованием перспективных и зарекомендовавших себя ионно-плазменных технологий их формирования в вакууме. На сегодняшний день в НИУ «МЭИ» разработана технология создания абразивостойких покрытий, повышающих не менее чем в 3 раза стойкость лопаточных сталей 20Х13 и 15Х11МФ к абразивному износу при высоких температурах (до 550° С). Переход к более высоким начальным температурам пара предопределяет необходимость дальнейшего развития разработанных технологических решений.

К.С. Южанин, студ.; рук. И.Л. Ионкин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**ВЫБОР ТОПЛИВА ДЛЯ СЖИГАНИЯ В КОТЛАХ УСКД
ПОВЫШЕННОЙ МАНЁВРЕННОСТИ**

В соответствии с положениями Энергетической стратегии России на период до 2030 г. необходимо снижение доли потребления газа на ТЭС для обеспечения диверсификации топливно-энергетического баланса страны за счет опережающего развития угольных ТЭС [1]. Требуется увеличить долю угля с 26 % до 34 – 36 %, а долю газа снизить с 70 % до 60 – 62 %.

Экологически чистая угольная генерация должна развиваться, в том числе путем внедрения энергоблоков на ультрасверхкритические (УСКД) параметры пара (26 МПа, 570/600°C) с коэффициентом полезного действия 45 – 55 %.

На надёжность, экономичность и экологичность котла УСКД среди прочих факторов влияет выбор топлива. В данной работе производится разработка критериев для выбора топлива, сжигаемого в котлах УСКД.

Основными оценочными критериями для выбора топлива, влияющими на работу котельной установки, были выбраны: характеристики топлива (шлакующие и абразивные свойства золы, калорийность, влажность, сернистость), распространённость, экологичность, требования к системе пылеприготовления.

Например, зольность топлива влияет на условия лучистого теплообмена в топочной камере и определяет уровень температуры газов сверху топки. Его высокий уровень приводит к прямому перегреву металла труб пароперегревателей. Данное явление должно быть учтено при проектировании новых котлов с учётом возможного изменения данного показателя.

Для ряда топлив будет определено влияние как каждого фактора в отдельности, так и их совокупности с целью выбора оптимального топлива, которое окажется предпочтительнее для работы котельного агрегата на УСКД.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

Секция 2

Атомная энергетика

научный руководитель –
и.о. заведующего кафедрой АЭС, к.т.н.

А.В. Аникеев

М.А. Голубев, студ.; рук. С.В. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОДНОВРЕМЕННОГО
РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ
КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТА ПЕРЕРАБОТКИ
ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ АЭС НА УИСО
ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Решение проблемы кондиционирования и локализации прежде всего жидких радиоактивных отходов АЭС улучшает экологическую и экономическую ситуацию, существенно снижает потенциальную радиационную опасность атомной станции.

Сейчас дезактивированные кубовые остатки (КО), которые остаются после дезактивации (например, ионной сорбцией) и выпаривания стоков АЭС, традиционно доупариваются и отправляются на хранение в специальных емкостях. Эти емкости уже заполнены примерно на 80 %.

Солевой плав, получаемый после доупаривания, представляет собой твердое вещество без запаха, плотностью около 1,6–1,7 кг/дм³, светло-желтого – желтого цвета. Солесодержание – 900–1100 г/дм³, содержание нитратов калия и натрия – 60–80 %, сульфатов и хлоридов до 5 %, и боратов – до 30 %

В свою очередь, частичное извлечение ценных компонентов из дезактивированных КО дает возможность не только уменьшить количество отходов, но и сократить расходы на исходные реагенты, возвращая выделенные вещества в рабочий контур. Такой процесс разделения наиболее теоретически эффективным способом может реализовать электродиализ с биполярными мембранами.

При протекании через биполярную мембрану даже малого постоянного тока на внутренней границе, разделяющей анионообменную и катионообменную части мембраны, происходит необратимая диссоциация молекул воды, то есть происходит генерация H⁺ и OH⁻ ионов, которые в соседних с биполярными мембранами камерах соединяются с противоионами, образуя кислоты и щелочи. Таким образом, из кубовых остатков АЭС после их дезактивации можно получать азотную кислоту, гидроксид натрия, а также борную кислоту, накопление которой происходит в камере обессоливания.

Данная работа посвящена изучению технологии электродиализа с моно- и биполярными мембранами для выделения веществ, используемых в теплоносителях первого контура на атомных электростанциях с водородными энергетическими реакторами, на модельных растворах.

*З.А. Заклецкий, ст. уд.; рук. В.П. Будаев, д.ф.-м.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЭМИССИОННЫХ СВОЙСТВ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОСЛЕ МОЩНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

При воздействии плазменно-тепловых нагрузок на тугоплавкие материалы в последние годы обнаружены эффекты формирования высоко развитой поверхности, т.е. поверхности с большой эффективной площадью поверхности [1].

Характерными особенностями структуры измененной поверхности таких материалов являются статистическая неоднородность и многомасштабная инвариантность стохастической структуры, существенно влияющие на характеристики твердого тела на макроуровне [2].

Благодаря высокому коэффициенту усиления электрического поля наноструктуры улучшаются эмиссионные свойства поверхности материала.

Воздействие униполярных дуг и искр на взаимодействие плазмы с высокоразвитой поверхностью может привести к повышенному переносу тепла от плазмы к поверхности и к охлаждению плазмы за счет неамбиполярного потока. Эффекты дугообразования должны учитываться для прогнозирования и оценки эрозии диверторных вольфрамовых пластин в международном токамаке-реакторе ИТЭР.

В работе для условий плазмы в токамаке Т-10, установке ПЛМ (НИУ «МЭИ») получены результаты расчетов критических токов эмиссии, приводящих к взрывной эмиссии (экстонного механизма) и формированию дуги, выполнен расчет термоэмиссионного и автоэмиссионного тока с поверхности вольфрама различной степени шероховатости.

Литература

1. **Будаев В.П.** Результаты испытаний вольфрамовых мишеней дивертора при мощных плазменно-тепловых нагрузках, ожидаемых в ИТЭР и токамаках реакторного масштаба. — ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2015, т. 38, вып. 4, с. 5-31.
2. **Будаев В.П., Федорович С.Д., Лукашевский М.В., Мартыненко Ю.В.** Плазменная установка НИУ «МЭИ» для испытаний тугоплавких металлов и создания высокопористых материалов нового поколения. — ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2017, т. 40, вып. 3, с. 23-36.

*С.Ю. Капустин, студ.; рук-ли Г.В. Качалин, к.т.н., вед.н.с.,
А.В. Аникеев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОБЛЕМА ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА ЛОПАТОК ПОСЛЕДНИХ СТУПЕНЕЙ ПАРОВЫХ ТУРБИН АЭС И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ

Одной из серьезных проблем, возникающих при эксплуатации паровых турбин на АЭС, является эрозионный и коррозионный износ металлоконструкций. В основном это относится к лопаткам последних ступеней ЦНД. Данная проблема не только снижает надежность работы турбины, но и её КПД.

Сегодня существуют различные варианты снижения эрозионного износа, которые условно можно разбить на две группы: активные и пассивные. К первой группе относятся методы, связанные с изменением параметров пара, например, внутриканальное влагоудаление или создание несмачиваемой поверхности. Пассивные методы – методы, связанные с упрочнением поверхности металла, например, закалка токами высокой частоты (ТВЧ метод) или нанесение высокотвердых покрытий. Все вышеперечисленные методы имеют ряд недостатков и являются недостаточно эффективными.

Одним из перспективных методов для повышения эрозионной стойкости может стать применение диффузионных покрытий, получаемых путем внедрения в кристаллическую решетку металла атомов углерода, азота и др. К преимуществам данного метода можно отнести его относительную дешевизну, высокую эрозионную стойкость, сохранение целостности металла и др.

В работе рассматриваются существующие методы упрочнения поверхности металла лопаток паровых турбин, анализируются их преимущества и недостатки, выдвигаются предположения об их применимости в будущем.

Автором предлагается подробное изучение вакуумных методов создания диффузионных покрытий и разработка технологических основ повышения эрозионной стойкости стали 15X11МФ, применяемой для изготовления лопаток современных турбин АЭС.

*Д.Б. Куроптев, студ.; рук. А.Е. Зарянкин, д.т.н., проф.;
конс. В.И. Крутицкий, асп. (НИУ «МЭИ»)*

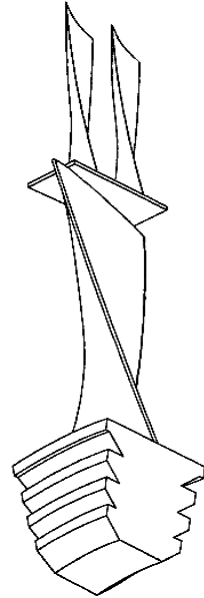
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЦНД С ПОЛУТОРНЫМ ВЫХЛОПОМ НА БАЗЕ ДВУХЪЯРУСНОЙ СТУПЕНИ С ВИЛЬЧАТОЙ ЛОПАТКОЙ

Поскольку предельная мощность конденсационных паровых турбин определяется максимально возможным пропуском пара через ЦНД в конденсатор, то проблема увеличения расхода пара через этот однопоточный цилиндр, безусловно, является весьма актуальной. При заданной мощности увеличение расхода через один поток ЦНД ведет к снижению числа цилиндров мощных энергетических турбин, либо к увеличению предельной единичной мощности однофазных паровых турбин.

Указанная проблема в настоящее время решается путем непрерывного увеличения длины лопаток последних ступеней мощных паровых турбин, что связано с решением очень сложных аэродинамических задач, а именно с увеличением длины резко возрастают потери от вверности и больших перекрыш, и задач по обеспечению надежной (с точки зрения прочности) работы таких длинных лопаток.

Альтернативный путь решения указанной проблемы заключается в использовании полуторного выхлопа, когда часть пара сбрасывается в конденсатор паровой турбины при выходе из предпоследней ступени. Именно этот вариант является предметом рассмотрения в настоящей разработке, цель которой продемонстрировать, что при устранении недостатков, присущих этому решению, ЦНД с полуторным выхлопом может быть вполне конкурентоспособным с ЦНД на базе более длинных лопаток в последней ступени мощной паровой турбины.

В работе для реализации полуторного выхлопа вместо ступени Баумана используется двухъярусная ступень на базе вильчатой лопатки (рис.1), у которой на одном пере нижнего яруса располагаются две рабочие лопатки верхнего яруса. Проведенное математическое моделирование течения пара в такой ступени показало её преимущества по сравнению со ступенью, имеющей более длинные рабочие лопатки.



**Рис. 1. Двухъярусная
вилочная рабочая
лопатка**

*А.В. Скачкова, студ.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

ПАРОВАЯ ТУРБИНА АЭС НА СВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ДАВЛЕНИЯ ПАРА

В настоящее время мировая атомная энергетика базируется в основном на реакторах типа PWR (pressurized water reactor – реактор с водой под давлением) и BWR (boiling water reactor – кипящий водяной реактор). В России наиболее распространенным типом реакторов с водой под давлением является реактор ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор).

Эффективность использования энергии ядерного горючего в современных энергоблоках АЭС не превышает 35 – 37 %, что обусловлено ограничениями по температуре теплоносителя на выходе из реактора и, как следствие, использованием в турбинах АЭС насыщенного пара перед турбиной с давлением 6,0 – 7,5 МПа.

Среднесрочной и более отдаленной перспективой развития атомной энергетики является развитие технологий ВВЭР, в том числе переход на сверхкритические давления (СКД) [1].

Проведенные расчеты различных вариантов тепловых схем энергоблока АЭС показали, что повышение начальных параметров пара перед турбиной: давления до 24 – 30 МПа и температуры до 540 – 600 °С, позволит значительно увеличить эффективность блоков АЭС и обеспечить их эффективность на уровне 43 – 46 %.

Одним из универсальных способов повышения экономичности электростанции, который всегда дает эффект вне зависимости от параметров пара, тепловой схемы и т.д., является повышение аэродинамической эффективности проточных частей турбин. Так, например, повышение КПД паровой турбины на 1% приводит к значительному увеличению мощности энергоблока. Таким образом, не менее актуальным вопросом при создании отечественных современных энергоблоков АЭС с ВВЭР-СКД является разработка паровых турбин, имеющих высокие технико-экономические показатели.

Резервы повышения технико-экономических показателей паровых турбин АЭС могут быть реализованы при создании цилиндра низкого давления с повышенной пропускной способностью, в частности, при совместном проектировании последней ступени и выхлопного патрубка.

Литература

1. Сидоренко В.А., Семченков Ю.М. Облик АЭС с легководными энергетическими реакторами следующего поколения. // Международный форум АТОМЭКСПО 2010, Москва, 7-10 июня 2010 г.

*С.И. Судариков, студ.; рук. Л. В. Агамиров, д.т.н., проф.;
конс. Д.М. Харламова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПАРОВОГО КОТЛА ДЛЯ ГИБРИДНОЙ АЭС

Атомная энергетика занимает важное место в российской электроэнергетике. В 2018 году доля «атомной» электроэнергии в общей выработке электроэнергии в стране достигла 18,7 %. Характерной особенностью большинства современных АЭС является то, что паровые турбины этих электростанций работают на сухом насыщенном паре с очень малым (5 – 7 °С) перегревом при сравнительно низких начальных температурах теплоносителя (~300 °С), что определяет их низкий КПД (порядка 33 %). Для повышения экономичности предлагается переходить к созданию гибридных АЭС, где сухой насыщенный пар после реакторного парогенератора направляется в промежуточный котел-пароперегреватель для осуществления перегрева за счёт использования теплоты сгорания природного газа [1].

Существенное отличие в работе турбины с перегревом до 600 °С состоит в том, что процесс расширения заканчивается в области перегретого пара, что является фактором снижения эффективности.

Перегрев до 600 °С позволит увеличить мощность турбоустановки на 735 МВт при электрическом КПД 39,73 % [2]. Дальнейшее повышение мощности и КПД турбоустановки без повышения уровня температур рабочего тела может быть достигнуто путем применения промежуточного перегрева пара после ЦВД [3].

Данная работа направлена на разработку конструкции парового котла, который обеспечит перегрев пара до 600 °С и промежуточный перегрев пара до 620 °С. Такое решение позволит использовать отработанную технологию изготовления оборудования и хорошо зарекомендовавшие себя стали и сплавы, предназначенные для эксплуатации при температуре от 600 до 650 °С.

Литература

1. Теплоэнергетика и теплотехника : Справочная серия : В 4 кн. / под общ. Ред. Чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. — 4-е изд., стереот. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Зарянкин А. Е. и др.** Турбоустановка АЭС с внешним пароперегревателем // Вестник Московского энергетического института. — 2011. — №. 4. — С. 12-18.
3. **Касилов В.Ф., Дудолин А.А., Господченков И.В.** Эффективность использования парогазовой технологии в энергоблоке АЭС с ядерным реактором СВБР 100 // Теплоэнергетика. — 2015. — №. 5. — С. 14-20.

Секция 3

ВИЭ (ветро-, гидро-, петротермальная и солнечная генерация)

научный руководитель –
д.т.н., профессор **М.Г. Тягунов**

*И.Н. Ермаков, студ.; рук. Б.М. Орахелашвили, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

БЕСПЛОТИННАЯ ГЭС С ГИДРОТУРБИНОЙ, РАЗМЕЩЕННОЙ ВНУТРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КОЛОННЫ

Энергоснабжение в удаленных районах является одной из основных текущих проблем в энергетической области. Современное постоянно расширяющееся техногенное общество сталкивается с необходимостью потребления электроэнергии абсолютно во всех сферах жизнедеятельности человека. Строительство ЛЭП в некоторых районах является нежелательным или излишне дорогостоящим. Решением задачи электроснабжения данных районов является локальная электрогенерация.

Наиболее распространенные способы генерации электричества имеют отрицательные эффекты на окружающую среду. Сжигание органического топлива приводит к выбросу в атмосферу вредных веществ. Строительство плотин для ГЭС может привести к затоплению целых районов и нарушению биологического равновесия. Данные факторы являются недопустимыми в связи с повышенными требованиями по охране окружающей среды.

В текущей работе разрабатывается малая ГЭС без строительства классической плотины. Данная компоновка МГЭС не мешает миграции рыб и не подвержена воздействию паводков и ледохода [1].

Предварительные расчеты дают основание полагать, что при скорости течения воды 3 м/с на размещенной в русле реки гидродинамической колонне создается перепад давления больше 3 метров. Этого достаточно для установки гидротурбинного агрегата с установленной мощностью 20 кВт. Турбина, приводимая во вращение гидравлической энергией потока жидкости, передает механический крутящий момент на вал электрогенератора, в котором вырабатывается поступающая потребителю электроэнергия.

Одной из возникающих проблем является отличие результатов теоретического определения параметров (разность давлений и скоростей течения жидкости на контуре профиля, создаваемый напор, расход через рабочее колесо) от реальных значений [2]. Необходимо создание и детальное изучение математической модели обтекания колонны в системе моделирования ANSYS и последующее экспериментальное исследование.

Литература

1. **Орахелашвили Б.М. Лямасов А.К.** МикроГЭС без плотины // Энергетик. 2018. № 3.
2. **Викторов Г.В.** Гидродинамическая теория решеток. М. Высшая школа, 1969.

*А.Д. Карандашев, студ.; рук. А.В. Волков, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

РАСЧЁТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИСЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В УСЛОВИЯХ МОСКВЫ

На территории России существуют автономные потребители тепловой энергии, которые не подключены к централизованным тепловым сетям из-за невозможности или нецелесообразности подведения коммуникаций. Теплоснабжение таких потребителей возможно осуществлять за счет использования возобновляемых источников энергии, наиболее перспективным из которых является теплота недр Земли [1]. При использовании теплоты недр возможно повышение температурного уровня за счет использования теплонасосных установок (ТНУ).

ТНУ, использующие в качестве низкопотенциального источника теплоту недр Земли, называют геотермальными. Установки, использующие теплоту окружающего воздуха, называют воздушными ТНУ. Создание теплоисточника на основе ТНУ, использующего теплоту окружающего воздуха, менее затратно, так как не требуется создания геотермальной циркуляционной системы. Однако при этом температура воздуха в течение отопительного периода может варьироваться в широком диапазоне температур.

На первом этапе работы было проведено расчётно-параметрическое исследование эффективности применения воздушных тепловых насосов на примере г. Москвы. При этом использовались статистические данные температур наружного воздуха в течение отопительных периодов 2014-2018 г. В качестве показателя эффективности был выбран коэффициент трансформации теплоты. Расчёт производился для двух существующих в промышленности установок разных производителей. В результате расчёта было получено, что средний коэффициент трансформации воздушных ТНУ составил от 1,38 до 2,23.

На следующем этапе работы будет выполнено расчетное исследование геотермальных теплонасосных установок с учетом снижения температурного потенциала грунта за отопительный период, которое может достигать 4 °С [2].

Литература

1. Волков А.В., Куршаков А.В., Рыженков А.В., Григорьев С.В., Эпштейн К.Л. Энергоснабжение удаленных и обособленных потребителей России // Надежность и безопасность энергетики. 2014, №2. С. 29-32.
2. Tudor P. Todoran, Mugur C. Balan. Long term behavior of a geothermal heat pump with oversized horizontal collector. // Energy and Buildings, 133, 2016. P.:799 – 809.

*Е.В. Коношенко, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА РЕГУЛЯТОРА РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЛИНЕЙНОГО ГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В данной работе рассмотрено устройство для повышения эффективности отбора энергии от волны с помощью линейного генератора. Мощность волнения оценивают в кВт на погонный метр, то есть в кВт/м. При высоте волн в 2 м мощность достигает 80 кВт/м [1]. Самым эффективным, является прямое преобразование механической энергии волны в электрическую при помощи линейного генератора. Однако напряжение на выходе линейного генератора изменяется не только по амплитуде, но и по частоте, поэтому для согласования с сетью переменного тока необходимо применение согласующих устройств, позволяющих стабилизировать напряжение и частоту на выходе генератора [2]. Также отличительной особенностью линейного генератора является наличие большой внутренней индуктивности [3].

Как показано в [2] и [4] повышение эффективности линейного генератора осуществляется при помощи использования электронных регуляторов, потребляющих ток емкостного характера. Наиболее универсальным является решение на базе управляемого выпрямителя [2].

Одной из актуальных задач для решения на базе управляемого выпрямителя является разработка системы управления, позволяющей повысить эффективность линейного генератора, а также оптимизировать отбор энергии при различных типах волн.

Литература

1. Сайт Википедия [Электронный ресурс]: Энергия волн океана. URL:https://ru.wikipedia.org/wiki/Энергия_волн_океана. (дата обращения: 28.02.2019).
2. **A.Z. Annuar, D.E. Macpherson, D.I.M. Forehand and M.A. Mueller**, Optimum power control for arrays of direct drive wave energy converters, // 6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), Bristol, 2012, pp. 1-6.
3. **J.K.H. Shek, D.E. Macpherson and M.A. Mueller**, Experimental verification of linear generator control for direct drive wave energy conversion // IET Renewable Power Generation, vol. 4, no. 5, pp. 395-403, September 2010.
4. **P. Kurbatov, O. Molokanov and K. Kryukov**, Design of a prototype of PM vernier electrical generator with power electronic unit for a wave energy plant // 2014 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, 2014, pp. 1053-1058.

Г.А. Кромм, ст уд.; рук. Б.М. Орахелашвили, к.т .н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МАЛАЯ ГЭС НА БАЗЕ ОСЕВОЙ ГИДРОТУРБИНЫ С ГЕНЕРАТОРОМ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ

Развитие малых ГЭС (МГЭС) является в настоящее время перспективным направлением в сфере возобновляемых источников энергии (ВИЭ), поскольку малые водотоки обладают достаточным гидроэнергетическим потенциалом. Возведение МГЭС требует меньших затрат в сравнении с традиционными ГЭС, и они оказывают меньшее влияние на экологию региона. Растущая потребность в применении МГЭС обусловлена постоянно увеличивающимся потреблением электроэнергии во всех сферах жизни современного общества [1,2]. Стоит также отметить, что некоторые регионы могут быть удалены от энергосетей, а в некоторых районах гидроэнергетический потенциал крупных рек исчерпан.

Возрастающее энергопотребление, усиление экологических ограничений, энергоснабжение удалённых и труднодоступных регионов – это три основные проблемы, которые вынуждают искать альтернативные источники энергии и оптимальные способы её получения. В такой ситуации затраты на создание МГЭС более чем оправданы.

В предлагаемой работе ведётся разработка модульного гидроагрегата с прямой осевой гидротурбиной (ГТ) и генератором на постоянных магнитах с целью его применения на МГЭС различных компоновок. Предварительная оценка показала, что для получения мощности турбины 20 кВт при напоре 3 м диаметр рабочего колеса не превышает 0,5 м. Проектирование рабочих органов ГТ выполняется с помощью программного комплекса «ANSYS».

Такой гидроагрегат имеет рабочее колесо осевого типа с неповоротными лопастями и жёсткий направляющий аппарат. Может быть реализована так называемая безвальная компоновка со встроенным генератором по типу «STRAFLO», а также традиционная конструкция с вынесенным генератором, который соединён с гидротурбиной через трансмиссию, вариатор, напрямую через вал или через гидрообъёмную встроенную передачу. Подобная универсальность позволяет применять агрегат на разных МГЭС: подвесных, плавучих, в гидродинамической колонне и т.д., устанавливаемых в руслах рек или на отводных каналах.

Литература

1. **Историк Б.Л., Усачев И.Н., Шполянский Ю.Б.** Малая нетрадиционная морская, речная и геотермальная энергетика // Малая энергетика, № 1, 2004.
2. **Малик Л.К.** Проблемы и перспективы создания малых ГЭС на малых реках // Малая энергетика, № 1, 2004.

*Б.Ф. Кузнецов, ст. уд.; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф.;
конс. О.Н. Молоканов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ВЕТРОАГРЕГАТ ПРЯМОГО ПРИВОДА С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

В данном проекте рассматривается возможность создания ветроагрегата прямого привода с улучшенными массогабаритными показателями, в котором используется бесщёточный электрогенератор с интегрированным магнитным редуктором. Конструкция, описанная в работе, позволит избавиться от механического редуктора, содержащего истирающиеся детали, чем значительно снизит затраты на ремонт и эксплуатацию ветроагрегата. Высокий передаваемый момент такой машины достигается за счёт использования магнитного редуктора, в котором для создания магнитного поля вместо токовых обмоток применяются постоянные магниты. Благодаря интегрированному магнитному редуктору машина будет нагреваться гораздо меньше, что даст возможность сделать её сравнимой по размерам с генераторами в редукторных ветроагрегатах, используемых в настоящее время.

Низкоскоростной генератор на основе магнитного редуктора – это электрическая машина с возбуждением от постоянных магнитов [1]. Такой генератор отличается от обычной синхронной электрической машины тем, что вместо стандартного ротора в него встроен магнитный редуктор — устройство с двумя роторами, вращающимися с разными скоростями, и статором с постоянными магнитами. (Рис. 1). Роторы состоят из цилиндрических магнитопроводов с установленными на них постоянными магнитами чередующейся полярности. Вокруг статора редуктора, также состоящего из постоянных магнитов, наматывается трёхфазная обмотка генератора [2].

В работе произведено компьютерное моделирование генератора в статическом режиме, найдена наиболее эффективная конфигурация параметров машины и построена виртуальная 3D-модель всей конструкции.

Литература

1. **Atallah A., Calverley S., Clark R., Rens J., Howe D.** A new PM machine topology for low-speed, high-torque drives // Proc. - Int. Conf. Electr. Mach., ICEM. 2008.
2. **Frandsen, T.V., Mathe, L., Berg, N.I., Holm, R.K., Matzen, T.N., Rasmussen, P.O., Jensen, K.K.** Motor Integrated Permanent Magnet Gear in a Battery Electrical Vehicle // IEEE Trans Ind Appl. 2015.

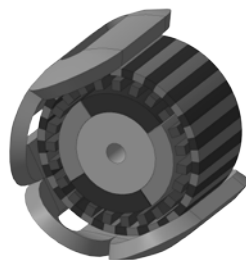


Рис. 1. Виртуальная 3D модель конструкции низкочастотного генератора на основе магнитного редуктора

А.С. Лысова, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ**

Состояние вопроса: При проектировании солнечных электростанций одним из важнейших вопросов является оценка выработки электрической энергии. Этот показатель определяется, прежде всего, двумя факторами: уровнем инсоляции и КПД солнечных модулей [1]. В процессе эксплуатации под действием изменения условий внешней среды (температуры окружающего воздуха) КПД солнечных модулей может значительно изменяться. Известно, что с увеличением температуры выше номинальной (25 °С) КПД солнечных модулей снижается [2]. Однако, для условий России ключевым воздействием являются низкие температуры. Существующие математические модели практически неприменимы к таким условиям.

Материалы и методы: Для проведения исследований о влиянии температуры на КПД солнечных модулей проводится статистический анализ данных мониторинга солнечных модулей, работающих на электроэнергетическую систему [4]. Системой мониторинга фиксировались параметры окружающей среды и электрические выходные параметры солнечных модулей с периодичностью 30 секунд.

Результаты: Предложена математическая модель изменения КПД при температуре ниже 25 °С.

Выводы: В работе проанализированы существующие математические модели, описывающие влияние температуры на КПД солнечных модулей, показаны их особенности при учете низких температур. В результате статистического анализа данных получена зависимость КПД солнечного модуля от его температуры.

Литература

1. **Либра М., Пулек В.** Физические принципы преобразование фотогальванической энергии, Чешский агротехнический университет, Инженерный факультет, Прага.
2. **Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К.** Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов/Под ред. В.И. Виссарионова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. **Сенигов П.Н.** Модель фотоэлектрической солнечной электростанции. Базовые эксперименты. Челябинск: Издательско-полиграфический центр «Учебная техника», 2009. – 23 с.
4. **Хавард Б.В.** Моделирование фотоэлектрических модулей в Simulink/Matlab // Норвежский университет естественных наук и технологии, 2014.

Н.А. Муратов, студ.; рук. А.И. Давыдов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРИ СОЗДАНИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

Одной из актуальных проблем в области производства насосных агрегатов является повышение их эффективности. Современное насосное оборудование постоянно улучшается, претерпевая значительные изменения и качественное усовершенствование конструкций, технических характеристик и свойств.

Существует множество способов решения этой проблемы, одним из которых является использование природоподобных технологий на основе Биомиметики. Практическое развитие жизнеспособных технологий, в основе которых лежат идеи, заимствованные у природы, уже даёт продуктивные результаты в современных технических системах. В частности, «эффект лотоса» [1], обеспечивающий сверхгидрофобные свойства, и «эффект бугорков» [2], увеличивающий подъемную силу и уменьшающий сопротивление потоку, находят своё применение при создании высокоэффективных гидроагрегатов.

В данной работе проводится исследование по определению влияния геометрических параметров выходной кромки рабочего колеса центробежных насосов, повторяющих строение оперения совы, на вибро-акустические характеристики. Значение вибро-акустических показателей является важным параметром большинства технических объектов, влияющим на их эксплуатационные свойства.

Одним из направлений применения динамических насосов с пониженными вибро-акустическими показателями является использование их в жилых секторах крупных городов, где насосные установки располагаются в подвальных помещениях. В процессе работы насоса возникают звуковая энергия, излучаемая в помещении, где установлено оборудование, и энергия колебаний, распространяющаяся по ограждающим конструкциям здания. Ограждающие конструкции здания приходят в колебательное движение, что вызывает излучение звуковой энергии в расположенных выше помещениях. С целью решения этой проблемы проводится анализ эффективности применения центробежных насосов с проточной частью, спроектированной на основе биомимикрии, в системах ЖКХ г. Москвы.

Литература

1. **Neinhuis C. and Barthlott W.** Characterization and Distribution of Water-repellent, Self- cleaning Plant Surfaces // *Annals of Botany*, 79 (6), 1997.
2. **Frank E. Fish.** Biomechanics of Swimming Mammals // *Energetics, Hydrodynamics*, 1996.

Р.О. Носков, студ.; рук. А.К. Лямасов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)
**ВЫСОТНАЯ ВЕТРОТУРБИНА НА НАДУВНОЙ
КОНСТРУКЦИИ**

На сегодняшний день большая часть энергии синтезируется из ископаемого и ядерного топлива. При этом данный процесс сталкивается с такими серьезными проблемами, как безопасность поставок, экономическая и географическая доступность, экологическая стабильность и риски стихийных бедствий.

Среди технологий производства электроэнергии из возобновляемых источников существует новый класс преобразователей энергии ветра под названием «Воздушные системы ветроэнергетики» [1]. В этом новом поколении систем используются высотные ветровые крылья или летательные аппараты для достижения высот, недоступных традиционным ветряным турбинам, которые позволяют эффективно использовать энергию ветра.

В данной работе выполняется разработка и проектирование ветротурбины на надувной конструкции в виде аэростатно-плавательного ветрогенератора (АПВ), преобразующего кинетическую энергию ветра в электрическую энергию с помощью ветряных турбин. АПВ содержит силовой блок, состоящий из ветроколеса и генератора, расположенный между крыловыми профилями. Электрическая энергия, вырабатываемая высотной турбиной во время полета, передается на землю через специальный трос, который объединяется с электрическим кабелем.

Специальная форма надувной конструкции в виде сдвоенного крылового профиля использует набегающий поток воздуха для создания дополнительной подъемной силы, это позволяет поднять их на высоту до 600 м над уровнем земли, где дуют постоянные сильные ветра. Использование энергии набегающего потока воздуха для создания дополнительной подъемной силы имеет ряд положительных эффектов, среди которых основными являются большая грузоподъемность и возможность компенсации растущего по высоте подъема веса тросов и кабелей, что позволяет дополнительно увеличить вырабатываемую мощность в заданных габаритах установки.

Применение высотных ветротурбин позволяет в тех же габаритах ветроколеса увеличить вырабатываемую мощность за счет увеличения скорости ветра и уменьшить капитальные затраты на строительство ВЭС. Подобные установки могут стать высокоэффективными автономными источниками энергии или частью комбинированных энергетических станций.

Литература

1. **L. Fagiano, M. Milanese, D. Piga.** High-altitude wind power generation // IEEE Trans Energy Convers, 25 (1) (2010).

М.А. Плотников, студ.; рук. В.Б. Баль, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

НИЗКООБОРОТНЫЙ ИНДУКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР ДЛЯ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Энергия ветра составляет лишь малую часть от всех видов мировой энергетики, но в настоящее время ветроэнергетика бурно развивается. Энергию ветра относят к возобновляемым источникам энергии. В отличие от сжигаемого топлива, ветряная энергия почти неисчерпаема, почти повсеместно доступна и экологична.

В настоящее время ветроэнергетика стремительно развивается, но у современных ветроустановок есть один существенный недостаток – низкая рентабельность. Применение современных дорогих технологий в ветроэнергетике оборачивается сроком окупаемости в 20 лет и более. Вместе с тем, ветроэнергетика вполне может стать рентабельной. Для этого необходимо отказаться от использования дорогих технологий, сократить применение дорогих материалов, повысить надёжность ветроустановок и сократить эксплуатационные расходы.

Пути решения этой задачи могут быть следующие. Использование низкооборотных многолопастных ветротурбин, изготавливаемых из недорогих материалов, надёжность и срок службы которых выше, а стоимость меньше чем высокооборотных турбин. Применение низкооборотного генератора с частотой вращения равной частоте вращения турбины, что позволяет отказаться от мультипликатора – сложного, дорогого и требующего технического обслуживания устройства. Использование наиболее простых и надёжных систем управления и преобразования электроэнергии.

В качестве электрогенератора для ветроустановок предлагается использовать вентильно-индукторный генератор. Генератор имеет наиболее простую среди других типов электрических машин конструкцию: безобмоточный зубчатый ротор без постоянных магнитов и обмотка статора, состоящая из простых сосредоточенных катушек.

На данный момент на территориях с малой скоростью ветровых потоков наиболее эффективной конструкцией признана вертикальноосевая ветроустановка. Ветроустановки с вертикальной осью вращения имеют следующие преимущества: они практически бесшумны, требуют менее частого обслуживания, чем другие, имеют срок службы более 20 лет. Применение индукторного генератора в таких установках наиболее целесообразно. Кольцевой генератор расположен на поверхности земли, непосредственно на его роторе устанавливается ветротурбина.

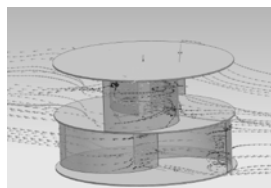
В.Д. Свистунов, студ.; рук. А.Г. Васьков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
РАСЧЕТ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ

Для развития российской энергетики в области инновационных технологий необходимо изучение способов освоения таких видов энергии как ветровая. Совершенствование ветроэнергетических установок крайне необходимо для заметного прогресса в данной области.

В данной работе был рассмотрен вопрос моделирования опытного образца вертикально-осевой ветроэнергетической установки (ВЭУ), приспособленной для работы в условиях городской застройки.

Для оценки аэродинамических показателей ветрового колеса Савониуса разрабатывалась модель ротора в программах Siemens NX и FloEFD. Программы позволяют создать компьютерную модель ротора и произвести гидрогазодинамический расчет, который основан на методах дискретизации уравнений Навье-Стокса.

Решение аэродинамической задачи начиналось с геометрического моделирования. С помощью инструментов Siemens NX создавались отдельные элементы, которые впоследствии объединялись в единую конструкцию. После этого производилось моделирование обтекания полуженой поверхности потоком воздуха в программе FloEFD.



**Рис. 1. Обтекание трех-
мерной модели ротора
Савониуса потоками**

В результате расчета получена зависимость «момента сил давления» от скорости ветра. Путем сопоставления характеристик, полученных ранее на натурной модели [1] и рассчитанной в программе, была пересчитана мощность. По данной характеристике была рассчитана зависимость КПД ветроколеса от скорости ветра. Максимальное значение КПД составило около 19 % при максимальной скорости ветра на ветроустановке. Это значение близко к стандартному КПД для роторов Савониуса.

Используя данные методы, будут изучаться различные формы и геометрические размеры ротора для получения максимальной эффективности.

Литература

1. **Свистунов В.Д., Васьков А.Г.** Использование вертикально-осевого ветрогенератора в качестве маломощного источника питания // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Двадцать четвертая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (15–16 марта 2018 г., Москва): Тез. докл. С.1080.

Д.В. Трякин, студ.; рук. П.С. Шуркалов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**ВЕТРОАГРЕГАТ ПРЯМОГО ПРИВОДА С
 ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ**

На сегодняшний день перед инженерами – специалистами в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – стоит проблема максимально эффективного использования ветроэнергетических ресурсов. Еще в 1930 году немецкий физик Альберт Бетц – один из основателей современной теории и технологии ветрогенераторов – в работе [1] так сформулировал эту проблему: «Задача ветряного двигателя заключается в извлечении энергии ветра и превращении ее в форму, удобную для использования».

В России энергия перемещающихся воздушных масс имеет самый большой в мире потенциал, оценённый в 10,7 ГВт, что ещё раз доказывает актуальность данной проблематики [2]. При этом производство некоторых комплектующих для крупных ветроэнергетических установок (ВЭУ) в нашей стране до сих пор не налажено, ввиду отсутствия массового спроса потребителей. Одним из таких комплектующих является механическая трансмиссия, предназначенная для механического соединения низкоскоростного вала ветроколеса с высокоскоростным валом генератора.

Целью данной работы является разработка ветроагрегата прямого привода с горизонтальной осью вращения. Особенностью данного типа ВЭУ является разрабатываемый на кафедре ЭМЭА новый тип генератора со встроенной магнитной трансмиссией, благодаря которому появляется возможность отказаться от использования механической трансмиссии. Для достижения поставленной цели необходимо подобрать под новый тип генератора соответствующее ветроколесо, а также решить проблему с сопряжением этих основных элементов ВЭУ.

На первом этапе данной работы было проведено исследование влияния профиля лопасти ветроколеса на его частоту вращения и момент на валу. По итогам исследования было выбрано несколько ветроколес, по своим характеристикам подходящих для генератора со встроенной магнитной трансмиссией. На базе лабораторных стендов кафедры ГВИЭ была разработана модель ВЭУ, с использованием которой были проведены исследования совместной работы выбранных ветроколес и генератора. По результатам исследования был выбран оптимальный вариант ветроколеса ВЭУ.

Литература

1. Бетц А. Ветряные двигатели в свете современных исследований // Успехи физических наук. т. X, вып. 2, 1926 г.
2. Россия имеет самый большой в мире ветропотенциал. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/7094/> (дата обращения 27.03.2019).

Секция 4

Распределенная генерация

научный руководитель –
заведующий кафедрой ТОТ, к.т.н. **К.А. Орлов**

*Е.В. Афанасьева, студ.; рук. И.А. Милуков, к.т.н., доц.;
конс. С.К. Осипов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

АВТОНОМНАЯ КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА НА ПЕЛЛЕТНОМ ТОПЛИВЕ

В настоящее время в России лидирующую позицию занимает централизованная энергетика. Вместе с тем в удаленных районах страны, где отсутствует доступ к централизованному электроснабжению, функционируют распределенные энергетические системы (распределенная генерация – РГ). РГ предполагает производство электрической и тепловой энергии в непосредственной близости от потребителя с помощью множества энергоустановок малой мощности [1]. Энергоустановки малой мощности кроме эксплуатации в составе распределенных энергетических систем используют для резервного электроснабжения производственных предприятий и населения.

Источником энергии для энергоустановок малой мощности могут являться различные виды топлива: твердое топливо (биомасса, уголь, ТБО); природный газ; солнечная или ветровая энергия и прочее. Одним из вариантов реализации таких энергоустановок могут являться энергетические комплексы на пеллетном топливе для автономного энергоснабжения удаленных районов России, изолированных от единой энергетической системы. В этих установках тепловая энергия от сжигания пеллет в котле передается воде, циркулирующей в тепловой сети. Высокотемпературные дымовые газы из котла направляются в теплообменный аппарат (ТА), где нагревают сжатый воздух, поступающий из компрессора. После ТА воздух попадает в турбодетандер (ТД). Потенциальная энергия воздуха преобразуется в механическую энергию вращения ТД. На одном валу с ТД находится электрогенератор, в котором вырабатывается электроэнергия. Часть вырабатываемой электроэнергии используется для собственных нужд биокотла (электропитание насоса, двигателя топливоподающей системы и системы автоматического управления), остальная поступает в электрическую сеть потребителя.

В работе будет выполнен термодинамический анализ тепловой схемы энергетического комплекса. С использованием современных цифровых инструментов проектирования оборудования будет разработана конструкция радиального турбодетандера и теплообменного аппарата.

Литература

1. **W. El-Khattam.** Distributed generation technologies, definitions and benefits// Electric Power Systems Research 71 – 2004 P. 549-583.

*Р.Г. Болдин, студ.; М.А. Климова, асп.;
рук. С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИСПЫТАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА БИПОЛЯРНЫХ ПЛАСТИНАХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ

Топливный элемент — это электрохимическое устройство для прямого преобразования химической энергии водорода в электрическую энергию. Твердополимерные топливные элементы с открытым катодом являются перспективными источниками питания для широкого круга потребителей, так как имеют высокий КПД (более 50%) при рабочих температурах до 50°C и не имеют вредных выбросов. Батарея водород-воздушных топливных элементов (СТЕК) представляет собой многоэлементную сборку отдельных топливных элементов. Биполярные пластины являются ключевыми компонентами топливных элементов, так как служат для низкоомной коммутации отдельных ячеек, также имеют каналы для подвода воздуха. Кроме того, биполярные пластины составляют большую часть общей массы и 30–45% стоимости батареи топливных элементов. Были предложены различные материалы для изготовления биполярных пластин. Биполярные элементы на основе доступного графита хотя и обладают достаточной электропроводностью, но имеют низкие механическую прочность и коррозионную устойчивость. Перспективным материалом для биполярных элементов являются металлические фольги, которые имеют хорошие механические характеристики. Однако соблюдение требований по коррозионной устойчивости и их контактным сопротивлениям требует использования специальных защитных покрытий на металлических биполярных пластинах. Сегодня утверждены специальные тесты по этим параметрам, которые позволяют контролировать качество защитных покрытий. Цель работы — представить основные результаты измерений образцов из металлических фольг, например на основе титана, с различными защитными покрытиями и выработать рекомендации для практического использования в батареях твердополимерных топливных элементов с открытым катодом.

*Д.В. Голубев, студ.; рук. С.В. Белоусов, к.т.н., доц.;
конс. Д.И. Ковалев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПО ВЫПУСКУ И РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ С ТВЕРДОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Современные тенденции в развитии энергетического оборудования предполагают большую компактность, а также возрастающие требования к надёжности работы устройств. Кроме того, с точки зрения повышения экономической эффективности, более перспективными являются установки, требующие минимальных трудозатрат персонала при эксплуатации. В связи с этим целесообразным представляется переход от воздушной и элегазовой изоляции к твёрдой (из эпоксидных смол). Однако для принятия решения о разработке, производстве и внедрении оборудования с твёрдой изоляцией необходимо провести технико-экономический анализ.

В работе проведен анализ рынка комплектных распределительных устройств (КРУ) класса напряжения 10 кВ, позволивший сделать выводы о целесообразности инициации данного проекта. Вместе с технико-экономическим обоснованием проекта был осуществлен сравнительный анализ современных изоляционных компаундов с ранее разработанными, а также с традиционной изоляцией КРУ [1]. В сравнении с традиционной изоляцией твёрдая является неоспоримым лидером, поэтому в работе делается акцент на поиск нового химического состава эпоксидной смолы и процесса изготовления литой полимерной изоляции для КРУ.

С применением нового типа эпоксидной смолы удалось увеличить большинство изоляционных параметров. На рис. 1 показан результат улучшения характеристик нового компаунда, благодаря которому электрическая прочность возросла в полтора раза. Однако, несмотря на полученный результат, необходимо дальнейшее всестороннее изучение данной разработки и возможности её применения.

Темой настоящей работы заинтересованы такие компании, как ПАО «Россети» и ПАО «РусГидро», что говорит о востребованности и перспективности предлагаемого проекта.

Литература

1. Журавлев В. Заливка и пропитка в электротехнике и электронике. Новейшие технологии для российской промышленности // Новости электротехники, №5, 2018

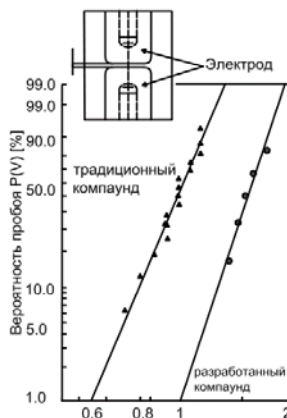


Рис. 1. Сравнение пробивного напряжения компаундов

*А.А. Землянухина, студ.; рук. Л.В. Агамиров, д.т.н., проф.;
конс. И.И. Комаров, к.т.н., нач. отд. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРА СТУПЕНЧАТОГО СЖИГАНИЯ ТКО МЕГАПОЛИСА

По данным Росприроднадзора в 2017 году в России объем твердых коммунальных отходов (ТКО) составил 55 – 60 млн. т в год. Таким образом, на каждого россиянина приходится в среднем 400 кг мусора в год. Практически весь объем ТКО в России захоранивается на мусорных полигонах и свалках, что наносит значительный урон окружающей среде. Перерабатывается или термически обезвреживается только 4 – 5 % мусора [1].

Морфологический состав ТКО мегаполиса существенно меняется в течение года. Сезонные условия определяют изменение содержания влаги и основных компонентов в составе отходов, что создает препятствие для полезного использования химически связанной энергии ТКО, но обеспечивает простое сжигание. В целях компенсации колебаний теплоты сгорания ТКО предлагается использовать в процессе сжигания высококалорийные отходы деревоперерабатывающей промышленности, в частности древесные опилки.

Предложена схема теплотехнического комплекса для термической утилизации ТКО (рис. 1). Основным элементом схемы является реактор ступенчатого сжигания отходов, в котором реализуются 3 процесса: сжигание высококалорийных древесных отходов, газификация ТКО с использованием горячих продуктов сжигания древесных отходов и сжигание генераторного газа в камере сгорания. Продукты сгорания используются в утилизационном паротурбинном контуре для выработки тепловой и электрической энергии.

Такой метод утилизации ТКО обеспечивает поддержание заданной тепловой мощности комплекса вне зависимости от морфологии отходов, характеризуется более высокой эффективностью и экологической безопасностью.



Рис. 1. Схема сжигания ТКО

Литература

1. Утилизация мусора в России. Как реформируют отрасль [Электронный ресурс] // ТАСС, 2019. URL: <https://tass.ru/info/6000776>

*А. Кайраткызы, студ.; рук. М.В. Горелов, к.т.н., доц.;
конс. И.И. Комаров, к.т.н., нач. отд. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДЛЯ СЖИГАНИЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ГАЗИФИКАЦИИ ТКО

Одной из актуальных проблем современного мегаполиса является утилизация твердых коммунальных отходов (ТКО), образующихся в процессе жизнедеятельности человека (около 0,7 – 0,8 кг/день на чел.). Основной способ утилизации отходов – захоронение на полигонах – наносит серьезный вред окружающей среде [1]. Одним из способов полезного использования ТКО является термическая утилизация в газогенераторе с последующим использованием генераторного газа в ГТУ для выработки электроэнергии [2]. В качестве ГТУ выбрана микроустановка Carstone C200 с электрической мощностью 200 кВт. Стоит отметить, что ГТУ имеют особые требования к качеству газового топлива: требуемая теплотворная способность генераторного газа для ГТУ должна превышать 7 МДж/м³, горючий газ не должен содержать твердых частиц и смолистых веществ. Указанные требования необходимо учитывать при составлении технологической схемы.

На рис. 1 показана принципиальная тепловая схема утилизации ТКО со сжиганием генераторного газа в ГТУ. Ввиду нестабильности морфологического состава и низкой теплотворной способности ТКО в газификатор одновременно поступает смесь ТКО с отходами деревообработки, что позволяет повысить теплотворную способность генераторного газа и стабилизировать его состав. В качестве газифицирующего агента используются обогащенный кислородом воздух ($k_{O_2} = 40\%$) и пар. Горючий газ проходит процесс очистки газа от твердых частиц и смолистых веществ, после чего направляется в камеру сгорания. После камеры сгорания продукты горения направляются в газовую турбину для выработки электрической энергии, отработавшие газы направляются в котел-утилизатор для получения горячей воды.

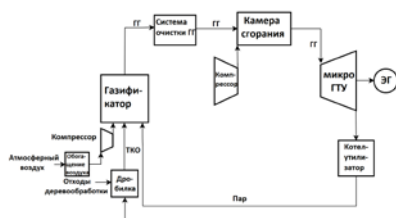


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема утилизации ТКО со сжиганием генераторного газа в ГТУ

Литература

1. **Вайсман Я.И.** Управление отходами. П.: ПНИПУ, 2012.
2. **Шиллинг Г.Д.** Газификация угля. М.: Недра, 1986.

*Е.С. Ковшикова, студ.; рук. Л.С. Яновский, д.т.н., проф.;
конс. Д.М. Харламова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РЕАКТОРА СТУПЕНЧАТОГО СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Одной из главных отраслей экономики России является деревоперерабатывающая промышленность. Ежегодно в Российской Федерации образуется 35,5 млн м³ древесных отходов: опилки, щепа, стружка и другие [1].

Наибольший объем переработки древесины приходится на Архангельскую область. ЗАО «Лесозавод 25» г. Архангельска перерабатывает более 1,5 млн м³ пиловочного сырья в год, при этом образуются около 312 тонн отходов [2]. Проблема утилизации древесных отходов является актуальной для региона, так как используемые методы переработки, в частности сжигание в печах, складирование в котлованах, неэффективны. Ввиду отсутствия подключения Архангельской области к централизованной системе газоснабжения, увеличение доли отходов деревообрабатывающего производства в топливно-энергетическом балансе региона является актуальной задачей.

В работе предложен способ термической утилизации древесных отходов в реакторе, работающем по принципу двухступенчатого сжигания. В первой ступени осуществляется газификация в слое, во второй – сжигается полученный генераторный газ. Преимущества двухступенчатого сжигания состоят в снижении величин механического и химического недожога по сравнению с обычным сжиганием топлива в слое, уменьшении расхода окислителя.

За реактором ступенчатого сжигания расположен котёл-утилизатор, в котором физическая теплота продуктов горения используется для получения перегретого пара, направляемого в паровую турбину для выработки электроэнергии.

В работе просчитаны материальные и тепловые балансы реактора ступенчатого сжигания древесных отходов и разработана технологическая схема утилизации теплоты продуктов горения.

Литература

1. Мохирев А. П., Безруких Ю. А., Медведев С. О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования //Инженерный вестник Дона. – 2015. – Т.36. – №. 2-2.
2. Тимербаев Н. Комплексная энерготехнологическая переработка отходов с применением прямоточной газификации. – Litres, 2017.

Ю.К. Лукина, студ.; рук. А.А. Волошин, к.т.н., зав. каф. (НИУ «МЭИ»)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ

В условиях нехватки и увеличения стоимости энергетических ресурсов, роста объемов всего производства и инфраструктуры городов все более острой становится проблема энергосбережения и, в частности, экономии электроэнергии. В связи с этим в последнее время остро стоит вопрос повышения качества электроэнергии, так как оно может существенно влиять на расход электроэнергии, надежность систем электроснабжения, технологический процесс производства.

Одним из эффективных путей управления качеством электроэнергии и повышения технико-экономических показателей работы электрооборудования является применение средств компенсации реактивной мощности (СКРМ) [1].

На сегодняшний день метод синхронизированных векторных измерений, применяемый в PMU (phasor measurement unit), является одним из перспективных методов измерения электрических параметров, позволяющий получить хорошую точность и стабильность измерений, минимальную задержку измеренных значений, повысить надежность измерительной системы в целом, а также получить функциональность, недоступную для других типов датчиков [2]. В отличие от традиционных телеизмерений (ТИ), измерения от PMU синхронизированы по времени через GPS, они передаются в пункты сбора информации PDC (phasor data concentrator) с высокой частотой, в то время как традиционные SCADA-системы осуществляют сбор данных спорадически при изменении измеряемой величины или циклично с частотой порядка 1 Гц. Объединение ТИ и измерений от PMU решаются системой управления автоматически. Использование PMU увеличивает скорость реакции системы на изменение реактивной мощности.

Данное решение позволяет уменьшить потери мощности, повысить экономичность работы электроустановок, повысить качество электроэнергии за счет своевременного управления уровнем напряжения.

Литература

1. **Овсейчук В.А. и др.** Компенсация реактивной мощности. К вопросу о технико-экономической целесообразности // Новости электротехники, 2008. № 4. с. 42-46.
2. **J. Yu, W. Dai, W. Li, X. Liu and J. Liu.** Optimal Reactive Power Flow of Inter-connected Power System Based on Static Equivalent Method Using Border PMU Measurements // IEEE Transactions on Power Systems, volume: 33, issue: 1, Jan. 2018.

**Б.А. Махмутов, студ.; рук. Попов В.В., к.т.н., доц.;
конс. И.И. Комаров, к.т.н., нач. отдела (НИУ «МЭИ»)**

РАЗРАБОТКА УТИЛИЗАЦИОННОЙ МИКРО-ГТУ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ГЕНЕРАТОРНОМ ГАЗЕ

В последние годы во всем мире наблюдается активное развитие децентрализованного энергоснабжения, что подтверждается как докладом международного энергетического агентства (IEA) [1], так и энергетической стратегией России до 2030 г. Для обеспечения удаленных потребителей электроэнергией могут быть использованы различные энергетические установки: двигатели внутреннего сгорания (ДВС), паровые и газовые микротурбины (МГТ) и др. Каждый из перечисленных типов установок имеет свои преимущества и недостатки. Так, ДВС требуют топливо высокого качества с высокой теплотворной способностью и имеют большой расход масла. Они имеют малый межремонтный период и небольшую длительность непрерывной работы (около 3000 м.ч.). Паровые микротурбины не имеют жестких требований к качеству топлива, однако они отличаются большой удельной металлоемкостью. Наибольший интерес для распределенной генерации представляют газовые микротурбины, имеющие большой межремонтный период, возможность эксплуатации без смазочных материалов и на различных видах топлива. В настоящее время рынок микротурбин представлен в основном зарубежными производителями – Capstone, Ingersoll, Elliott, Turbec. Производство отечественных микротурбин налажено только у АО СКБ «Турбина», выпускающего турбину мощностью 100 кВт, работающую только на природном газе. Одним из перспективных направлений использования МГТ является применение на предприятиях деревоперерабатывающей промышленности, где в качестве топлива можно использовать отходы технологического процесса в виде опилок, щепы. При этом данные установки должны включать в себя газогенераторную установку, в которой отходы лесозаготовительных предприятий преобразуются в генераторный газ, направляемый далее в камеру сгорания микроГТУ.

В работе представлены анализ технологий газификации, вариативный анализ тепловой схемы энергоустановки на генераторном газе, анализ материалов для изготовления высокотемпературных центробежных колес микро-ГТУ, конструктивная проработка микро-ГТУ и оценка финансово-экономических показателей энергетического комплекса.

Литература

1. **Pepermans G., Driesen J., Haeseldonckx D., Belmans R., D'haeseleer W.** Distributed generation: definition, benefits and issues // Energy Policy. 2005.

*А.А. Мхоян, студ.; рук-ли В.С. Глазов, к.т.н., доц.;
С.И. Нефедкин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МОДУЛЯ НА БАЗЕ ВОДОРОД- ВОЗДУШНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ОТКРЫТЫМ КАТОДОМ

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с энергосистемами на базе твердополимерных водород-воздушных топливных элементов с открытым катодом (РЕМFC) обеспечивают в 3-4 раза более длительный полет, чем при использовании литий-полимерных аккумуляторных батарей [1]. Однако, такая энергосистема имеет прямой контакт с окружающим воздухом, который подается в энергетический модуль (ЭМ) топливных элементов энергосистемы нагнетателем и используется не только как реагент для катодной реакции, но и для отвода теплоты. Для обеспечения стабильной работы такой энергосистемы на различных режимах БПЛА необходимо поддерживать параметры входящего воздуха в узком диапазоне температур (10÷25°С). Учитывая, что БПЛА эксплуатируется в широком диапазоне температур и высот полета, актуальным является создание системы термостабилизации ЭМ. Такая термооболочка должна обеспечивать оптимальные параметры входящего в ЭМ воздуха в широком диапазоне температур и влажности наружного воздуха.

Цель работы на первом этапе – моделирование системы термостабилизации энергетического модуля водородно-воздушных топливных элементов для работы при низких температурах окружающего воздуха с использованием внутренних источников теплоты. Для этого необходимо:

1. Разработать математическую модель с сосредоточенными/распределенными параметрами, которая описывает процесс теплообмена в ограниченном термооболочкой объеме, содержащем ЭМ.
2. Провести численное моделирование процесса, протекающего в исследуемом объеме, с целью определения полей температур и скоростей.
3. Выполнить верификацию и валидацию разработанной модели.
4. Определить режимные параметры, обеспечивающие условия нормального функционирования энергетического модуля.
5. Сформулировать требования и рекомендации по устройству и функционалу теплозащитного кожуха.

Литература

1. Нефедкин С.И. Автономные энергетические установки системы. М.: Издательство МЭИ, 2018. 220 с.

П.М. Нестеров, студ.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
К ОЦЕНКЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ ПГУ НА
БАЗЕ ГТУ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ТВЕРДОМ БИОТОПЛИВЕ

В настоящее время на предприятиях различных отраслей промышленности Российской Федерации ежегодно образуются миллионы тонн твердых отходов, которые содержат существенный энергетический потенциал. Эти отходы могут использоваться для получения биотоплива, например, пеллетов, производимых из древесины.

Не менее важной задачей является создание экономичных установок, использующих твердое биотопливо. Перспективным направлением с этой точки зрения представляется использование парогазовых технологий.

Газотурбинные установки (ГТУ), на базе которых создаются парогазовые установки (ПГУ), пока могут работать либо на природном газе, либо на легких сортах жидкого топлива.

Можно выделить два основных направления, позволяющих использовать твердое топливо в ГТУ.

Первое направление предполагает полное исключение возможности попадания в проточную часть турбины твердых частиц. Такое решение заключается в использовании рекуперативного теплообменника, в котором воздух после компрессора нагревается от продуктов сгорания, поступающих в него из выносной камеры сгорания (КС). В данном варианте рабочим телом в турбине является горячий воздух. Очевидно, что такое решение ведет к снижению маневренности ГТУ и росту ее стоимости.

Другой путь, как и в «классическом» исполнении ГТУ, предполагает расширение в газовой турбине (ГТ) продуктов сгорания, образующихся при сжигании в КС горючего газа, полученного путем газификации твердого топлива. Однако такой путь ведет к существенному увеличению стоимости установки и затрат на собственные нужды на 10 – 20 % [1].

Альтернативным вариантом является использование выносной КС с топочными устройствами вихревого циклонного типа, после которой продукты сгорания направляются в сепараторы инерционного типа, что позволяет снизить содержание твердых частиц на 95 – 98 %. В этом случае одной из основных проблем становится обеспечение эксплуатационной надежности и ресурса работы ГТ. Для решения указанной проблемы необходимо изучить динамику процесса абразивного износа лопаточного аппарата ГТ для определения допустимой концентрации твердых частиц.

Литература

1. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Паровые и газовые турбины для электростанций. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

*А.А. Свиргун, студ.; рук. И.А. Милюков, к.т.н., доц.;
конс. А.Н. Вегера, инж. (НИУ «МЭИ»)*

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА БАЗЕ ВИЭ И ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В настоящее время во всем мире наблюдается рост доли энергии, производимой с помощью возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В России доля ВИЭ составляет 1%, но в рамках продления программы ДПМ к 2025 г. должна составить 4,5 % [1]. Различают следующие виды установок на возобновляемой энергии: ветровые, солнечные, петротермальные, приливные и установки сжигания биомассы. Тип используемой установки выбирается в зависимости от региона и его климатических условий.

Для удаленных территорий России (Республика Саха, Камчатский край, Архангельская область и др.) остается актуальной проблема непрерывного круглогодичного снабжения населения электрической и тепловой энергией [2]. Решением проблемы стабильного энергоснабжения удаленных районов может являться применение установок на возобновляемых источниках энергии, которые также имеют ряд недостатков: высокая стоимость технологического оборудования, погодозависимость энергетических установок.

Решить проблему неравномерного графика выработки электроэнергии установками на базе ВИЭ могут накопители энергии. К одним из актуальных и перспективных типов устройств накопления относятся пневматические и тепловые аккумуляторы. К их достоинствам относится простота устройства и незначительная стоимость, а к недостаткам – низкий КПД.

В выпускной квалификационной работе будет рассмотрено применение различных видов установок на ВИЭ с системами накопления энергии. В зависимости от различных условий эксплуатации (неравномерность выработки и потребления энергии) будут определены требования к составу и характеристикам накопителей энергии, предложены конструктивные решения для их создания.

Литература

1. РП «Об утверждении Основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года» от 15 мая 2018 года N 901-р
2. ПП «О внесении изменений в перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции)» от 6 декабря 2016 г. № 1305

К.Н. Соловьева, студ.; рук. А.В. Сизякин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ МИНИ ТЭЦ

Развитие малой распределённой генерации является перспективным направлением развития энергетики в большинстве индустриально-развитых стран мира и предполагает размещение источников тепловой и электрической энергии в непосредственной близости от потребителей. Для нашей страны с учётом её огромных размеров, низкой плотности населения и рассредоточенности объектов инфраструктуры, задача создания автономных, децентрализованных систем энергоснабжения, работающих на местных, возобновляемых видах топлива, является чрезвычайно актуальной [1]. Одним из путей решения поставленной задачи является разработка мини ТЭЦ малой мощности (1-150 кВт) на основе микротурбин с прямым (безредукторным) приводом магнитоэлектрических генераторов (МЭГ) от эффективных паровых турбин [2]. В этом случае индуктор МЭГ и рабочее колесо турбины расположены на одном валу, а при столь малой мощности энергоустановок наибольшая эффективность преобразования энергии достигается при высоких и сверхвысоких частотах вращения вала МЭГ (60-180 тыс. об/мин) [3].

В работе рассмотрены особенности конструкции высокоскоростных электрических машин, определяющие специфические подходы к их проектированию, анализу электромагнитных и рабочих процессов в их элементах. Приведены результаты разработки МЭГ для мини ТЭЦ мощностью 30 кВт и поверочного расчёта магнитных полей в программе Flux.

Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.09 г. №1715-Р, раздел V.2.
2. Серков С.А., Грибин В.Г., Румянцев М.Ю., Сигачев С.И., Грузков С.А. Технология распределенной когенерации на основе паротурбинных мильтитопливных энергетических установок малой мощности. // Технология машиностроения. 2015. № 6, С. 64-67.
3. Захарова Н.Е., Румянцев М.Ю., Сигачев С.И., Сизякин А.В. Применение высокоскоростных электротурбомашин малой мощности на летательных аппаратах. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «X Научные чтения, посвященные памяти Н.Е. Жуковского». М.: Издательский дом Академии имени Н.Е. Жуковского, 2013, С. 307-312.

А.А. Сорунзан, студ.; рук. Д.А. Хохлов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА НА БИОТОПЛИВЕ

В РФ существует проблема, связанная с отходами деревообрабатывающей и пищевой промышленности. Ежегодно огромное количество щепы, коро-древесных отходов, соломы и т.п. материалов складироваться без возможности дальнейшей переработки. Развитие технологии утилизации таких материалов позволило использовать их в качестве ресурса для энергетики. В мире переход на использование биотоплива связан с одним из подходов к решению проблемы «парникового эффекта».

В данной работе было рассмотрено применение биотоплива для выработки электроэнергии на газотурбинной установке (ГТУ), работающей в составе парогазовой установки (ПГУ). Сжигание биотоплива в данном случае реализуется в камерах сгорания ГТУ прямым способом. Готового решения такой задачи на текущий момент не существует.

Данная установка по сравнению с известными технологиями получения биогаза или биодизеля для ПГУ будет обладать относительно низкой удельной стоимостью и экономически целесообразна в качестве установки для получения тепла и электроэнергии в регионах, обладающих значительными ресурсами отходов лесной промышленности.

Данный проект состоит из нескольких задач, первой из которых является обоснованный выбор вида сжигаемого биотоплива. Для выбора вида биотоплива был произведен сравнительный анализ их основных физико-химических показателей, таких как теплота сгорания, выход летучих, зольность и влажность. Были рассмотрены различные виды древесин, различные виды соломы зерновых культур, фрезерный торф, органические отходы птицефабрик и отходы деревообрабатывающей промышленности.

Текущей задачей является моделирование камеры сгорания для использования выбранного топлива. Необходимо проработать возможные варианты подачи топлива в камеру сгорания, предложить конструкцию регистра для создания компактного факела в стесненных условиях её работы, а также, в случае необходимости, рассмотреть способ очистки продуктов сгорания от части золы частиц. Решение поставленных задач будет осуществляться автором с использованием современного и высоко апробированного программного обеспечения ANSYS.

Проработка такого решения позволит создать научно-технический задел для проектирования такой установки средствами отечественной промышленности и существенно расширит существующие знания об использовании биотоплива в энергетике, что, в свою очередь, позволит создавать более эффективные энергетические установки.

*А.А. Федотов, Л.В. Серебриников, студенты;
рук. Н.В. Кулешов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ВОДОРОДНОЕ АККУМУЛИРОВАНИЕ В ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ

Из-за значительного увеличения потребления энергии и экологических проблем доля возобновляемых источников энергии возрастает быстрыми темпами. Однако, из-за непостоянности этих источников возникли новые проблемы в балансе между производителем и потребителем электрической энергии.

Система накопления водорода за счет использования избыточной энергии ветра не только снижает часовую неравномерность, но и играет важную роль в сохранении баланса между производителем и потребителем. Пример такой системы приведен на рисунке 1. Запасенный водород при отсутствии ветра поступает в твердополимерный топливный элемент, где в результате электрохимической реакции генерируется электроэнергия.

Сравнительные характеристики различных топливных элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики систем хранения [2]

Характеристика системы	Щелочные (ТЭЩЭ)	Твердополимерные (ТПТЭ)	Фосфорно – кислые (ТЭФК)
Электролит	Водный раствор КОН	Полимерная мембрана	H_3PO_4 высокой концентрации
Рабочая температура, °С	60-120	40-60	180-200
Топливо	Особо чистый водород	Чистый водород	Очищенный водород
Окислитель	Чистый кислород	Атмосферный воздух	Атмосферный воздух
КПД, %	50-65	60-70	30-55

Литература

1. **Daniel Kroniger, Reinhard Madlener.** Hydrogen storage for wind parks // Applied Energy, Volume 136, 31 December 2014, pages 931 – 946.
2. **Коровин Н.В.** Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. М.: Издательство МЭИ, 2005. 280 с.



Рис. 1. Схема энергокомплекса [1]

*А.С. Филатов, студ.; рук. А.В. Сизякин, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ МИКРОТУРБИННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Важнейшим элементом автономных микротурбинных энергоустановок является электротурбомашина (ЭТМ), представляющая собой агрегат, в котором на одном валу расположены ротор электрической машины и рабочее колесо турбины. В системах малой мощности (5-150 кВт) оптимальная эффективность выработки энергии достигается при сверхвысоких частотах вращения ротора ЭТМ (60000 – 300000 об/мин). При этом частота генерируемой ЭДС составляет 1 – 5кГц и может меняться в зависимости от режима работы ЭТМ, что ведёт к изменению выходного напряжения генератора [1]. Поэтому, для обеспечения потребителей электрической энергией заданного качества используют электронные преобразователи (ЭП) с промежуточным звеном постоянного тока, в которых выходное напряжение, генерируемое ЭТМ, сначала выпрямляется, а затем преобразуется в трёхфазное напряжение 220/380 В промышленной частоты 50 Гц.

Большинство современных ЭП строятся на базе трехфазного мостового инвертора напряжения, что обеспечивает создание автономной сети переменного тока частотой 50 Гц без нулевого провода, т.е. исключительно для питания трехфазных потребителей.

Структура трехфазного инвертора может быть модифицирована разделением конденсатора в звене постоянного тока на два и введением искусственной нулевой точки между ними для создания четырехпроводной сети переменного тока. При этом напряжение каждой фазы будет формироваться независимо от напряжений остальных фаз путем управления силовыми ключами только одной стойки инвертора.

В работе рассмотрены принципы построения выходного инвертора ЭП для микротурбинной энергоустановки мощностью 20 – 60 кВт, приведены результаты его моделирования.

Литература

1. Захарова Н.Е., Румянцев М.Ю., Сигачев С.И., Сизякин А.В. Применение высокоскоростных электротурбомашин малой мощности на летательных аппаратах. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «X Научные чтения, посвященные памяти Н.Е. Жуковского» / Сборник докладов. – М.: Издательский дом Академии имени Н.Е. Жуковского, 2013. С.307-312.

*Р.П. Шевердиев, студ.; рук. М.Г. Тягунов, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗЕРА В КАЧЕСТВЕ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время порядка 65 % территории Российской Федерации расположено в зоне изолированного энергоснабжения и в основном обеспечиваются от дизельных электростанций, работающих на привозном топливе. Эксплуатация таких электростанций сопряжена с большими затратами на периодический завоз топлива и обслуживание, выбросами продуктов сгорания в окружающую среду и шумом.

Анализ литературы [1, 2], а также опыт различных стран показывает, что в децентрализованных регионах эффективное, современное и надежное энергоснабжение может быть обеспечено путем создания эффективных энергокомплексов на базе ВИЭ. Особенностью таких систем энергоснабжения являются нерегулярность и неуправляемость поступления электроэнергии от генерирующих установок, а также нерегулярность потребления электроэнергии потребителем. В такой ситуации основной научно-технической проблемой создания эффективных автономных энергокомплексов на базе ВИЭ является проблема аккумулирования энергии.

Целью работы является проведение оценки возможности применения водородных накопителей, представляющих собой комбинацию водородного электролизера, аккумуляторов водорода и кислорода и батареи топливных элементов (далее – водородные накопители) в сочетании с автономными энергоустановками на основе ВИЭ с учетом реальных климатических условий эксплуатации и особенностей потребителей.

В работе на основе данных о системе электроснабжения автономного потребителя на острове Попова анализируются динамические характеристики водородных накопителей и рассчитываются возможности согласования режима их работы с режимом работы автономных энергоустановок на основе ВИЭ.

Литература

1. **Фортов В.Е., Попель О.С.** Энергетика в современном мире: Научное издание / В.Е. Фортов, О.С. Попель – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 168 с.
2. **Майков И.Л., Директор Л.Б.** Решение задач оптимизации и управления гибридными энергетическими комплексами в структуре распределенной генерации // УБС, 35 (2011), С. 250–264.

*Д.А. Шумилин, студ.; рук. О.М. Митрохова, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МИКРОТУРБИННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПО ОРГАНИЧЕСКОМУ ЦИКЛУ РЕНКИНА

Значительная территория РФ не имеет централизованного тепло- и электроснабжения, поэтому создание автономных систем энергоснабжения малой мощности является актуальной задачей. В работе рассмотрены принципы построения таких систем малой и сверхмалой мощности (1 – 150 кВт) на основе высокоскоростных микротурбин с прямым приводом магнитоэлектрических генераторов от паровых турбин [1].

Основным параметром, определяющим выбор структуры проточной части микротурбины, является температура источника тепла, если она превышает 350 °С, то используются установки, работающие по традиционному паровому циклу Ренкина. При использовании в качестве рабочего тела органических веществ с более низкой, чем у воды, температурой кипения появляется возможность реализации органического цикла Ренкина (ОЦР) для выработки энергии с использованием низкопотенциального тепла [2]. Результаты расчетов тепловых схем установок, работающих по ОЦР, показали, что КПД по выработке электроэнергии составляет 10 – 24 %.

Очевидно, что создание энергоэффективной проточной части турбины для таких циклов является актуальной и весьма перспективной задачей для создания отечественных автономных микротурбинных энергоустановок малой мощности. Выбор типа турбины (осевая, радиальная, радиально-осевая и др.), количество ее ступеней определяются теплофизическими свойствами рабочего тела, значениями его начальных и конечных параметров, располагаемым теплоперепадом и расходом, и влияют на выбор частоты вращения ротора турбогенератора.

В работе представлены результаты расчётов и оптимизации проточной части турбин для энергетических ОЦР-установок мощностью 20 – 400 кВт.

Литература

1. Серков С.А., Грибин В.Г., Румянцев М.Ю., Сигачев С.И., Грузков С.А. Технология распределенной когенерации на основе паротурбинных мильтитопливных энергетических установок малой мощности.//Технология машиностроения. 2015. № 6, с. 64-67.
2. Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems / S. Quoilin, M. Van Den Broek, S. Declaye et al. // Renewable a Sustainable Energy Reviews. – 2013, vol. 22. – pp. 168–186.

Секция 5

Передача электрической энергии

научный руководитель –
директор ИЭЭ, к.т.н. **В.Н. Тульский**

*А.Д. Приходько, студ.; рук. А.А. Волошин, к.т.н., зав. каф.
(НИУ «МЭИ»)*

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ПОСЛЕАВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Рост доли ВИЭ на рынке электроэнергии [1] ставит новые задачи перед существующими распределительными сетями, имеющими радиальную топологию. Регулирование режимов работы распределительной сети с распределенной генерацией ставит необходимость ввода интеллектуальных систем с мультиагентным управлением [2].

Автоматика локализации, изоляции повреждения и восстановления электроснабжения (FLISR) является одним из ключевых требований интеллектуальных систем управления. Применение FLISR повышает надежность энергосистемы за счет минимизации времени перерывов в электроснабжении.

Предлагаемая система регулирования основывается на мультиагентном взаимодействии узлов электрической сети, позволяя в реальном времени управлять перетоками мощности внутри распределительной сети. Применение мультиагентных систем (МАС) [3] в совокупности с механизмами машинного обучения позволяет определять оптимальное решение задачи распределения электроэнергии. Каждый узел системы соответствует агенту и анализирует параметры режима лишь на своем участке сети, обмениваясь необходимой информацией с соседними агентами. Требования по наблюдаемости такой системы являются минимальными.

Предлагаемое решение соответствует концепции SmartGrid, позволяет повысить качество и надежность электроснабжения потребителей и создает необходимые условия для ввода новых объектов распределенной генерации.

Литература

1. **Тен М.Г.** Мировая энергетика: современное состояние и прогноз развития // Территория новых возможностей. 2012. № 1 (14).
2. **Волошин А.А., Волошин Е.А., Рогозинников Е.И.** Распределенная система автоматического управления генерацией, потреблением и накоплением электроэнергии в распределительных сетях с ВИЭ // Релейная защита и автоматика энергосистем: Межд. конф.: Санкт-Петербург, 2017.
3. **Фишов А.Г., Мукатов Б.Б.** Реконфигурация электрических сетей с распределенной генерацией и мультиагентным управлением // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 1.

*И.К. Розанов, С.В. Шапран, студент ы; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ НА НАПРЯЖЕНИЕ 1100 кВ

Серьезной проблемой использования электрической энергии является создание системы передачи этой энергии от генерирующих предприятий до потребителей. Решение проблемы передачи электрической энергии в настоящее время является весьма актуальной задачей. Генерирующие предприятия не находятся рядом с каждым потребителем, поэтому передаче электроэнергии на большие расстояния не избежать. Передача электроэнергии сопряжена с потерями. Уменьшение потерь при передаче приведет к уменьшению потерь генерирующими предприятиями. Следовательно, электрическим станциям нужно будет меньше производить электрической энергии, что поспособствует снижению издержек на производство энергии. Также, решение проблемы снижения потерь благоприятно отразится на окружающей среде – уменьшение выпуска электроэнергии приведет к сокращению количества вредных выбросов.

Система передачи электроэнергии, как правило, включает в себя электрический кабель.

Самый простой путь решения проблемы снижения потерь – это увеличение напряжения передаваемой энергии. Зависимость потерь от напряжения может быть выражена следующей формулой:

$$Q_w = \frac{R \cdot Q_c^2}{U_c},$$

где Q_w – потери на нагрев проводов, R – сопротивление проводов, Q_c – мощность на нагрузке, U_c – напряжение нагрузки.

Так как мощность нагрузки и сопротивление проводов остаются неизменными, то увеличение U_c приводит к уменьшению потерь.

Уже существуют линии электропередачи на напряжение 750 кВ, но сейчас эти линии эксплуатируют только на напряжении 500 кВ.

Данное исследование заключается в разработке конструкции кабеля на рабочее напряжение 1100 кВ. Применение такого кабеля позволит снизить потери в несколько раз, по сравнению с современной высоковольтной линией на напряжение 750 кВ.

В работе проведен расчет электрического поля кабеля на напряжение 1100 кВ и выбраны изоляционные материалы, необходимые для изготовления такого кабеля. Рассмотрены технические свойства материалов и сделан расчет, который подтверждает их способность выдержать требуемое напряжение.

Н.А. Сабайкин, студ.; рук. М.Г. Киселев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛЯТОР КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С УЛУЧШЕННЫМ ГАРМОНИЧЕСКИМ СОСТАВОМ ВЫХОДНОГО ТОКА

В современном мире к качеству электроэнергии проявляется повышенный интерес. В связи с этим разрабатываются и применяются различные способы его улучшения.

Традиционными методами улучшения качества электроэнергии являются: применение конденсаторов для компенсации реактивной мощности, фильтрация высших гармоник пассивными элементами, использование регуляторов на встречновключенных тиристорах. Их основными недостатками являются неуправляемость и искажение выходного тока.

В данной работе рассматривается регулятор качества электроэнергии на базе управляемых полупроводниковых ключей, совмещающий функции: компенсации реактивной мощности, активной фильтрации высших гармоник, симметрирования токов в трехфазных системах электроснабжения и другие [1].

Для управления преобразователем регулятора применяют два способа: с помощью dq-преобразования с использованием ШИМ-модуляции и rq-преобразования с использованием релейной модуляции [2]. Достоинством первого алгоритма является улучшенный гармонический состав выходного напряжения, а второго – простота реализации. Реализация алгоритма с dq-преобразованием представлена на рис. 1.

Для улучшения гармонического состава выходного тока регулятора также можно использовать выходной фильтр, подавляющий модуляционную гармонику (например, LCL-фильтр).

Литература

1. **Розанов Ю.К.** Силовая электроника для управления качеством электрической энергии. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015
2. **Espinoza J.R.** Closed-loop operation of inverters // Power electronics handbook: devices, circuits, and applications. Ed. by M.H. Rashid, 3rd ed. Section 15.5. – USA: Elsevier, 2011. – 1390 p.

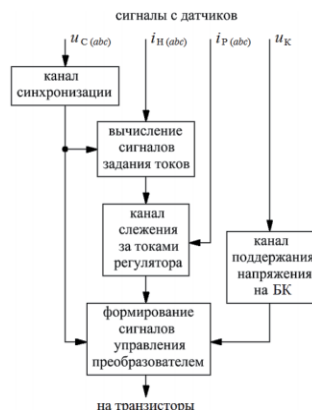


Рис. 1. Структурная схема алгоритма работы системы управления:
 $U_{C(abc)}$ —напряжение сети; $I_{N(abc)}$ —ток нагрузки; $I_{P(abc)}$ —ток регулятора; U_K —напряжение на конденсаторах

А.Ю. Старкова, студ.; рук. В.Н. Тульский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЛ 110 КВ ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА НЕИСПРАВНОСТЕЙ
ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНИИ**

На отказы в работе воздушных линий электропередачи (ВЛ) влияют атмосферные условия (ветровые нагрузки, гололедо-изморозевые отложения, загрязнения изоляции), деятельность человека (повреждение опор) и другие факторы. В связи с этим для обеспечения требуемой надежности электроснабжения электроприемников конечных потребителей необходимо проводить систематический контроль состояния опор, проводов, тросов и изолирующих подвесов. В настоящее время осмотр ВЛ в подавляющем большинстве случаев проводится непосредственно работниками электро-сетевого комплекса визуально, с последующим занесением результатов в листок осмотра и составлением дефектной ведомости [1, 2].

Разработка физической модели ВЛ и составление на ее основе лабораторной работы по курсу эксплуатация электрических сетей позволит обучающимся углубленно проработать тему нормирования, поиска и оценки неисправностей элементов ВЛ и развить необходимую компетенцию.

Физическая модель ВЛ реализована с помощью 3D-моделирования пролета линии в целом и отдельных дефектных деталей в масштабе 1:200. 3D-модель позволяет разработать цифровой двойник ВЛ, на основе которого создается аппаратно-программный комплекс «Система оценки надежности воздушных линий электропередачи». В результате на основании фактического состояния отдельных элементов воздушной линии электропередачи можно оценивать эксплуатационные риски. Создание такого продукта позволит:

- сократить время осмотра ВЛ электропередачи и составления дефектной ведомости;
- автоматически оценивать надежность ВЛ, вероятность перерывов в передаче электроэнергии, эксплуатационные риски;
- автоматически формировать рекомендации по обеспечению требуемой надежности воздушных линий электропередачи.

Литература

1. Гвоздев Д.Б., Тульский В.Н., Насыров Р.Р. Эксплуатация линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше: учебно-методическое пособие. М.: ЦПУ Радуга, 2017.
2. РД 34.20.504-94. Типовая инструкция по эксплуатации линий электропередачи напряжением 35-800 кВ. М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003

Секция 6

Конечное потребление энергии

научный руководитель –
директор НИО НЦ «Износостойкость», д.т.н.

А.В. Рыженков

*А.И. Бартенев, Е.С. Трушин, студенты; И.Д. Калякин, асп.;
рук-ли И.А. Султангузин, д.т.н., проф.; Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АБТТ НА ТЭЦ И ЦТП В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В настоящее время наблюдается завышение температуры обратной сетевой воды потребителем. Повышенная температура обратной сетевой воды непосредственно влияет на показатели работы системы теплоснабжения, влекущие за собой перерасход электрической энергии при транспортировке теплоносителя и повышенные затраты топлива на производство тепловой энергии за счет увеличенных расходов сетевой воды и снижения коэффициента полезного действия (КПД) котлоагрегатов. Для решения этой проблемы существует много способов, одним из которых является интеграция абсорбционных трансформаторов теплоты (АБТТ) [1] в схемы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и центральных тепловых пунктов (ЦТП).

Чтобы правильно рассчитать эффект в виде экономии энергетических ресурсов или увеличения КПД, нужно использовать современные и надежные средства моделирования. В данной работе составление схем и калькуляция показателей выполнялись в программе Thermoflex [2]. Погрешность моделирования определялась с помощью ручного расчета.

Модели строились для энергоблока с двумя турбоагрегатами Т-250/300-240 и двумя питающими их котлами ТГМП-314Ц. Для корректной оценки экономического эффекта от модернизации ТЭЦ было учтено изменение тепловой нагрузки в зависимости от времени года.

Температурный график отпуска от ТЭЦ составляет 130/70 для исходной модели и 120/20 для модернизированной. Снижение графика достигается за счёт установки АБТТ на ЦТП. Установка АБТТ на ТЭЦ позволяет утилизировать сбросное тепло градирен, что приводит к уменьшению расхода природного газа в котлах на 9,6 %, а также, что немаловажно для московского региона, уменьшению количества выбросов на единицу отпущенной энергии.

Литература

1. Бараненко А.В., Тимофеевский Л.С., Долотов А.Г., Попов А.И. Абсорбционные преобразователи теплоты: монография. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2005. – 338 с.
2. Федюхин А.В., Султангузин И.А., Курзанов С.Ю., Белов Р.Б., Бакулин А.В., Шомова Т.П. Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2016. – 88 с.

*А.П. Болтунов, С.П. Васильев, В.И. Карпенко, студенты;
рук-ли А.А. Волошин, к.т.н.; Е.А. Волошин, асс. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МИКРОГРИДА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ

Развитие промышленности, повышение потребления электроэнергии, общее улучшение качества жизни и ограниченные источники энергии – одна из острых проблем, стоящая перед современной энергетикой [1].

Одной из концепций преодоления сложившейся ситуации в распределительных сетях является микрогрид (Microgrid) – парадигма малой распределенной энергетики. Она предполагает создание на определенных территориях отдельных энергосетевых структур [2], обладающих собственными источниками энергии и способных взять на себя задачу удовлетворения спроса потребителей в большинстве ситуаций.

Для более эффективной реализации данной модели предлагаются различные решения по совместному использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и накопителей электроэнергии, а также адаптивных систем управления ими, выполняющих роль регуляторов рынка электроэнергии в рамках отдельно взятого микрогрида.

Предлагаемое решение главным образом основывается на совместном применении персональных энергоблоков [3] и программно-аппаратного комплекса на базе технологий больших данных (BigData) интернета вещей (IoT) и машинного обучения (ML), основной задачей которого является сбор, анализ и формирование логики работы агентов мультиагентной системы (МАС), осуществляющих управление процессами генерации, передачи и накопления электроэнергии в интересах каждого потребителя.

Данное решение реализует модель распределенного саморегулируемого рынка электроэнергии и вычислительных ресурсов. Это позволяет организовать работу микрогрида таким образом, что управление системой электроснабжения осуществляется без участия средств внешней электросети и самих потребителей наиболее эффективным, надежным и безопасным способом.

Литература

1. Бушуев В.В., Мастепанов А.М., Куричев Н.К., Белогорьев А.М., Громов А.И. Мировая энергетика – 2050 (Белая книга) М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2011.
2. Chenghua Z., Jianzhong W., Yue Z., Meng C., Chao L. Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid // App. Energy – 2018. – № 220
3. Волошин А.А., Волошин Е.А., Рогозинников Е.И. Интеллектуальная система электроснабжения на базе персональных энергоблоков // ЭЭПИР, 2017, № 1

*А.М. Кошелева, А.Ю. Лихаева, студенты; И.Д. Калякин, асп.; рук-ли
И.А. Султангузин, д.т.н., проф., Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

СТРАТЕГИЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ «УМНОГО» РАЙОНА С ВЫСОКИМИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ НА БАЗЕ СТУДГОРОДКА НИУ «МЭИ»

В настоящее время во всем мире наблюдается интенсивное развитие «умных» систем энергоснабжения. В системах теплоснабжения также развивается это направление. Такие системы обладают высоким уровнем надежности, низким энергопотреблением и ориентированы на потребителя. Масштаб таких систем в разных проектах также значительно отличается.

Переход системы теплоснабжения района к «умному» теплоснабжению необходимо реализовывать, начиная с разработки моделей ВМ (информационная модель здания) и ВЕМ (математическая модель энергопотребления здания).

ВМ-моделирование зданий студгородка подразумевает под собой детальную проработку каждого здания, которая позволит оптимизировать теплозащитные характеристики. В качестве примера были проведены расчеты двух зданий – различных по архитектуре учебных корпусов М и Е НИУ «МЭИ». Так, согласно расчетам, максимальная тепловая нагрузка учебного корпуса М НИУ «МЭИ» составляет 1028 кВт. При замене окон и утеплении стен возможно снижение теплопотребления этого здания практически на 50%. Сроки окупаемости различных вариантов, отличающихся характеристиками теплоизоляционных конструкций и остекления, составляют от 10 до 17 лет. С учетом того, что период эксплуатации зданий составляет 50 – 100 лет, такие сроки окупаемости вполне приемлемы.

ВЕМ-моделирование зданий помогает создать эффективную систему управления для группы зданий. В данном исследовательском проекте «умная» система теплоснабжения управляет микроклиматом в помещениях. Система гибко реагирует на изменение температуры внутреннего воздуха, его влажность, уровень CO₂, анализирует теплопритоки, регулирует воздухообмен.

Предлагаемый подход для анализа системы теплоснабжения позволяет рассмотреть различные варианты схемных решений и их технико-экономического обоснования. Одной из отличительных черт студгородка НИУ «МЭИ» является наличие собственной ТЭЦ, поэтому при анализе различных вариантов теплоснабжения это необходимо учитывать.

*П.К. Лентяев, студ.; рук. А.В. Рыженков, д.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

О «СВЕРХПРОВОДИМЫХ» ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ

В современном мире на транспортировку различных материалов и энергоносителей тратится огромное количество энергии. Затраты энергии при транспортировке определяются величиной гидравлического сопротивления трубопроводных систем. Для повышения энергоэффективности трубопроводных систем необходимо улучшать характеристики насосного оборудования и трубопроводов.

Из общего объема вырабатываемой энергии в мире насосные системы, особенно центробежные насосы, потребляют около 20 % энергии. Возможности повышения энергетической эффективности центробежных насосных систем можно разделить на три отдельные категории: выбор составных частей, определение размеров насосной системы и регулирование скорости вращения насосов [1].

Эффективность трубопровода определяется величиной гидравлического сопротивления. Одним из перспективных направлений по повышению эффективности трубопроводных систем является комбинацией микрорельефа на внутренней поверхности и ее гидрофобизацией. В большинстве современных научных публикаций применяют предел в 150° для обозначения супергидрофобной поверхности и более 150° для ультрагидрофобной [2]. Исследования микро и нано каналов с ультрагидрофобными поверхностями показывают, что в лабораторных условиях снижение гидравлического сопротивления канала достигает 98 %, при этом наблюдается эффект проскальзывания жидкости на поверхности.

Необходимо отметить, что такой эффект получен исходя из определения угла скатывания капли жидкости с исходной поверхности и после ее модификации.

Вместе с тем, возникает ряд практических вопросов, связанных с использованием таких поверхностей, в том числе с учетом влияния коррозионных процессов, процессов накопления отложений, свойств транспортируемых сред и др.

Литература

1. **Arun Shankar Vishnu Kalaiselvan, Umashankar Subramaniam, Paramasivam Shanmugam, Norbert Hanigovszki** A comprehensive review on energy efficiency enhancement initiatives in centrifugal pumping system // *Applied Energy* 2016, Vol.181.
2. **Vahid Mortazavi, M.M. Khonsari** On the degradation of superhydrophobic surfaces: A review // *Wear* 2017.

М.А. Савелков, ст. уд.; рук. А.А. Сухих, д.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
 ЦИКЛОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ
 НАСОСОВ**

Теплонасосные установки (ТНУ), рассчитанные на работу при температурных условиях низкопотенциального источника теплоты (НИТ) 20 – 40 °С и высокотемпературного источника (ВИТ) теплоты 60 – 110 °С, классифицируются как высокотемпературные тепловые насосы (ВТН). В случае включения такого ВТН в систему теплоснабжения генератора абсорбционной холодильной машины (АХМ) взамен электронагревателя может быть увеличена эффективность всего комплекса в число раз, равное коэффициенту преобразования теплоты (КПТ):

$$\mu = \frac{Q_{ТНУ}}{N},$$

где N – мощность привода компрессора. Для повышения термодинамической эффективности предлагается схема ВТН с регенеративным теплообменником (рис. 1). В качестве хладагента ВТН рассматривался октафторциклобутан R318. В результате расчета такого цикла по программе NIST (USA) [1] при температурном уровне НИТ 20 – 25 °С (вода, направляемая в градирню) и подогреве воды до 95 °С, направляемой в генератор АХМ, был получен $\mu = 2,2$.



**Рис.1. Принципиальная
схема ТНУ с регенератором**

Средние логарифмические температурные напоры в конденсаторе и испарителе были приняты равными 10 °С.

Для повышения КПТ предлагается разработать новую тепловую схему комплекса АХМ-ТНУ с исключением промежуточного водяного контура конденсатор ТНУ – теплогенератор АХМ, организовав процесс охлаждения и конденсации хладагента непосредственно в генераторе АХМ (таким образом снизить температуру конденсации на 10 °С). Рассмотреть в дальнейшем в качестве рабочих веществ ТНУ неазеотропные смеси, применение которых с ярко выраженной переменной температурой кипения позволит существенно снизить температурный напор в испарителе. Ожидается достижение КПТ порядка 3 единиц и выше.

Литература

1. REFPROP 9.0: Reference Fluid Thermodynamic and Transport properties: Copyright 2007 by the U.S. Secretary of Commerce on behalf of the USA.

*Е.С. Трушин, А.И. Бартенов, студенты; И.Д. Калякин, асп. ;
рук-ли И.А. Султангузин, д.т.н., проф.; Ю.В. Яворовский, к.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЭЦ ГОРОДА МОСКВЫ

Теплоснабжение города Москвы осуществляется от теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и котельных. ПАО «Мосэнерго» эксплуатирует 13 ТЭЦ и 34 котельные суммарной установленной тепловой мощностью 42262 Гкал/ч. ПАО «МОЭК» – 97 источников теплоснабжения суммарной установленной тепловой мощностью 4241,8 Гкал/ч. Другие теплоснабжающие организации эксплуатируют 14 когенерационных источников, в состав которых входит ТЭЦ МЭИ, и 985 источников теплоснабжения суммарной установленной тепловой мощностью 13631,4 Гкал/ч. Итоговая суммарная установленная тепловая мощность составляет 60135,2 Гкал/ч, а фактическая тепловая нагрузка в 2017 году составила 32398,8 Гкал/ч [1]. Таким образом, установленная тепловая мощность превышает тепловую нагрузку почти в 2 раза.

При эксплуатации такого большого числа источников теплоснабжения возникает задача распределения тепловой нагрузки между ТЭЦ и котельными для снижения потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и уменьшения вредных выбросов. Данная задача связана с оптимизацией топливно-энергетического баланса (ТЭБ) г. Москвы.

Население города является самым крупным потребителем конечной энергии – 13,6 млн. т.у.т./год. Потребление тепловой энергии для энергоснабжения жилых зданий в системе жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) составляет 49900 Ткал/год, электроэнергии – 12730 ГВт·ч/год. Секторы сферы услуг и прочих видов экономической деятельности потребляют 24500 Ткал/год тепловой энергии и 16900 ГВт·ч/год электроэнергии. Суммарное потребление конечной энергии в ТЭБ Москвы составляет 28,2 млн. т.у.т./год. Из этого следует, что главный потенциал энергосбережения сосредоточен у потребителей тепловой энергии.

Необходимо на основе анализа ТЭБ Москвы наметить пути для снижения потребления топлива и уменьшения объемов вредных выбросов на источниках теплоснабжения, с учётом того, что топливом является такой ценный энергетический ресурс как природный газ.

Литература

1. **Проект** «Актуализация схемы теплоснабжения города Москвы на период до 2032 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mos.ru/dgkh/documents/skhemy/view/215440220/> – Источники теплоснабжения г. Москвы. – (Дата обращения: 15.03.2019).

Секция 7

Аккумуляирование энергии

научный руководитель –
профессор, д.т.н. **А.В. Волков**

*С.А. Вольнов, ст. уд.; рук. А.В. Волков, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОНОМНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В ПЕРИОДЫ ПИКОВЫХ НАГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЭС БАШЕННОГО ТИПА

С развитием энергетики из возобновляемых источников неизбежно встаёт проблема неравномерности её выработки и потребления. Особо остро данный вопрос проявляется у децентрализованных потребителей. В данной работе предлагается решение этой проблемы путём внедрения гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) башенного типа [1, 2].

Проведена разработка ГАЭС малой мощности (до 100 кВт) на основе существующих водонапорных башен для энергоснабжения децентрализованных локальных потребителей.

Технические характеристики.

Геометрический напор 15÷30 м;

Объём резервуаров 30÷100 м³;

Мощность до 100 кВт;

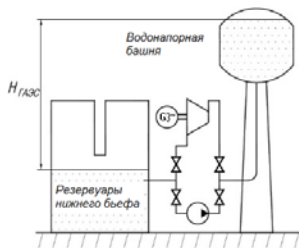
Диаметр водовода до 500 мм.

На сегодняшний день ГАЭС является одним из самых эффективных аккумуляторов больших запасов электроэнергии. Внедрение рассмотренных ГАЭС позволяет решить комплекс задач энергоснабжения децентрализованных потребителей:

- снижение неравномерности нагрузки на сеть не менее чем на 20%;
- обеспечение экологичным энергоснабжением автономных потребителей, расположенных на территории самых разных зон РФ;
- повышение надёжности электроснабжения автономных потребителей.

Литература

1. Синюгин В.Ю., Магрук В.И. и др. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике. – НЦ ЭНАС, 2008.
2. Sterner M., Stadler I. Накопители энергии. Спрос, технологии, интеграция – Berlin Heidelberg, 2017.



**Рис. 1. Схемное решение
мини-ГАЭС**

П.Д. Иванов, студ.; рук. И.А. Пуцылов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИТИЕВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

В настоящее время ряд высокотехнологичных областей науки и техники, к которым относится энергетика, транспорт, медицина и ВПК, остро нуждаются в химических источниках тока (ХИТ) нового поколения. Среди существующих ХИТ наивысшими энергетическими и эксплуатационными параметрами обладают литиевые источники тока (ЛИТ), кроме того, в отличие от традиционных систем ЛИТ обладают наибольшим потенциалом для дальнейшего совершенствования. Так, в ЛИТ до сих пор не решена проблема электролита, и в настоящее время литиевые аккумуляторы производятся не с металлическим литиевым электродом, а с углеродным допированным катионом лития, что существенно ограничивает параметры аккумулятора. Агрессивность существующих электролитов по отношению к наноматериалам не позволяет преступить к их широкомасштабному внедрению в ЛИТ и, соответственно, развивать их по наиболее эффективному пути, связанному с внедрением последних достижений нанотехнологии.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию полимерного электролита (ПЭ) для литиевых источников тока нового поколения. В качестве полимерной основы для изготовления электролита использовали полисульфон и его сополимеры. Проведенные экспериментальные исследования ПЭ показали, что значение их электропроводности существенно зависит как от условий приготовления, так и от состава и структуры электролита. При получении ПЭ, отличающегося массовым содержанием перхлората лития, варьировали температуру и время сушки. Было показано, что зависимости электропроводности от параметров синтеза и содержания солевого компонента носят экстремальный характер, т.е. максимум электропроводности достигается при строго определенных параметрах синтеза и массовом соотношении полимер-соль лития. Разработанный электролит имеет электропроводность $5,0 \times 10^{-3}$ См/см, что существенно превышает электропроводность существующих образцов. Обратимость процесса заряда-разряда в системе Li- ПЭ- Li исследовалась на протяжении 500 циклов. Установлено, что в процессе заряда-разряда после приработки электролита к электродам их поляризационные характеристики существенно не изменяются. Исследование предложенных электролитов в составе макетов литиевых аккумуляторов показало перспективность их применения и возможность существенного улучшения энергетических и ресурсных параметров ЛИТ на их основе.

*Е.А. Куценко, студ.; рук-ли Е.П. Курбатова, к.т.н., ст. преп.;
П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Высокотемпературные сверхпроводящие (ВТСП) материалы в настоящее время находят применение в различных областях. Одним из направлений развития ВТСП устройств является создание бесконтактных магнитных подвесов для кинетических накопителей энергии [1].

ВТСП материалы применяются в конструкциях магнитных подшипников для создания устойчивой магнитной левитации без использования управляемых магнитных подшипников. В случае кинетических накопителей энергии эта особенность позволяет уменьшить энергетические затраты на поддержание работоспособности подвеса и в целом повысить эффективность хранения энергии.

Высокотемпературные сверхпроводники обладают сложными электромагнитными свойствами, в том числе нелинейной зависимостью удельного сопротивления от параметров магнитного поля, плотности тока и температуры. Для проектирования магнитных систем с ВТСП необходимо использовать специальные математические модели, описывающие свойства сверхпроводников [2].

ВТСП материалы обладают возможностью запоминать магнитные поля, в которых они были охлаждены, то есть «захватывать» магнитный поток при переводе в сверхпроводящее состояние. В таком случае они могут использоваться как источники поля аналогично постоянным магнитам. При этом захватываемое магнитное поле в ВТСП материале может превосходить возможности современных постоянных магнитов.

В докладе представлен обзор известных математических моделей свойств ВТСП материала. Приведены результаты компьютерного моделирования ВТСП материала по освоённой методике численного анализа электромагнитных полей с учетом свойств ВТСП материала. Также представлены результаты экспериментальных исследований свойств ВТСП образцов при взаимодействии с постоянными магнитами.

Литература

1. **S.M. Mousavi G.** A comprehensive review of Flywheel Energy Storage System technology // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. № 67
2. Кулаев Ю.В., Курбатов П.А., Курбатова Е.П., Матвеев В.А., Сысоев М.А. *Моделирование электрофизических свойств объемных высокотемпературных сверхпроводников при расчетах магнитных систем* // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана сер. «Приборостроение»*. 2014. № 6.

Секция 8

Цифровизация электроэнергетики

научный руководитель –
доцент, к.т.н. **Р.Р. Насыров**

*Д.М. Амирова, студ.; рук. С.В. Белоусов, к.т.н., доц.,
конс. Д.И. Ковалев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ ПЛАТФОРМА, ОСНОВАННАЯ НА ТЕХНОЛОГИЯХ И ПРИНЦИПАХ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ, ДЛЯ КОНТРОЛЛЕРОВ ПЕРВИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Потребность в электроэнергии продолжает расти, но еще быстрее растут требования к надежности и качеству энергоснабжения. В современных экономических и технологических условиях резко возросла стоимость аварий в энергосистемах и связанная с этим стоимость простоев предприятий. Это ведет к ужесточению требований прогнозирования неисправностей и снижения количества ошибок в принятии решений по управлению энергосистемой.

Контроллеры первичного электрооборудования (рис 1.), создаваемые на основе специализированного процессорного модуля, основанного на технологиях и принципах цифровой подстанции (ЦПС), должны соответствовать существующим требованиям к оборудованию ЦПС и выполнять функции мониторинга энергетических характеристик, сигнализации состояния присоединений и осуществлять управление ячейками электрических подстанций в составе систем АСУТП и телемеханики.

Создание аппаратно-программной платформы для объектов электросетевого хозяйства направлено на достижение целевых показателей распределительного сетевого комплекса: надёжность электроснабжения; оптимизация эксплуатационных затрат; минимизация потерь электрической энергии.

Специализированная энергетическая программно-аппаратная платформа (СЭПАП) должна состоять из двух процессорных модулей. Первый процессорный модуль предназначен для построения интеллектуальных электронных устройств (ПМ ИЭУ), второй процессорный модуль предназначен для построения устройств сопряжения с объектом (ПМ УСО).

Основным принципом функционирования конечных устройств, построенных на базе ПМ ИЭУ, является реализация программных алгоритмов, получающих и выдающих информацию в цифровом виде. Конечные устройства должны поддерживать информационный обмен и логическую информационную модель в соответствии со стандартами МЭК 61850.



**Рис. 1. Контроллеры
первичного электро-
оборудования**

*М.Д. Булатов, студ.; рук. С.В. Белоусов, к.т.н., доц.;
конс. Д.И. Ковалев, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ПО ВЫПУСКУ И РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Единая национальная энергетическая система (ЕНЭС) России представляет собой сложный комплекс, объединяющий множество объектов – генерирующие предприятия, преобразующие подстанции, линии электропередачи различных классов напряжения. Каждый объект состоит из большого количества оборудования и обеспечивающей инфраструктуры, в том числе систем защиты и управления. При этом по данным ПАО «ФСК ЕЭС» [1] более 50% активов сетей ЕНЭС имеют сверхнормативный (более 25 лет) срок эксплуатации.

Исходя из вышесказанного, а также современной политики модернизации электроэнергетического комплекса РФ, предусматривающего импортозамещение, необходим вывод на рынок систем защиты и управления на отечественной элементной базе и ПО, в которых изначально будут спроектированы и заложены средства обеспечения безопасности на основе лучших мировых стандартов и практик, при этом обеспечивающие простую и экономичную модернизацию.

Проведённый анализ рынка современных микропроцессорных систем защиты и автоматизации подстанций показал, что работающие на российских электроэнергетических объектах микропроцессорные устройства на 80% являются продуктом разработки крупных зарубежных компаний – Siemens, Alstom, ABB, GE.

Рассматриваемая в работе структура системы автоматизации защиты и управления (АСЗУ) предусматривает разработку и производство отечественного модульного защищенного специализированного программно-аппаратного комплекса для построения групповых систем защиты и управления энергетическими объектами, функционирующего в соответствии с принципами «цифровой подстанции». Снижение затрат с сохранением уровня надежности осуществляется за счет изменения структуры автоматизированных систем энергообъектов и функционального укрупнения интеллектуальных электронных устройств.

Литература

1. Положение ПАО «Россети» о Единой технической политике в электросетевом комплексе.

*А.А. Иванов, студ.; рук-ли Я.Л. Арцишевский, к.т.н., доц.;
А.А. Волошин, к.т.н., зав.каф.; Б.А. Сафронов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Специализированный программно-технический комплекс (ПТК), способный обеспечить оперативный персонал информацией о состоянии основного и вторичного оборудования объекта в режиме реального времени при нахождении вне своего автоматизированного рабочего места, предназначен для снижения аварийности, связанной с человеческим фактором, при эксплуатации подстанций.

На необслуживаемых подстанциях ПТК дает возможность быстрее адаптироваться выездному персоналу, предоставляя доступ к необходимым картам объекта, схеме подстанции и характеристикам оборудования, тем самым помогая сориентироваться при работе на незнакомом объекте. В возможности ПТК [1] также входит обучение электротехнического персонала и контроль последовательности операций [2].

Разрабатываемый ПТК включает в себя мобильную (клиентская часть) и серверную платформу. В качестве основного устройства мобильной АРМ используются очки дополненной реальности Epson Moverio BT-200, работающие на мобильной платформе Android. Мобильная платформа позволяет автономно построить маршрут обхода, произвести распознавание объектов (на основе библиотек алгоритмов компьютерного зрения OpenCV), предоставить справочную информацию о порядке действий оперативного персонала.

Передача сигнала о текущем состоянии объекта осуществляется с серверной части с использованием интерфейса СУБД MySQL. Серверная часть ПТК осуществляет сбор информации о текущем состоянии оборудования ПС по протоколу IEC 60870-5-104, широко используемому на многих подстанциях.

Литература

1. Система информационного обеспечения персонала ЦПС на базе технологий дополненной реальности. <http://gridology.ru/projects/106>
2. Сафронов Б.А., Волошин А.А., Волошин Е.А. Система информационной поддержки персонала объектов электроэнергетики на базе технологий дополненной реальности //Международная выставка и конференция: «Релейная защита и автоматика энергосистем 2017» Санкт-Петербург.

О.С. Орлов, студ.; рук. Р.Р. Насыров, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)
ОЦЕНКА ОПЕРАТИВНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПОДСТАНЦИИ

Классический расчёт структурной надёжности учитывает только работоспособность оборудования. Однако, большинство аварий на подстанциях происходят в связи с ошибкой человека, а не техники. Поэтому необходимо рассматривать совокупную надёжность системы человек-среда-машина. Ошибки человека на энергообъектах приводят к экологическим проблемам. Наиболее известные, повлекшие за собой большой урон для окружающей среды, аварии: на Чернобыльской АЭС, на нефтяной платформе Deepwater Horizon, на алюминиевом заводе Ajkai Timfoldgyar Zrt и т.д.

Цель данной работы заключается в нахождении метода, который помог бы учесть человеческий фактор в расчёте структурной надёжности. На основе проведённой работы, получив новые показатели надёжности, будут найдены новые решения по уменьшению количества аварий на энергообъектах.

В основу исследований было положено рассмотрение аварий на различных энергообъектах РФ [1, 2]. Для анализа полученных данных использовался метод HRA (human reliability assessment). Были выделены 6 причин, которые повлияли на возникновение аварии. Если один из данных критериев стал причиной аварии, то ему присваивалась цифра 1, если нет, то 0.

По полученной выборке был получен график распределения, из которого видно, что для возникновения аварии необходимо сочетание как минимум 2 причин.

Следя дальнейшим расчетам, была получена вероятность человеческой ошибки, которая может привести к аварии.

Данную вероятность можно включить в классический расчёт надёжности разными способами (последовательно ко всей схеме замещения, параллельно каждому элементу т.д.). Сравнив все способы, будет получен наиболее вероятный показатель, который будет использоваться в нахождении решения проблем надёжности подстанции.

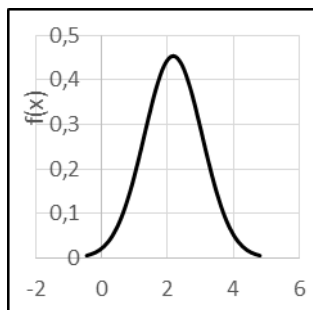


Рис. 1. Кривая распределения.

Литература

1. **Волков Н.Г.** Надёжность электроснабжения: учебное пособие / Томский политехнический университет. – 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.
2. Ростехнадзор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosnadzor.ru/energy/energy/lessons/>, свободный – (23.03.2019)

Секция 9

Технологии индустрии 4.0

научный руководитель –
начальник ОТТ УИД, к.т.н. **И.И. Комаров**

*М.И. Ермишина, студ.; рук. И.В. Шевченко, д.т.н., проф.;
конс. А.Н. Вегера, инж. (НИУ «МЭИ»)*

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ МАССИВОВ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Одним из актуальных направлений развития энергетики России является применение в энергоблоках тепловых электростанций (ТЭС) парогазовых установок (ПГУ), что позволяет повысить КПД с 39 – 40 % до 52 – 60 % [1]. Более 60 % электрической мощности ПГУ приходится на газотурбинные установки (ГТУ). Современные газотурбинные установки работают при максимальной температуре газа перед турбиной до 1400 – 1600 °С. Необходимым условием безопасной и экономичной работы установки является своевременный ремонт и замена ответственных деталей.

Обслуживание теплонпряженных и вибронгруженных деталей ГТУ происходит при определенной наработке, примерно 30000 – 40000 часов. Наиболее ответственными элементами газовых турбин являются охлаждаемые сопловые и рабочие лопатки, элементы камеры сгорания и проточной части. В целях повышения эффективности обслуживания оборудования стремятся перейти к концепции обслуживания ГТУ по состоянию. Концепция предполагает отслеживание в реальном времени технического состояния деталей проточной части турбины с помощью контактных и бесконтактных методов измерения.

Ключевой проблемой, препятствующей активному внедрению систем для обслуживания ГТУ по состоянию, является необходимость обработки больших массивов данных и формирование на основе их анализа адекватных прогнозов по динамике изменения состояния оборудования.

В работе будут рассмотрены подходы к осуществлению технического обслуживания по состоянию, определены типы и значения параметров, измеряемых на реальном оборудовании для оценки фактического состояния оборудования. Будут предложены методы обработки данных.

Литература

1. **Касилов В. Ф., Низовой А. В.** Перспективы использования парогазовых технологий в энергоблоках атомных электростанций // Научные исследования: от теории к практике: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 6 нояб. 2015 г.). В 2 т. Т. 2. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – С. 34-38.

*С.В. Муссаева, студ.; рук. А.Н. Розалев, д.т.н., доц.;
конс. С.К. Осипов, асс. (НИУ «МЭИ»)»*

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ТЭС

В настоящее время проектирование любого энергетического оборудования практически всегда включает в себя этап численных исследований[1], поскольку вычислительный эксперимент позволяет сократить число дорогостоящих и трудоемких натурных (физических) экспериментов. Существует большое разнообразие программных комплексов, предназначенных для выполнения численного моделирования физических процессов: ANSYS, NUMECA, CONCEPT, COMSOL Multiphysics, Elmer FEM Solver, Salome и т.д. Основной проблемой, возникающей на этапе использования современных пакетов для моделирования физических процессов, особенно гидрогазодинамических задач, является многообразие моделей турбулентности, каждая из которых обеспечивает адекватные результаты моделирования в некоторой области применения, отсутствие универсальных рекомендаций по настройке расчетных сеток и решателей программ численного моделирования, обеспечивающих получение достоверного результата численного моделирования. Отсюда возникает многокритериальная задача оптимального выбора настроек численного моделирования физических процессов в элементах оборудования при заданных геометрических ограничениях и теплофизических условиях течений жидких и газовых сред. Для решения этой задачи необходимо выполнить верификацию результатов численного моделирования с использованием существующих эталонов экспериментальных исследований.

В работе представлен анализ типовых гидрогазодинамических задач, решаемых при проектировании энергетического оборудования, и проведения их классификация для дальнейшего совместного их исследования на предмет оценки адекватности применяемых инструментов математического моделирования и определения способов повышения достоверности результатов расчетов.

Литература

1. **Rahbar K.** Development and experimental study of a small-scale compressed air radial inflow turbine for distributed power generation / Mahmoud S., Al-Dadah R.K., Moazami N. // Applied Thermal Engineering 116. – 2017. P. 549–583.

*А.Н. Павлов, студ.; рук. В.П. Соколов, д.т.н., проф.;
конс. А.Н. Вегера, асс. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКАМ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОВОЙ ГЕНЕРАЦИИ

В 2017 году в России была принята Программа «Цифровая экономика», реализация которой способствует внедрению цифровых технологий в различные области промышленности РФ. Основным направлением цифровизации в энергетике является построение цифровых двойников.

Цифровой двойник – это компьютерный образ физического объекта или процесса, который детально повторяет облик физического прообраза и происходящих в нем процессов [1].

В энергетике одним из главных направлений применений цифровых двойников является использование их для отслеживания текущего технического состояния объекта. Ключевой характеристикой генерирующего объекта является КПД по выработке электроэнергии, следовательно, задача по построению цифровых двойников, обеспечивающих возможность получения информации, которая может быть использована для повышения характеристик рабочих процессов, является перспективной [1].

Для построения цифровых двойников применяется ряд программных комплексов (SmartPlan, Aveva, SR::Suit, Siemens PLM Software и тд.), каждый из которых предлагает инструменты для создания различных типов моделей (трехмерные модели, базы данных оборудования и компонентов, имитационные модели технических систем, системы для обслуживания оборудования по состоянию, финансово-экономические модели). В силу различий между видами создаваемых в программных пакетах моделей, отличаются и эффекты от их использования, и необходимый объем исходной информации для создания моделей [2].

В ходе выпускной магистерской работы будут созданы геометрические и параметрические модели оборудования ТЭЦ МЭИ, что позволит разработать методологию построения цифровых двойников для объектов генерации и оценить эффекты от их использования.

Литература

1. **Пронина Е.В.** Цифровой двойник в современном производстве //Scientific perspectives 2018. – 2018. – С. 58-60.
2. **Брускин С.Н.** Модели и инструменты предиктивной аналитики для цифровой корпорации //Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова. – 2017. – №. 5 (95).

*В.А. Рябченкова, студ.; рук. И.В. Шевченко, д.т.н., проф.;
конс. С.К. Осипов, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ТЭС

В настоящее время проектирование высокотехнологичной продукции в сфере энергомашиностроения практически всегда включает в себя выполнение численного моделирования [1]. Проведение всесторонних численных экспериментов является обязательным этапом проектирования высокотехнологичной продукции, поскольку вычислительный эксперимент позволяет сократить число дорогостоящих и трудоемких натурных (физических) экспериментов. Однако, несмотря на существенное развитие инструментов численного моделирования, полученные результаты не всегда обеспечивают требуемый уровень достоверности. Особую сложность вычислительных расчетов определяет сопряженный характер задач, когда моделирование одного процесса невозможно без предварительного моделирования другого, результаты которого являются начальными граничными условиями для первого. На данный момент задача выбора инструментов решена не в полной мере, так как существует множество критериев моделирования (параметры расчетных сеток, параметры решателя), которые сильно влияют на конечный результат численного моделирования. Отметим, что проводить верификацию на расчетных моделях, которые полностью повторяют конструкции элементов энергетического оборудования, зачастую не предоставляется возможным в силу больших масштабов моделей и расчетной сетки, значительных затрат времени и вычислительных ресурсов, а также низкой достоверности результатов из-за каскадного наложения ошибки. Важно провести упрощение расчетных задач до типовых задач, для которых существуют результаты физических испытаний. Цель состоит в установлении достаточной степени подобия задач для определения в дальнейшем в ходе верификации общих подходов к их численному решению. В работе представлен анализ типовых тепломассообменных задач, решаемых при проектировании энергетического оборудования, и проведена их классификация для дальнейшего совместного их исследования на предмет оценки адекватности применяемых инструментов математического моделирования.

Литература

1. **Rahbar K.** Development and experimental study of a small-scale compressed air radial inflow turbine for distributed power generation / Mahmoud S., Al-Dadah R.K., Moazami N. // *Applied Thermal Engineering* 116. – 2017. P. 549–583.

*А.Г. Старых, студ.; рук. В.П. Соколов, д.т.н., проф.;
конс. А.Н. Вегера, инж. (НИУ «МЭИ»)*

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ТЭС

На данный момент внедрение технологии цифровых двойников является одной из актуальных стратегических технологических задач на ближайшую перспективу. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 года № 1632-р утверждена программа «Цифровая экономика Российской Федерации». В российской электроэнергетике цифровые технологии активно развиваются в направлении создания цифровых двойников (ЦД) тепловых электрических станций.

Цифровой двойник представляет собой совокупность виртуальных моделей физического объекта, которые в точности воспроизводят характеристики и процессы реального объекта [1]. Применение ЦД позволяет анализировать показатели технологических процессов предприятия в реальном времени и следить за техническим состоянием оборудования с использованием интеллектуальных систем обработки больших массивов данных [2].

Для построения ЦД существует ряд программных комплексов (SR::Suit, Siemens PLM Software, Полином и др.), которые позволяют разрабатывать различные виды моделей, состав которых может отличаться в зависимости от типа задач, на решение которых направлено создание ЦД. Разработка каждой модели занимает много времени и сопряжено со значительными финансовыми затратами, соответственно, увеличивается стоимость создания цифрового двойника. Для получения максимальной эффективности от применения цифрового двойника необходимо оценить эффекты от использования каждой отдельной модели или их комбинаций и на этой основе осуществить выбор необходимой конфигурации цифровой модели ТЭС.

В ходе работы будет построена имитационная модель ТЭЦ МЭИ. Анализ потенциальных эффектов, которые будут получены от применения ЦД, позволит сформировать требования для их построения в целях реализации концепции обслуживания по состоянию.

Литература

1. **Пономарев К.С., Феофанов А.Н.** Цифровой двойник производства как инструмент цифровизации технологических процессов предприятия //www.issledo. ru Редакционная коллегия. – 2019. – С. 141.
2. **Осика Л.К., Журавлёв В.С.** Виртуальное моделирование как единый инструмент управления жизненным циклом тепловых электростанций //Электрические станции. – 2013. – №. 4. – С. 2-10.

*Е.М. Тябук, студ.; рук. А.В. Рыженков, д.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ»)*

К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ЗДАНИЯ В МОСКВЕ

В настоящее время актуальность проблемы энергосбережения возрастает с каждым днём. Особое значение она приобретает при повышении энергетической эффективности существующих зданий.

Среди всех доступных технологий, способствующих снижению энергопотребления здания, одним из наиболее перспективных и распространённых решений является использование возобновляемых источников энергии, например, установка гелиоколлекторов для частичного покрытия нагрузки на отопление и горячее водоснабжение.

Целью данной работы является исследование эффективности использования гелиоколлекторов в городе Москве и определение особенностей их размещения на кровле, учитывая место расположения конкретного здания.

Для достижения поставленной цели было проведено расчётно-параметрическое исследование эффективности гелиоколлекторов при их монтаже на кровле здания с позиционированием на юг [1] и использованием крепёжных элементов, позволяющих изменять наклон тепловоспринимающей поверхности. Анализ результатов расчётного исследования позволил выявить оптимальный угол наклона гелиоколлектора к горизонтальной плоскости, который составил 56° для выбранного месторасположения. При данном угле определено, что количество теплоты, воспринимаемое поверхностью в течение года, составляет $10,4 \text{ ГДж/м}^2$. Кроме того выявлено, что в случае изменения угла наклона не реже одного раза в месяц количество теплоты, воспринимаемое приемником, составит почти 11 ГДж/м^2 за год.

Таким образом, реализация данного мероприятия позволит снизить потребление тепловой энергии от централизованных систем теплоснабжения. При этом ежемесячное изменение угла наклона тепловоспринимающей поверхности позволит повысить получаемое количество теплоты до 5 % по сравнению с фиксированным оптимальным углом наклона.

Литература

1. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 392с.: ил. ISBN 5-283-02469-5 (рус.)

