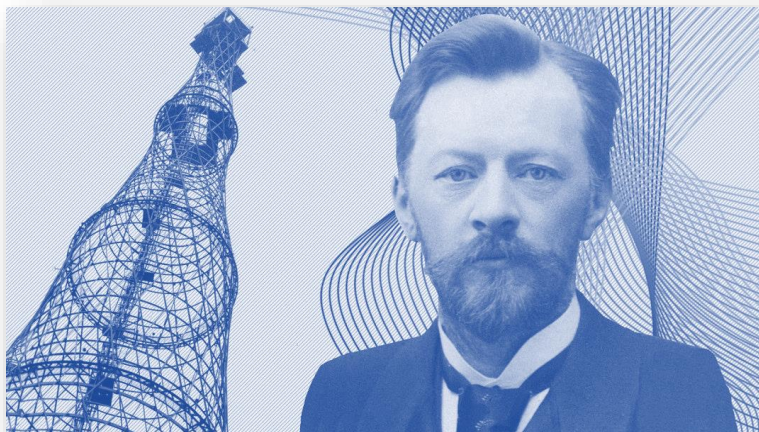


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение инноваторов  
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»

**Международная научно-техническая  
конференция молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова,  
*посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова***



*Сборник докладов*

*Часть 14*

***Проблемы современной электротехники и энергетики***

Белгород  
16-17 мая 2023 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

М 43

**Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова [Электронный ресурс]:** Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 14. – 386 с.

ISBN 978-5-361-01142-1

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745

ББК 72.5

**ISBN 978-5-361-01142-1**

©Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2023

## Оглавление

Абдуллина А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ ЗАЩИТЫ  
ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК..... 13

Альзаккар Ахмад

STUDY OF THE APPROXIMATE FUNCTIONS OF COIL AND OIL  
TEMPERATURE OF TRANSFORMERS AT SUBSTATION "KABUN-  
1" IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC ..... 16

Анцупов Н.А.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТЭК КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ  
РЕСПУБЛИКИ ..... 21

Астафьев В.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИНАХ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ ..... 23

Ахметвалиева Л.Р.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ  
УСЛОВИЯХ..... 27

Ахметова А.Л.

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ  
СЕТЕЙ..... 32

Бабкин Д.В., Атрошенко А.О., Бабкина А.В.

ОБЗОР СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ  
НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ, РАБОТАЮЩИХ В СУРОВЫХ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ..... 36

Бабкин Д.В., Атрошенко А.О., Болков Я.С.

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ  
ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ) ..... 40

Биккинеев И.Р.

ТЯГОДУТЬЕВЫЕ НАГНЕТАТЕЛИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ ..... 42

Бобро Д.П.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНЫМИ  
ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАМИ ..... 45

Варламов П.П., Трегуб О.С., Сергеев Е.П.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В СФЕРЕ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ..... 48

Варламов П.П., Трегуб О.С., Сергеев Е.П.

ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ  
КОМПЬЮТЕРА ..... 52

Вертинский К.О.

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И  
ЭНЕРГЕТИКИ ..... 57

Ганюшкина Ю.Д.

ОСОБЕННОСТИ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ..... 62

Гиниятов А.Р.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ  
ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
ЭНЕРГЕТИКЕ ..... 64

Гиниятов А.Р., Маслов И.Н.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ  
ОПТИМИЗАТОРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ..... 69

Гиниятов А.Р., Маслов И.Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СЧЁТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ  
НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ..... 72

Долгов В.А.

ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА..... 75

Дробов А.В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ ..... 78

Дьяков Д.Ю.

ОЦЕНКА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СИСТЕМЕ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ 83

Дьяков Д.Ю.

ОЦЕНКА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В  
СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ ..... 89

Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В., Жуков А.А.

УСТРОЙСТВО БЕСКОНДЕНСАТОРНОГО ЗАПУСКА  
ОДНОФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ ..... 96

Жданов А.А., Руколеев А.В., Петреков П.В.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА С  
РУЧНОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА ..... 99

Жилин Е.В., Доценко О.В., Сибирцева Н.Б.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ  
ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА ..... 103

Жилин Е.В., Кузнецова А.Д.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ,  
РАССЧИТЫВАЮЩЕГО РЕЖИМЫ РАБОТЫ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ ..... 108

Залялов А.Т.

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И МЕРОПРИЯТИЯ,  
НАПРАВЛЕННЫЕ НА СОХРАНЕНИЕ ПАРА И КОНДЕНСАТА НА  
ТЭС И СОКРАЩЕНИЕ ИХ ПОТЕРЬ ..... 113

Ибоян Д.Л., Насибян А.А.

LIGHTING SYSTEMS AND ENERGY CONSERVATION ..... 116

Ибоян Д.Л., Насибян А.А.

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ..... 119

Иксанов Ф.Ф., Маслова Г.Д.

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ ..... 123

Карпов И.А., Котов В.С., Власов А.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ  
ХРАНЕНИЯ ТРУБНЫХ СИСТЕМ КОТЛОВ..... 128

Келигов А.А., Стадникова С.В.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.... 132

Коломыченко А.А.

ПОТЕНЦИАЛ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РОССИИ  
..... 136

Коломыченко А.А.

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В РОССИИ  
..... 140

Коломыченко А.А.

ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ..... 143

Коломыченко А.А.

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД  
10 ВЕДУЩИХ СТРАН-ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ 147

Коломыченко А.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ УГОЛЬНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ..... 151

Колотова К.А.

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ ИХ  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ..... 155

Кравчук А.А., Старостина Я.К.

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ .	158
Кузин М.М.	
СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫХ ЛАЗЕРОВ .....	161
Купин М.Ю.	
ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ .....	164
Леонов Е.С.	
КОМБИНИРОВАННОЕ СЖИГАНИЕ БИОГАЗА И ПРИРОДНОГО ГАЗА.....	168
Леонов Е.С.	
СЖИГАНИЕ БИОГАЗА В МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ.....	172
Лесниченко И.Н.	
ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ .....	176
Лесниченко И.Н.	
ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ГЕРМАНИИ.....	183
Ломоносова А.А., Маслов И.Н.	
ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	190
Миниханова А.Р.	
ПРОБЛЕМЫ НИЗКИХ ТЕМПОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	193
Молчанова Е.С.	
USE OF GEOTHERMAL ENERGY RESOURCES IN ELECTRICITY PRODUCTION .....	196
Молчанова Е.С.	

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОЭНЕРГИИ .....	200
Муженко А.С., Миляков В.Г.	
О КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ И УРОВНЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ .....	204
Наумов А.Д.	
СОЗДАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА .....	207
Наумова С.И.	
ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛОГО МИКРОРАЙОНА.....	209
Палиенко Н.И., Беловодский Е.А., Чесняк А.В.	
РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ.....	213
Панищева Ю.С.	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕШАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ЧАСТНОГО ДОМА .....	218
Панищева Ю.С.	
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....	223
Панищева Ю.С.	
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....	226
Печенкин Я.О., Маслов И.Н.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСЕТИ КОТТЕДЖНОГО ПОСЁЛКА НА ОСНОВАНИИ ФАКТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК .....	229
Печенкин Я.О.	
ГРАДИРНИ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ .....	231
Попова А.Ю., Попов С.А.	



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ.....	234
Попова А.Ю., Попов С.А.	
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЕВРОПЕ .....	238
Попова А.Ю.	
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ .....	243
Попова А.Ю.	
ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ .....	248
Попова А.Ю.	
МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	251
Рамазанова Н.Т.	
ЗАТРАТЫ НА УЛАВЛИВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ УГЛЕРОДА: ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ.....	254
Ревин Д.В.	
НЕСТАБИЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ЕЁ ПОСЛЕДСТВИЯ .....	257
Ревин Д.В.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	261
Ревин Д.В.	
ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КОНДЕНСАЦИОННОГО КОТЛА И ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ.....	265
Рубцов К.Д.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПОСТОВ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	271
Сагдиев Р.Р.	

КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ.....	276
Сагдиев Р.Р.	
ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.....	279
Сагитов С.Р., Маслова Г.Д.	
СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ МИКРОГЕНЕРАЦИИ.....	283
Семенова С.А.	
ПЛЮСЫ И НЕДОСТАТКИ РАБОТЫ ПО ДОГОВОРАМ ДПМ...	286
Сибагатов И.Г.	
АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: БАЛАНС ЭКОНОМИКИ И РИСКОВ В НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ.....	289
Скворцов А.А., Дудинский Т.С.	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	292
Скворцов А.А., Шахова А.В.	
ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ И ПЛОТНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА .....	297
Слюнкин А.С.	
БИОМАССА КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ .....	304
Солянов В.И.	
РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ АГЛОМЕРАЦИИ ГОРОДСКОЙ «Г. МОСКВА – МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ».....	307
Спирин П.В.	
ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПУТЬ К УСТОЙЧИВОМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ БУДУЩЕМУ .....	310
Степаненко С.О.	
ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	314

Тиманов А.А.

ЭФФЕКТ ФЕРРАНТИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ,  
ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ  
ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТЕЙ ..... 317

Фатхутдинов А.А.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ..... 320

Фаустова С.А., Васильева Н.А.

ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛОВ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК 325

Хабибуллин Б.Р., Маслов И.Н.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ..... 328

Хазиев И.А.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ  
И БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН..... 331

Харитонов Е.А.

РАЗОБЩЁННОСТЬ КАК ГЛАВНАЯ ПРОБЛЕМА РОССИЙСКОЙ  
ЭНЕРГЕТИКИ ..... 334

Чесняк А.В., Палиенко Н.И.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ..... 338

Чуксева А.А.

ДОЖИМНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ ..... 342

Шакиров Э.Р.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ  
УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕКСИЛОГО ГАЗА НА ТЭС ..... 346

Шатило И.А.

АНАЛИЗ И МОНИТОРИНГ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС  
..... 349

Шагило И.А.	
МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ.....	354
Шагило И.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗИФИКАЦИИ НИЗКОРЕАКЦИОННЫХ УГЛЕЙ.....	358
Шагило И.А.	
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ	363
Шагило И.А.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖКХ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.....	368
Шагило И.А.	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В РОССИИ.....	372
Шагило И.А.	
ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ .....	376
Шатчишембе В.Л.	
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕГЕТИЧЕСКОЙ УСТОЯЧКИ СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ.....	380
Шмачкова Е.О.	
ЗНАЧИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ.....	383

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК**

В процессе работы теплоэнергетических систем объектов энергетики и промышленности возникают условия, при которых трубопроводы эксплуатируются в тяжелых условиях, например, при высоких и низких температурных режимах. Кроме того, для регулирования температурных параметров рабочих тел (пара или горячей воды), находящихся внутри трубопровода, часто применяется ввод холодных сред: также воды или пара, но меньшего потенциала (например, впрыск охлаждающей воды). В этом случае металл смесительных узлов, технологических тройников и прочих систем разветвления трубопроводов, может испытывать сильнейшие термические напряжения, которые могут ослабить трубопровод, привести к его деформации, разрыву (разгерметизации). Вследствие этого, важнейшей задачей при проектировании теплоэнергетического оборудования и систем является применение изоляционных оболочек для защиты трубопроводов при их эксплуатации в условиях переменных температурных режимов, а также при воздействии (или смешения) потоков водяных и паровых теплоносителей рабочих тел теплоэнергетических установок, имеющих разный потенциал. Правильно выбранные источники тепла, а также специально подобранные материалы для оборудования энергоустановок могут обеспечить максимальный тепловой эффект работающих систем. Одним из наиболее распространенных способов защиты тепловодов, а также тепловой изоляции является применение так называемых «тепловых рубашек».

Тепловые рубашки представляют собой слои изоляции, размещаемые как снаружи, так и внутри оборудования или трубопровода. Внешние слои защиты сочетают в себе термальную изоляцию и защиту от механических повреждений, используются для поддержания необходимой температуры внутри трубопроводов и оборудования, а также для защиты персонала воздействия высоких температур. Они могут быть изготовлены из разных материалов и иметь различные технические характеристики. Основные материалы,

используемые для производства внешних защитных слоев – стекловолокно, керамические волокна, минеральная вата, каучук и полимерные материалы. Для сохранения целостности самого трубопровода существует немало разнообразных видов металлических защит, в числе которых можно выделить тройники, врезки, отводы в 45 и 90 градусов, а также различного рода оболочки – конусные, прямые, с разной длиной и прочие. В качестве металлических оболочек могут применяться трубы, кожухи, пластины из различных металлов, среди которых, в реальных условиях эксплуатации часто используют нержавеющую сталь, алюминий, титан и другие металлы и материалы. Данные материалы отличаются высокой долговечностью, что в свою очередь приводит к многократному увеличению срока службы трубных элементов.

Защитные металлические оболочки трубопроводных систем обладают достоинствами и недостатками. Среди достоинств можно выделить, во-первых, защиту от коррозии и повреждений. В следствие того, что металлические кожухи помещаются во внутрь рабочей трубы и при подведении противоположнотемпературных сред к данному телу, вся нагрузка приходится на защитную оболочку, а не на сам трубопровод, что обеспечивает защиту от механических повреждений, коррозии, увеличивает срок эксплуатации труб и снижает риск протечек. Во-вторых, часто используемые в изготовлении данных оболочек материалы являются долговечными и относительно недорогими, например, оцинкованная сталь. В-третьих, в связи со своей конструкционной и технической универсальностью защитные кожухи могут быть установлены на различных типах трубопроводах, включая трубопроводы для воды, нефтяные и газовые трубопроводы, трубопроводы для химических веществ и т.д. Если говорить о недостатках – то, это сложности установки защитных металлических труб. При внедрении защитной конструкции во внутрь трубопровода необходима ее фиксация, например, путем сварки или другими крепежными элементами, однако, при выполнении некачественных монтажных работ это может вызвать напряжения, создаваемые крепежными элементами, на данном участке, что в свою очередь приведет к ослаблению надежности конструкции. Сварные соединения обычно характеризуются быстрым нагреванием и охлаждением металла, что может приводить к образованию больших зерен и дефектов в кристаллической решетке. Кроме того, при сварке металлы подвергаются напряжениям и деформации, что также может вносить изменения в структуру металла. В результате этого эти изменения могут приводить к ослаблению свойств металла и уменьшению его прочности.

Чтобы минимизировать такие эффекты, в процессе сварки используются специальные технологии и материалы, а также проводятся соответствующие обработки и контроль качества сваренных соединений. Еще одной важной задачей проектирования является правильное определение диаметра защитного кожуха, так как при уменьшении диаметра возрастает гидравлическое сопротивление рабочего тела, что в свою очередь может стать причиной повреждения труб и других элементов системы.

Так, согласно исследованиям [1-2] на эффективность использования защитных кожухов, могут влиять теплопотери в системах теплоизоляции, которые могут составлять до 20-30 % от всей потребляемой энергии. Однако, применение металлических оболочек снижает эти потери на 50 % и более. Также, условия сохранения тепла в системах теплоизоляции может привести к существенной экономии денежных средств. По предварительным оценкам применение технологий теплоизоляции может привести к снижению расходов на энергию на уровне 10-50 %. Использование металлических оболочек для тепловой изоляции трубопроводов и оборудования также может повысить безопасность оборудования, снизить вероятность аварийных ситуаций и минимизировать риски для работников. Наконец, применение современных технологий теплоизоляции, включая металлические оболочки, может снизить выделение парниковых газов и других выбросов, а также уменьшить негативное влияние на окружающую среду.

Металлические оболочки в настоящее время являются незаменимым компонентом монтажа трубопроводов и оборудования. Они обеспечивают защиту трубопровода от коррозии и механических повреждений, увеличивая таким образом срок эксплуатации и надежность системы. За счет своей прочности и долговечности, защитные оболочки уменьшают риски аварий и снижают расходы на ремонт и замену элементов трубопроводной системы. Важно отметить, что применение данных защитных оболочек, металлических кожухов носит широкий характер, то есть они могут быть применены в различных отраслях, включая строительство, нефтегазовую промышленность, машиностроение и другие, а также адаптированы к различным типам труб и оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Опарин, В. Б. Оценка прочности гибких многослойных металлополимерных труб / В. Б. Опарин, А. А. Синюгин // Евразийское Научное Объединение. – 2018. – № 11-1(45). – С. 70-72. – EDN YSTQFF.
2. Zhang T., Yang H. Heat transfer pattern judgment and thermal performance enhancement of insulation air layers in building envelopes // Applied Energy. – 2019. – Т. 250. – P. 834-845.

*УДК 621.314.211*

*Альзаккар Ахмад*

*Научный руководитель: Грачева Е.И., д-р техн. наук, проф.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

### **STUDY OF THE APPROXIMATE FUNCTIONS OF COIL AND OIL TEMPERATURE OF TRANSFORMERS AT SUBSTATION "KABUN-1" IN THE SYRIAN ARAB REPUBLIC**

Monitoring the condition of power transformers is of great importance when considering issues of reliability and safety in the power system. Thermal stress is the main factor that needs to be controlled. Sharp fluctuations in the temperature of the transformer winding, oil, insulating medium, etc. affect the operating conditions, service life and safety of transformers. The purpose of the study is to determine the type of approximation functions for the dependence of the temperature of the windings and oil of power 33/11 kV transformers at the substation "Kabun-1" in Syria.

The coefficient of determination ( $R^2$ ) is a measure that provides information about the fit of the model. In the context of regression line, it is a statistical measure of how well the regression line approximates the actual data [1]. Therefore, it is important when a statistical model is used either to predict future outcomes or to test hypotheses. The coefficient  $R^2$  lies in the range from 0 to 1. If the value of coefficient closer to 1, then the dependency is more significant [2].

In our study, the independent variable is the temperature ( $y=t$ ), and the dependent variable is the load factor ( $x=K_L$ ). The coefficient  $R^2$  is calculated according to this equation (1) [3]:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}, \quad (1)$$

$y_i$ : actual values;



$\hat{y}$ : calculated values of the investigated quantity;

$\bar{y} = \frac{\sum_i y_i}{n}$ : the average value of the investigated value;

$\sum_i (y_i - \hat{y})^2$ : is the sum of squared regression errors;

$\sum_i (y_i - \bar{y})^2$ : is the sum of the squared deviations of the data points from the mean.

The average approximation error is calculated by the expression [4]:

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_i \left| \frac{(y_i - \hat{y})}{y_i} \right|, \quad (2)$$

n—Number of actual values.

Table.1. shows the actual values between the load factor and the allowable temperature of the oil and winding of the transformer at substation "Kabun-1".

Table 1 – The actual values of the substation "Kabun-1"

$K_L=x$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
$t_1=y_1$	1	5	8	10	20	25	35	45	55	70	85
$t_2=y_2$	1	7	10	20	30	45	60	80	100	120	150
$t_3=y_3$	1	8	13	25	40	55	75	105	140	160	180
$t_4=y_4$	1	13	30	45	60	90	120	150	180	220	260

For example, the function approximation of the value of windings temperature average (above oil temperature), can be represented by the following expressions:

Exponential:

$$t_1 = 2.7697e^{1.9146K_L}, \quad (3)$$

Linear:

$$t_1 = 41.182K_L - 85.455, \quad (4)$$

Polynomial:

$$t_1 = 17.541K_L^2 + 6.1K_L + 1.979, \quad (5)$$

Let's calculate the coefficient of determination by expression (1) for the polynomial function:

Calculated values using equation (5):

$$\begin{aligned}
 t_1 &= 17.541K_L^2 + 6.1K_L + 1.979 \\
 K_L = 0 &\Rightarrow \hat{t}_1 = 17.541(0)^2 + 6.1(0) + 1.979 = 1.979 \quad , \\
 K_L = 0.2 &\Rightarrow \hat{t}_2 = 17.541(0.2)^2 + 6.1(0.2) + 1.979 = 3.9 \\
 &\vdots \\
 K_L = 2 &\Rightarrow \hat{t}_{11} = 17.541(2)^2 + 6.1(2) + 1.979 = 84.34
 \end{aligned} \tag{6}$$

Actual values obtained from Table.1:

$$t_i = 1; 5; 8; 10; 20; 25; 35; 45; 55; 70; 85, \tag{7}$$

Average value:

$$\begin{aligned}
 \bar{t} &= \frac{\sum_i t_i}{n} \\
 \bar{t} &= \frac{1+5+8+10+20+25+35+45+55+70+85}{11}, \\
 \bar{t} &= 32.636
 \end{aligned} \tag{8}$$

We substitute (6), (7), (8) into (1):

$$\begin{aligned}
 R^2 &= 1 - \frac{\sum_i (t_i - \hat{t})^2}{\sum_i (t_i - \bar{t})^2} \\
 R^2 &= 1 - \frac{(1-1.979)^2 + \dots + (85-84.343)^2}{(1-32.636)^2 + \dots + (85-32.636)^2}, \\
 R^2 &= 0.998
 \end{aligned} \tag{9}$$

Next, we calculate the average approximation error, we substitute (6) and (7) into (2):

$$\begin{aligned}
 \bar{A} &= \frac{1}{n} \sum_i \left| \frac{(t_i - \hat{t})}{t_i} \right| \\
 \bar{A} &= \frac{1}{11} \left[ \left( \frac{1-1.979}{1} \right) + \dots + \left( \frac{85-84.343}{85} \right) \right] \times 100\% \quad , \\
 \bar{A} &= 7.192 < 15\%
 \end{aligned} \tag{10}$$

The error was less than 15%, which indicates a fairly high approximation accuracy. The calculation results are shown in table.2.

Table 2 – Calculate the determination coefficient for a polynomial function.

$t_i = t_1$	$\hat{t}$	$\bar{t}$	$(t_i - \hat{t})^2$	$(t_i - \bar{t})^2$	$\sum_i (t_i - \hat{t})^2$	$\sum_i (t_i - \bar{t})^2$	$R^2$	$\bar{A}, \%$
1	1.9	32.6	0.9	1000.8	14.1	7898.5	0.998	7.2

5	3.9	1.2	763.7				
8	7.2	0.5	606.9				
10	11.9	3.8	512.4				
20	18.1	3.6	159.6				
25	25.6	0.3	58.3				
35	34.5	0.1	5.5				
45	44.8	0.01	152.8				
55	56.6	2.7	500.1				
70	69.7	0.04	1396				
85	84.3	0.4	2741.9				

Table 3. shows the approximation equations for the following temperatures: ( $\theta_{w.av.oil}=t_1$ ;  $\theta_{w.av.air}=t_2$ ;  $\theta_{oil.av}=t_3$ ;  $\theta_{oil.max}=t_4$ ).

Table 3 – Approximation Equations for Steady Superheat Temperature from Transformer Load Factors

Approximation function		R <sup>2</sup>	Ā%
<b>t<sub>1</sub> (°C)- The value of windings temperature average (above oil temperature)</b>			
Exponential	$t_1 = 2.7697e^{1.9146K_L}$	0.711	9.97%
Linear	$t_1 = 41.182K_L - 85.455$	0.945	85,16%
Polynomial	$t_1 = 17.541K_L^2 + 6.1K_L + 1.979$	0.998	7.2%
<b>t<sub>2</sub> (°C) - The value of winding temperature average (above air temperature)</b>			
Exponential	$t_2 = 3.5496e^{2.127K_L}$	0.50	16.61%
Linear	$t_2 = 73.5K_L - 16.864$	0.947	161.81%
Polynomial	$t_2 = 30.798K_L^2 + 11.9K_L + 1.61$	0.999	4.49%
<b>t<sub>3</sub> (°C) -The value of oil temperature average (above cooling air temperature)</b>			
Exponential	$t_3 = 4.0746e^{2.208K_L}$	0.292	21.41%
Linear	$t_3 = 94.5K_L - 21.591$	0.952	205%
Polynomial	$t_3 = 35.1K_L^2 + 24.2K_L - 0.52$	0.993	13.84%
<b>t<sub>4</sub> (°C)- The value of oil temperature in the upper layer (above cooling air temperature)</b>			
Exponential	$t_4 = 6.456e^{2.1634K_L}$	0.127	41.49%
Linear	$t_4 = 129.23K_L - 22.955$	0.968	218%
Polynomial	$t_4 = 41.17K_L^2 + 46.8K_L + 1.74$	0.999	6.3%

As a result, from table.3., it was found that the polynomial function is the most accurate, because the coefficient of determination is closer to 1 and the percentage of the average approximation error is the smallest.

Fig.1 shows graphs of functions approximation of the temperature (winding and oil) at steady-state heating with different values of the load factors of transformers ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ).

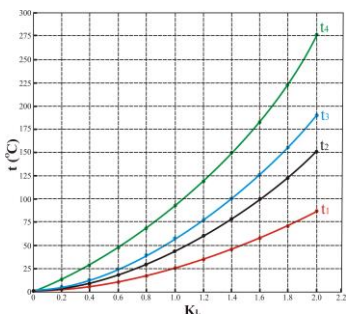


Fig. 1 Graphs of function approximation (polynomial)

The coefficients of determination ( $R^2$ ) and the average approximation error (A%) of functions of overheating temperature of the windings are calculated. As a result of the research, it was found that the polynomial function is the most reliable.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдуллазянов Э.Ю. Прогнозирование и анализ электропотребления и потерь электроэнергии на промышленных объектах / Э.Ю. Абдуллазянов, Е.И. Грачева, А. Альзаккар, М.Ф. Низамиев, О.А. Шумихина, S. Valtchev // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. — 2022. — № 6. — С. 3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-6-3-12>.
2. Абдуллазянов Э.Ю. Анализ и исследование электропотребления объектов промышленной зоны г. Адра-Сирия / Э.Ю. Абдуллазянов, Е.И. Грачева, А. Альзаккар // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. — 2023. — № 1. — С. 118-129. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2023-25-1-118-129>.
3. Mestnikov N. Development of Method of Protection of Solar Panels Against Dust Pollution in the Northern Part of the Russian Far East / N. Mestnikov, P. Vasiliev and A. Alzakkar // International Ural Conference on Measurements (UralCon). — 2021. DOI: 10.1109/UralCon52005.2021.9559596.

4. Mestnikov N. Assessment of the Performance of the Solar Power Plant with a Capacity 150W / N. Mestnikov, A. Alzakkar, I. Valeev // International Russian Automation Conference (RusAutoCon). — 2021. — pp. 404–408. DOI: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537318.

*УДК 310.15*

*Анцупов Н.А.*

*Научный руководитель: Бабиков О.Е., асс.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТЭК КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

Социально-экономическое развитие Китайской Народной Республики (КНР) долгое время сопровождалось недостатком генерирующих мощностей для нужд промышленности и социального сектора. Однако в новом столетии наблюдается впечатляющее ежегодное наращивание энергетических мощностей, что несомненно внесло вклад в стремительный экономический рост КНР. Однако в топливно-энергетическом балансе страны долгое время преобладало потребление угля, что принесло серьезный экологический ущерб окружающей среде и здоровью населения. На долю энергетической отрасли, как крупнейшего потребителя угля, приходится более 23%, 45% и 64% выбросов твердых частиц и золы, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>, а также 44% выбросов CO<sub>2</sub>.

В литературных источниках [1-3] отражено изменение спроса и планирование производства электроэнергии в КНР. Однако большинство из исследований были проведены до 2014 года и отражают нынешнее состояние макроэкономики Китая. Новое руководство Китая в 2014 году взяло курс на переход к новой энергетической политике, направленной на снижении доли ископаемых топлив, в частности угля, для выработки электрической энергии и развитие возобновляемой энергетики. Три влиятельных исследования, опубликованных в 2018 году [4], дают различные прогнозы потребления электроэнергии в Китае к 2030 году в диапазоне от 7000 ТВт·ч до 11000 ТВт·ч.

С 1980 года в Китайской Народной Республике возрастал спрос на электроэнергию вследствие бурного экономического роста. Но после 2010 года темп развития экономики замедлился, также это сопровождалось реструктуризацией производства. В топливно-энергетическом комплексе угольная генерация составляет более 70%. Развитие ядерной энергетики ограничено многими факторами, в то

время как возобновляемые источники энергии активно развиваются. Экономичность тепловых электростанций в КНР на данный момент постоянно совершенствуется путем модернизации существующих установок, а также внедрением современных парогазовых установок и применением современных котлов большой мощности, работающих на угле.

К концу 2012 г. на блоки мощностью 600 МВт и выше приходилось 40,15% мощности всех угольных электростанций, что на 20% больше, чем в 2006 г., тогда как на блоки мощностью менее 300 МВт приходилось лишь 25%. Для сравнения, в 1995 г. на блоки мощностью менее 300 МВт приходилось более 70% общей мощности. Развитие и модернизация комбинированного производства тепла и электроэнергии также значительно продвинулись вперед. За период с 2006 по 2010 года были введены в эксплуатацию когенерационные установки мощностью 60 ГВт. К концу 2011 года общая мощность ТЭЦ в Китае составила 141,3 ГВт. Затем в 2012 г. она составила 220,7 ГВт.

В Китае обсуждаются прогнозы использования угля для производства электроэнергии до 2030 года с изложением различных сценариев. Прогнозируется, что потребление угля для выработки электроэнергии достигнет максимума в 1273 млн тонн в 2020 году и снизится до 1169 млн тонн в 2030 году из-за таких факторов, как изменение спроса на электроэнергию, развитие возобновляемой энергетики и повышение эффективности производства. Отмечается, что целевой показатель в 40% доли угля для выработки электроэнергии невыполним в обозримом будущем, и в качестве более многообещающей цели рассматривается 50%.

Новая энергетическая политика КНР направлена на переход к декарбонизации процесса выработки электрической энергии, при этом угольная энергетика рассматривается как дополнение к возобновляемым и чистым источникам энергии [5].

К 2030 году планируется серьезно решать вопрос снижения выбросов парниковых газов энергетических предприятий в окружающую среду. Ожидается, что гидроэнергетика к 2030 году достигнет прироста выработки электроэнергии на 80% по сравнению с 440 ГВт в 2020 году. Прирост мощности ветроэнергетических установок к 2030 году прогнозируется на уровне 400 ГВт, при этом будет обеспечена конкурентоспособность по сравнению с угольной энергетикой. Прогнозируется также развитие ядерной энергетики, газотурбинных и парогазовых установок и повышение экологичности угольной энергетики.

КНР в последние годы активно развивает свой топливно-энергетический комплекс и при этом сталкивается с рядом вызовов, таких как ограниченность собственных запасов ресурсов и необходимость снижения выбросов парниковых газов и углекислого газа, экологические проблемы. Для преодоления этих вызовов Китай принимает ряд мер, таких как развитие собственных месторождений, инвестирование в международные проекты и поддерживает переход на возобновляемые источники энергии. В целом, стратегия развития топливно-энергетического комплекса КНР нацелена на создание более эффективной и экологически чистой системы, которая будет способствовать дальнейшему развитию экономики и общества Китая.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Цзян Цзинь, Ли Хуйчжу. Стратегия развития ТЭК Китайской Народной Республики в условиях энергетической революции / Цзян Цзинь, Ли Хуйчжу // Энергетическая политика. - 2021. - № 2. - С. 45-54.
2. Ли Чжецзин, Яо Юньцзю. Основные направления развития ТЭК Китайской Народной Республики в 2021-2025 годах / Ли Чжецзин, Яо Юньцзю // Ресурсы и энергосбережение. - 2020. - № 2. - С. 24-30.
3. Чжан Линь, Лю Цинь. Развитие ТЭК Китайской Народной Республики в условиях глобальных вызовов / Чжан Линь, Лю Цинь // Энергетическая стратегия Китая. - 2019. - № 3. - С. 12-19.
4. Ху Чжун, Юнь Шуай. Инновационные технологии в развитии ТЭК Китайской Народной Республики / Ху Чжун, Юнь Шуай // Мировая энергетика. - 2018. - № 4. - С. 56-63.
5. Ли Хунь, Хан Шуай. Роль государства в стратегии развития ТЭК Китайской Народной Республики / Ли Хунь, Хан Шуай // Экономика и управление. - 2017. - № 2. - С. 45-52.

**УДК 621.35**

**Астафьев В.С.**

*Научный руководитель: Хамидуллина М.С., асс.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИНАХ В МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Растущий спрос на чистые и устойчивые источники энергии привел к изучению различных альтернативных технологий. Одним из таких перспективных решений является использование топливных

элементов в маломасштабных энергетических системах. Топливные элементы обладают многочисленными преимуществами, включая высокую энергоэффективность, низкий уровень выбросов и возможность децентрализованного производства электроэнергии.

В данной работе рассматриваются технологии топливных элементов и их применение в малых энергетических системах.

Топливный элемент (ТЭ) - это электрохимическое устройство, в основе которого лежит преобразование химической энергии топлива (часто водород) в электрическую энергию. ТЭ являются одними из наиболее перспективных и экологически чистых источников электроэнергии, так как в процессе работы не происходит выброса вредных веществ. [1]

Схема топливного элемента показана на рисунке 1, где 1,2 - полости с реагентами; 3 - электроды; 4 - электролит; А - окислитель; В - топливо; А,В - продукты реакции; R - сопротивление нагрузки; I - электрический ток; Q - тепло, выделяющееся (поглощающееся) в результате реакции.

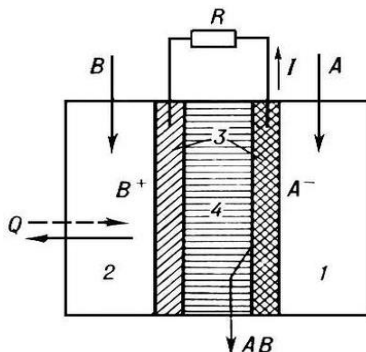


Рис. 1 Принципиальная схема топливного элемента [3]

Существуют различные типы ТЭ, одним из самых распространенных является полимерноэлектролитный топливный элемент (ПЭТЭ). ПЭТЭ работают на водороде, который проходит через анод, где происходит окисление до протонов и электронов. Протоны проходят сквозь полимерный электролит, а электроны поступают на электрод, где создаются электрические токи, затем проходят через нагрузку и возвращаются на катод.

Преимуществами ТЭ являются высокий КПД, экологичность, тихая работа, длительный срок службы и возможность работы на различных типах топлива. Недостатками являются высокая стоимость,



низкая мощность, сложность системы и высокие требования к топливу и окружающей среде.

ТЭ активно используются в космической и авиационной отраслях, а также для обеспечения энергией малых устройств, мобильных приложений и альтернативной энергетики. На сегодняшний день исследования в области ТЭ направлены на уменьшение стоимости и повышения мощности, а также на разработку новых материалов и технологий для улучшения ТЭ.

Топливные элементы (ТЭ) относятся к одному из самых экологически чистых источников электроэнергии, что делает их привлекательным вариантом для обеспечения второй категории электроснабжения. Вторая категория электроснабжения означает, что здания должны быть обеспечены электроэнергией в течение 24 часов, но для них не так критично наличие резервного источника питания, как для зданий первой категории. [4]

Применение топливных элементов для обеспечения электроснабжения может быть эффективным решением в нескольких случаях. Например, если здание находится в отдаленном районе или на территории без своей сети энергообеспечения, то ТЭ могут быть использованы для обеспечения надежного источника питания. Также ТЭ могут быть применены для сокращения зависимости от энергосистемы страны и обеспечения энергоэффективности зданий.

Применение ТЭ в энергетических машинах требует специализированного оборудования и подготовки персонала. Однако, при правильной установке и эксплуатации ТЭ могут быть очень надежны и эффективным решением для обеспечения надежности и энергоэффективности предприятия. [5]

Топливный элемент и газотурбинная установка могут использоваться в электроприёмниках второй категории, таких как промышленные предприятия, для генерации электроэнергии и удовлетворения энергетических потребностей.

Одна из возможных комбинаций применения ТЭ и ГТУ заключается в использовании ТЭ для генерации электроэнергии в режиме базовой нагрузки, а ГТУ - в качестве резервного источника энергии для пиковых нагрузок. Такая комбинация позволяет обеспечить стабильность поставок электроэнергии и снизить затраты на топливо и эксплуатацию.

Другой вариант комбинации заключается в использовании ТЭ и ГТУ в качестве параллельных источников энергии, работающих вместе для обеспечения энергетических потребностей при нагрузках различной интенсивности. Такая комбинация может обеспечить более

эффективное использование ресурсов и повысить гибкость системы энергоснабжения.

Использование твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) в малой энергетике является одним из перспективных направлений развития технологий в области производства электроэнергии. При этом, применение ТОТЭ не только позволяет снизить воздействие на окружающую среду, но и обеспечивает повышение качества энергоснабжения.

По конструкции ТОТЭ можно условно разделить на сегментные трубчатые, планарные, трубчатые, блочные и монолитные. [2]

Другим примером применения ТОТЭ может являться создание установки, которая обеспечивает потребности фермы в электроэнергии на Дальнем Востоке России. Применение ТОТЭ позволяет производить электроэнергию на удаленных территориях без подключения к централизованной энергосети. [6]

Эффективность выработки электроэнергии достаточно высока: электрический КПД установки с ТЭ составляет 47%, а при её дооснащении паровой турбиной возможно суммарного электрического КПД до 65 % [1]

Применение топливных элементов в малой энергетике стало всё более популярным, так как позволяет снижать расходы на электроэнергию и уменьшать ущерб окружающей среде. Это направление активно развивается, о чём свидетельствуют множество разработок по использованию топливных элементов в малом энергетическом секторе. [7,8]

Таким образом, применение ТОТЭ в малой энергетике представляет собой перспективное направление развития технологий, которые позволяют обеспечить потребности в электроэнергии удаленных территорий и повысить экологическую безопасность.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. - 278 с.
2. Лебедева М.В., Яштулов Н.А. Топливные элементы – характеристика, физико-химические параметры, применение -М.: Издательство МИРЭА, 2020. - 63 с.
3. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/111/368.htm>
4. Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. М.:Энергоатомиздат, 1991. - 264 с.

5. Затопляев Б. С. Место малой энергетики в энергетическом балансе России / Б. С.Затопляев, И. Я. Редько // Малая энергетика. 2004. - 34 с.

6. Храмов А. С. Эффективность использования твердооксидных топливных элементов в энергетике и сельском хозяйстве // Известия Уральского государственного технического университета - УрГТУ. 2012. - 150 с.

7. Патентная заявка «Система производства электроэнергии на основе топливных элементов». (номер заявки 2016105830)

8. Патентная заявка «Топливный элемент и способ его производства». (номер заявки 2010150783/07)

**УДК 620.9**

***Ахметвалиева Л.Р.***

***Научный руководитель: Низматзянова Л.Р., ст. преп.***

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

На сегодняшний день можно с уверенностью говорить о том, что человечество идёт по пути всё более интенсивной смены энергоисточников. Эта направленность с каждым годом набирает популярность в таких отраслях, как энергетика, медицина, пищевая, легкая и тяжелая промышленность. XX в.-это скачок потребления первичных энергоресурсов и электрической энергии. Появились источники на нефти, газе, воде, расщеплении атома. Исходя из сложившейся ситуации суммарное мировое потребление энергии увеличилось в 15 раз. Государства с разными природными ресурсами усиливают свое влияние, в то же время увеличивается и давление на эти государства. В настоящее время население потребляет нефть, уголь и газ со такой скоростью, что превышает их образования в земной коре.

Можно говорить о трех энергетических проблемах, затрагивающих все стороны жизни человека:

- истощения энергоресурсов и электроэнергии
- угроза благосостоянию окружающей среды вследствие техногенного воздействия объектов энергетики
- локальные, региональные, глобальные проблемы

Первая проблема, связанная с исчезновением важнейших на сегодняшний день и в будущем энергоресурсов (из которых производится более 80% электроэнергии), их неравномерное

распределение на планете. Исследования зарубежных и российских ученых показывают, что при нынешних темпах потребления и объеме изведенных запасов ресурсов человеческое общество будет иметь достаточно нефти для промышленных целей на 50-80 лет и природного газа на 60-80 лет.

Если бы не мировые экономические кризисы 2007–2009 и 2020 годов, а также текущий мировой энергетический кризис, то это позволило бы с высокой точностью предсказывать изменение потребления энергии в мире, если условия развития международных отношений останутся прежними. Сейчас они находятся в высокой степени неопределенности из-за обострившегося экономического кризиса, ставшего результатом пандемии COVID-19. Из-за глобальной пандемии в 2020 г. рост энергопотребления в мире сократился на 4 %. Энергопотребление сократилось в большинстве стран. Исключением является Китай — крупнейший потребитель энергии, который быстро оправился от кризиса, вызванного COVID-19 (Рис. 1).

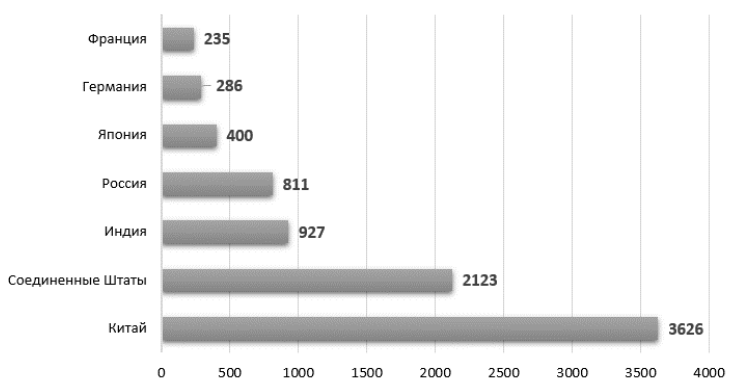


Рис. 1 Общее электропотребление стран в 2021 году (единицы: Мтое), на основе [1]

Вторая проблема – экологическая. На сегодняшний день более 50% техногенных выбросов в атмосферу парниковых газов приходятся на объекты энергетики. Энергетика интенсивно загрязняет также земную и водную оболочки. Потoki энергии в энергосистемах становятся равными или даже превосходящими в крупномасштабных природных системах и процессах. Всё это негативно влияет на климат («парниковый эффект», сопровождающийся повышением температуры атмосферы) и на погоду (климатические изменения). Техногенные аварии на объектах вследствие их огромных масштабов и мощностей

стали приобретать черты техногенных катастроф. (Ближайшие примеры –Техногенная авария в Норильске, авария на шахте «Листвяжная» в Кемеровской области).

Использование нетрадиционных (возобновляемых) источников энергии в России. Альтернативные источники энергии —это сооружение или устройство, позволяющее получать энергию без использования традиционных источников, работающих на угле, природном газе и нефти. ВИЭ (возобновляемые источники энергии) не только неисчерпаемы, но и безопасны и экологичны. По оценкам экспертов, мировой потенциал НВИЭ увеличивается с каждым годом (Рис. 2, 3).

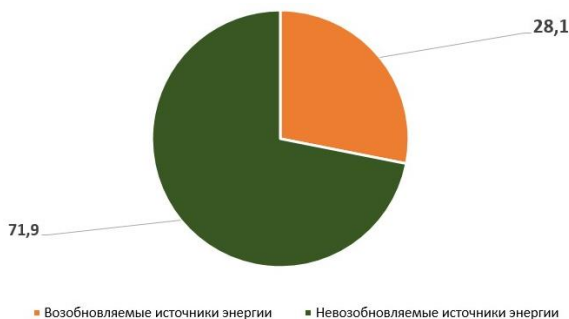


Рис. 2 Доля ВИЭ в общем производстве электроэнергии в мире в 2021 году, на основе [2]

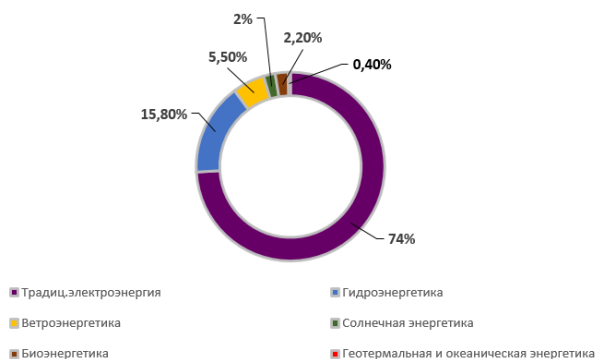


Рис. 3 Доля ВИЭ в общем производстве электроэнергии в мире в 2019 году

Использование НВИЭ имеет ряд недостатков, обусловленных их природой, которые сужают границы экономической эффективности их использования:

1) Главный пробел - это первоначальная стоимость оборудования. Высокая стоимость характеризуется дороговизной материала, из которого состоит устройства.

2) Низкая удельная мощность потока энергоносителя, которая во многом зависит от больших габаритов и количества энергоустановок и, соответственно, большие капитальные затраты на их сооружение.

3) Низкий коэффициент полезного действия (КПД).

В решении энергетических проблем человечество возлагает большие надежды на развитие альтернативной энергетики, основанной на известных эффектах, но не освоенных в промышленных масштабах. Россия накопила значительный опыт теоретических исследований в области ВИЭ, но значительно отстает от мирового уровня в области экспериментальных и практического применения новых технологических решений. Термоядерный синтез, прямые преобразования энергии водорода и кислорода в электрическую энергию с помощью электрохимических генераторов.

Водородная энергетика — область энергетики, основанная на преобразовании и использовании водорода в качестве средства для зарядки, потребления энергии и производства. В теории водородной энергетики входят три составляющие: 18% приходится на переработку угля, 4,3% обеспечивается за счёт «зелёного» водорода, получаемого посредством возобновляемых источников энергии (ВИЭ), главным образом при электролизе воды. Наконец, подавляющий объём, а это 78% — составляет переработка природного газа и нефти[3]. Все известные в настоящее время способы получения водорода далеки от идеала. Во-первых, они энергоёмки, а во-вторых, при производстве водорода часто выделяется значительное количество диоксида углерода и другие токсичные вещества. Поэтому на сегодняшний день ученые не знают технологии, согласованные всем требованиям этой задачи.

Термоядерная энергетика - это возможная форма производства электроэнергии, которая будет генерировать электроэнергию, используя тепло от реакций ядерного синтеза. В процессе синтеза два более легких атомных ядра [4]. Освоение термоядерного синтеза требует больших затрат на исследования и физические испытания, разработку новых технологий и конструкционных материалов. Победа в этой технологии дает возможности для всего человечества в безопасной и экологичной энергетике. Кроме того, изучение и технология физики плазмы дали огромные результаты и нашли применение в промышленности, медицине и космической технике. В виду особенностей конструкций и ядерных реакций, авария на ТЯЭС не сравнимы с Чернобыльской аварией и на Фукусиме. Даже при отказе

охлаждения, этого не хватит для разрушения реактора, а при отказе электромагнитного поля, плазма, несмотря на температуру, не сможет прожечь стенки реактора из-за своей низкой плотности.

Мировую энергетику невозможно преобразовать за одну ночь, но я оптимистично вижу будущее экологически чистой энергии. Сам по себе размер энергетической системы означает, что сегодня как никогда любая новая технология должна быть развернута быстро и в огромных масштабах, чтобы хоть как-то повлиять на долю существующих. Ведь постоянный спрос на энергию, обусловлен быстрым ростом населения и экономики. По моему мнению, человечество нуждается в балансе между традиционной и возобновляемой энергетикой. Будущее энергетической отрасли зависит от развития технологий и новых инженерных решений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мировая статистика по потреблению энергии – ежегодник. URL: <https://energystats.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html> (дата обращения: 23.04.2023).

2. Инвестиции в возобновляемые источники энергии. URL: <https://energystats.enerdata.net/renewables/renewable-in-electricity-production-share.html> (дата обращения: 23.04.2023).

3. Водородная энергетика - материал из Википедии. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная_энергетика) (дата обращения: 23.04.2023).

4. Переверзева В.С. Перспективы и проблемы развития водородной энергетике. Перспективное развитие науки, техники и технологий. 2013. Том 3. С. 63-67.

5. Саидов К.У., Садыкова М.А. Проблемы развития энергетике в современных условиях. Наука и инновационные технологии. 2020. №3(16). С. 111-117.

6. Фортон В.Е. Энергетика в современном мире /В.Е. Фортон, О.С. Попель. // Долгопрудный: Интеллект, -2011. С.167.

## **ПРОДЛЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Трубопроводы тепловых сетей являются важнейшим элементом систем централизованного теплоснабжения в России. Отечественная энергетика имеет самую разветвленную трубопроводную систему в мире, с помощью которой обеспечиваются коммунально-бытовые и промышленные потребители тепла. Большая часть тепловой нагрузки для отопительных целей передается в жилые, коммерческие и общественные здания. Однако трубопроводы тепловых сетей подвержены внутренней и внешней коррозии, утечкам теплоносителя, а также другим формам разрушения, которые могут сократить срок их службы и увеличить затраты на техническое обслуживание. Для продления срока службы трубопроводов тепловых сетей применяются различные технические решения, разработаны и внедрены различные методы и технологии.

Одним из частых способов продления срока службы и ремонта трубопроводов является санация. Санация позволяет осуществлять очистку и замену изношенных участков трубопровода без рытья траншеи, а также может предусматривать нанесение на стенки трубопроводов специальных защитных покрытий. Метод заключается в прокладывании нового изделия внутри уже существующей трубы, исключая демонтаж старого трубопровода. На внутреннюю оболочку трубопровода наносят специальный цементно-песчаный или полимерный состав, который потом самостоятельно расширится до нужных размеров и из-за специального термического воздействия образует на поверхности старого трубопровода новую стеклопластиковую систему. Санация уменьшает материальные расходы и позволяет избежать серьезных разрушений труб.

Одной из основных причин износа трубопроводов тепловых сетей в России является их возраст. Многие из этих трубопроводов были построены в 1960-х и 1970-х годах и эксплуатируются более 50 лет. Со временем материалы, используемые для строительства этих трубопроводов, такие как сталь и чугун, деградировали из-за воздействия воды и других факторов окружающей среды. Эта деградация привела к трещинам, утечкам и другим видам повреждений,



которые угрожают способности трубопроводов функционировать должным образом.

На сегодняшний день длина тепловых сетей РФ составляет около 180 тыс. км (в двухтрубном исчислении). В системах теплоснабжения используются трубопроводы диаметрами от 57 до 1400 мм [1-2].

В настоящий момент состояние трубопроводов в России зависит от региона, в некоторых городах ситуация улучшается, а в других нет. Тепловые сети сами по себе – один из самых уязвимых участков теплоснабжения. Чтобы сделать вывод о состоянии трубопроводов, нужно узнать их уровень изношенности. Анализ публикаций [3-4] показал, что износ по Казани составил более 60 %, в менее населённых городах РФ процентный показатель выше. Сибирские тепловые сети находятся в крайней тяжелой ситуации, по данным СГК, в Новосибирске в изношенном состоянии находятся около 70 % городских трубопроводов. Износ трубопроводов в Уфе составляет 65 %. В Санкт-Петербурге износ составил 52 %. Из этих данных следует вывод, что средний процент изношенности трубопроводов тепловых сетей по РФ составляет около 60 %, в некоторых регионах ситуация довольно опасная, в более крупных городах она лучше. Из-за этого многократно возросли потери в тепловых сетях: они составляют примерно 20 % вместо нормируемых 5 %. В связи с чем - рост повреждаемости теплосетей - более двух повреждений на 1 км. По данным анализа ОРГРЭС, львиная доля повреждений (до 70 %) трубопроводов в России связана с коррозией. Разрушение трубопровода может начаться уже после 10 лет функционирования (до 10 %), иногда раньше, несмотря на то, что нормируемый срок эксплуатации составляет 30 лет. Обнаружены случаи сквозных повреждений трубопроводов уже после пары лет эксплуатации. Мосэнерго опубликовало материалы, где представлены результаты вскрытия трубопроводов, около 70% повреждённых участков подвержены коррозии.

В паспорте трубопровода указывается срок его службы, определённый компанией-изготовителем. Если срок службы труб не указан в паспорте, его можно оценить, исходя из следующих указаний:

- Для трубопроводов, относящихся к категории II, группе 1-150 тыс. часов, расчетный срок службы составляет 20 лет.

- Станционные трубопроводы сетевой и подпиточной воды, относящиеся к III или IV категории, имеют расчетный срок службы 25 лет.

- Для остальных трубопроводов, попадающих под категорию II, группы 2, категории III или IV, расчетный срок службы составляет 30 лет.

Индивидуально для определенного трубопровода срок службы определяется экспертной организацией [5-6].

Еще одним фактором, способствующим износу трубопроводов тепловых сетей в России, являются суровые погодные условия, в которых находится страна. Экстремальные температуры, снег и лед, характерные для России в зимние месяцы, могут привести к значительному повреждению трубопроводов. Например, расширение и сжатие трубопроводов из-за изменений температуры может привести к трещинам и другим видам повреждений. Кроме того, сильное скопление снега и льда может оказать давление на трубопроводы, что приведет к их деформации и другим проблемам.

Слишком высокая или слишком низкая рабочая температура может значительно сократить срок службы трубопроводов. Высокое давление также может привести к повреждению трубопроводов, что приведет к утечкам и другим проблемам. Качество воды также имеет важное значение, так как агрессивная вода может быстро повредить трубопроводы, изготовленные из различных материалов.

Для эффективного способа повышения надежности и долговечности тепловых сетей могут быть рекомендованы следующие мероприятия:

1. Разработка и внедрение методов диагностики для точного выявления ослабленных участков теплопроводов.

2. Использование высокоэффективных антикоррозионных и теплоизоляционных покрытий при внедрении новых конструкций.

3. Замена сальниковых компенсаторов на сильфонные компенсаторы или самокомпенсирующиеся трубы.

4. Гидроизоляция каналов и камер для предотвращения попадания грунтовых вод и поддержания водно-химического баланса, предотвращающего внутреннюю коррозию тепловых труб.

Интенсивность коррозионных процессов зависит от температуры.

Следует отметить, что коррозионные процессы наиболее активны при температуре теплоносителя 75-95 °С, в котором тепловые сети работают почти 90 % времени.

Есть несколько шагов, которые можно предпринять для решения проблемы изношенных трубопроводов тепловых сетей в России. Один из подходов заключается в замене старых трубопроводов новыми, более прочными материалами. Например, трубы из стеклопластика и композитного пластика (FRP) распространены в строительстве

тепловых сетей благодаря их устойчивости к коррозии и другим видам повреждений. Данный материал также менее подвержен воздействию экстремальных погодных условий, что делает его более надежным вариантом для использования в тепловых сетях в России. Волоконно-усиленный полимер (FRP) – это материал на основе полимера, армированный синтетическим волокном. Чаще всего в качестве композитного элемента здесь служит стекловолокно, углерод или базальт. За основу берется эпоксид, полиамид или виниловый эфир.

Еще одним подходом к решению проблемы изношенных трубопроводов тепловых сетей в России является реализация программ регулярного технического обслуживания и осмотра. Регулярные проверки могут помочь выявить потенциальные проблемы до того, как они станут критическими, что позволит произвести ремонт и замену до того, как произойдет отказ трубопровода. Кроме того, программы технического обслуживания могут помочь продлить срок службы существующих трубопроводов за счет устранения таких проблем, как коррозия, утечки и другие виды повреждений. Современные трубопроводы оснащаются системой оперативного дистанционного контроля (СОДК), позволяющей удаленно и непрерывно контролировать целостность теплоизоляционной трубы, выделяя недостатки трубопровода, его проводов, полиэтиленовой обертки трубы и слоя [7].

С учётом изложенного, срок службы трубопроводов тепловых сетей является решающим фактором эффективности и надежности систем отопления как в жилых, так и в коммерческих зданиях. Материал, из которого изготовлены трубопроводы, процесс монтажа и условия эксплуатации – все это играет важную роль в определении срока их службы. Надлежащий выбор материалов, правильные методы монтажа и тщательный учет условий эксплуатации могут помочь обеспечить надежную и эффективную работу этих трубопроводов как можно дольше. Понимая эти факторы, проектировщики и монтажники систем отопления могут создавать надежные, эффективные и долговечные отопительные сети.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. / Соколов Е.Я. - Москва: Издательский дом МЭИ, 2017. - 472 с.
2. Рапорт, Я. Тепловые сети: ждать нельзя модернизировать / Я. Рапорт, А. Шмелев, М. Барановский // Полимерные трубы. 2011. № 2. С. 16-17.

3. Семикашев, В.В. Теплоснабжение в России: текущая ситуация и проблемы инвестиционного развития / В.В. Семикашев // ЭКО. – 2019. – № 9(543). – С. 23-47.

4. Цуверкалова, О.Ф. Анализ современного состояния и тенденций развития отрасли теплоснабжения в РФ / О.Ф. Цуверкалова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2020. – № 11-3. – С. 554-559.

5. Приказ Минэнерго РФ от 30.06.2003 № 275 «Об утверждении Инструкции по продлению срока службы трубопроводов II, III, IV категорий» (СО 153-34.17.464-2003) // Москва., ЦПТИ ОРГРЭС. – 2004.

6. Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей. РД 10-400-01 // Москва.: ДЕАН, 2002. – 80 с.

7. Гритчин, Р.Д. Способы реализации систем передачи данных при оперативном-дистанционном контроле трубопроводов в пенополиуретановой изоляции / Р.Д. Гритчин, Д.И. Иванков // Молодой ученый. – 2016. – № 14 (118). – С. 134-137.

#### **УДК 621.31**

***Бабкин Д.В., Атрошенко А.О., Бабкина А.В.***

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), г. Челябинск, Россия*

### **ОБЗОР СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ, РАБОТАЮЩИХ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Системы накопления энергии являются важным элементом в строительстве экологически чистых и энергоэффективных устройств. Однако, при работе этих устройств в суровых климатических условиях, таких как морозы, сильный ветер, дождь и снег, необходима система контроля и управления, обеспечивающая поддержание оптимальной температуры накопителей энергии.

Например, такие системы контроля и управления востребованы в одном из самых значимых проектов для нашей страны – «Развитие Северного морского пути» [1],

Этот национальный проект расширяет потенциал перевозки грузов по Северному морскому пути, но этот маршрут проходит через зоны, где температуры являются крайне низкими.

По этой причине, потребность в разработке системы терморегулирования для накопителей энергии, которые работают в

суровых климатических условиях будет расти, чтобы избежать критических ситуаций в работе устройств, вызванных неподходящим температурным режимом их аккумуляторных батарей. Кроме того, такие системы помогают снизить затраты на энергопотребление и обеспечивают стабильность электроснабжения в удаленных районах, что дает возможность использовать возобновляемые источники энергии более эффективно.

Рассмотрим существующие устройства терморегулирования.

Одним из примеров таких систем является блок управления температурным режимом батареи BTMU-1 (Рис. 1)[2]. Это блок управления температурным режимом батареи, который используется в электрических транспортных средствах с весом от 4,5 до 10 тонн. Он состоит из теплообменника мощностью 6 кВт (максимально 11,6 кВт), компрессора мощностью 2,5 кВт, и блока управления. Устройство питается от источника напряжением 540 В, и использует хладагент R134a. Оно способно обеспечивать поток охлаждающей жидкости мощностью 50 л/мин и максимальный расход воды 2200 м<sup>3</sup>/ч.



Рис. 1 Блок управления температурным режимом батареи BTMU-1

К недостаткам этого устройства можно отнести:

- ограниченный диапазон применимости для электрических транспортных средств весом от 4,5 до 10 тонн, что может ограничить его использование в других отраслях;
- необходимость источника питания с напряжением 540 В, что также может ограничить его использование;
- возможность нехватки мощности устройства для более крупных транспортных средств или при экстремальных условиях эксплуатации;
- хладагент R134a является фреоном, который засоряет окружающую среду и способен вызывать негативное воздействие на

здоровье людей и животных в случае утечки.

Другим примером такого устройства является термоконтейнер для АКБ. Батарейные термообмотки HOTSTART (Рис. 2)[3] продлевают жизнь аккумулятора и улучшают его пусковую мощность в самых холодных условиях. Благодаря встроенному термостату, термообмотка поддерживает температуру батареи на уровне 80°F (27°C) для максимальной пусковой мощности в холодную погоду. Термообмотка изготовлена из прочного винила, устойчивого к маслам и кислотам. Для удобства ее можно легко настраивать или снимать с помощью крепежного ремня и пряжки. Также термообмотка выпускается в нескольких размерах, обеспечивая идеальную посадку на аккумулятор и исключая облевание или оставление незащищенных участков. Без термообмотки батареи могут потерять до 60% своей пусковой мощности в холодный период.



Рис. 2 Термоконтейнер для АКБ

Из возможных недостатков устройства можно отметить следующее:

- зависимость от электричества, так как термообмотка работает от сети;
- ограниченный диапазон температур работы, который может быть недостаточным для экстремально холодных условий.



Рис. 3 Нагреватель аккумулятора электрического транспортного средства PTC-8kw

Следующим примером является нагреватель аккумулятора электрического транспортного средства РТС-8kw (Рис. 3)[4]. Водонагреватель РТС служит для обогрева кабины электрического транспортного средства и терморегулирования аккумуляторной батареи. Он использует электричество для подогрева антифриза и имеет защиту от сухого горения, помех и взрыва. Основные параметры включают мощность 8 000 Вт, испытательное напряжение 24 В постоянного тока и давление воздуха 70кПа-106ка без охлаждающей жидкости. Объем антифриза составляет 170 мл, а вес без охлаждающей жидкости - 2,7 кг. Несмотря на неплохие характеристики этого устройства, можно выделить несколько недостатков:

- высокая потребляемая мощность может привести к быстрому разряду аккумулятора;
- наличие водонагревателя требует установки дополнительных компонентов для циркуляции охлаждающей жидкости, что может оказаться дорогим и сложным в установке;
- возможно, что работа водонагревателя повысит использование ресурсов энергии.

На основе проведённого исследования систем контроля и управления для накопителей энергии, работающих в суровых климатических условиях, можно сделать вывод, что такие системы являются критически важными для обеспечения эффективной работы устройств. Несмотря на то, что на рынке уже есть устройства, которые выполняют функции терморегулирования, они имеют свои ограничения в плане диапазона применимости и могут использоваться только в ограниченном числе отраслей. В будущем, необходимо разработать более универсальную систему, которая сможет быть применена в различных областях, а также потреблять меньше энергии и быть экологически безопасной.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 01.08.2022 № 2115-р [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/> (дата обращения: 10.01.2023).
2. Блок управления температурным режимом батареи BTMU-1 [Электронный ресурс]. URL: <https://sabianltd.com/> (дата обращения: 12.02.2023).
3. Термоконтэйнер для АКБ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hotstart.su/> (дата обращения: 05.02.2023).
4. Нагреватель аккумулятора электрического транспортного

средства РТС-8kw [Электронный ресурс]. URL:  
<https://www.autopreheaters.com/> (дата обращения: 19.02.2023).

**УДК 621.31**

*Бабкин Д.В., Атрошенко А.О., Болков Я.С.*

*Научный руководитель: Коробатов Д.В., канд. техн. наук, доц.  
Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет), г. Челябинск, Россия*

## **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ)**

Цифровые технологии мониторинга линий передачи электроэнергии становятся все более важными для обеспечения надежного электроснабжения, оптимизации сетей и предотвращения сбоев в устройствах. В данной статье представлен сравнительный анализ различных устройств, и технологий в области цифровых систем мониторинга линий передачи электроэнергии.

Одним из обсуждаемых устройств является PowerLink CM [3] от Siemens Smart Infrastructure (Рис. 1). Это устройство разработано для точного обнаружения сбоев в передаче сигнала в сети и непрерывного мониторинга линии для обеспечения надежного электроснабжения. Однако, одним из недостатков устройства PowerLink CM является его ограничение по длине линии. Оно может отслеживать длину линии до 500 км, что может быть не всегда достаточно. Кроме того, точность отслеживания может быть ограничена в зависимости от типа линии. Не заявлена поддержка кабельных линий. Также для мониторинга не запитанных или заземленных линий могут потребоваться дополнительные датчики.



Рис. 1 Устройство SIEMENS POWERLINK CM



В то же время существует система, которая использует концепцию "цифрового двойника" для управления системами передачи энергии без необходимости использования дополнительного оборудования или датчиков. Enline - это программное решение, которое управляет всеми активами, связанными с системами передачи энергии [4]. Эта инновационная технология обеспечивает полное понимание электрического, механического и термического поведения каждого участка передающей линии без необходимости датчиков или аппаратных средств. Однако, оно не способно отслеживать состояние сети в реальном времени и нет зависимости модели от погодных условий и прочих непредвиденных обстоятельств.

Еще один подход, упомянутый в статье [1], - это использование беспроводных сетей датчиков для мониторинга состояния линий передачи электроэнергии. Авторы представили систему, которая использует технологии ZigBee и GPRS (General Packet Radio Service) для обеспечения нормальной передачи сигнала даже в удаленных районах, где нет телекоммуникационных услуг. Стоимость системы достаточно низкая. Она может собирать и передавать данные с высокой пропускной способностью и низким энергопотреблением.

Также, в статье [2] представлен обзор современных технологий энергосбережения, которые имеют огромный потенциал для развития. Энергосберегающие технологии преобразуют энергию из окружающей среды или других источников в электрическую энергию для питания беспроводных датчиков. Кроме того, рассматриваются датчики для передачи и распределения электроэнергии [5]. Они должны быть компактными и энергоэффективными и иметь возможность измерять различные параметры сети, такие как магнитные поля, температура, влажность, звук и т. д.

Там же обсуждается алгоритм искусственной нейронной сети, который может использоваться для прогнозирования температурного режима проводника тока [6]. Это важно для прогнозирования срока службы изоляционных материалов.

В целом, цифровые технологии мониторинга линий передачи электроэнергии играют важную роль в обеспечении надежного электроснабжения и предотвращении сбоев в устройствах. Устройства и технологии, существующие сейчас, имеют свои преимущества и недостатки и должны подбираться для каждого конкретного случая отдельно. Есть потребность в создании единой универсальной системы, которая смогла бы объединить преимущества всех представленных технологий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Yang Yang, Guangzhong Xie, Xiangdong Xu, and Yadong Jiang. A Monitoring System Design in Transmission Lines based on Wireless Sensor Networks // Energy Procedia - 2011. Volume 12, Pages 192-199
2. Riba J. R., Moreno-Eguilaz M., Bogarra S. Energy Harvesting Methods for Transmission Lines: A Comprehensive Review // Applied Sciences. – 2022. – Т. 12. – №. 21. – С. 10699. – Текст: электронный.
3. Enline Transmission, URL: <https://www.enline-transmission.com> (дата обращения: 05.02.2023).
4. Powerline Condition Monitoring – PowerLink CM - Siemens, URL: <https://www.siemens.com> (дата обращения: 06.02.2023).
5. Akhyurna Swain, Elmouatamid Abdellatif, Ahmed Mousa, Philip W. T. Pong, Sensor Technologies for Transmission and Distribution Systems: A Review of the Latest Developments // Energies. – 2022. – Т. 15. – №. 19. – С. 7339. – Текст: электронный.
6. Полуянович Николай Константинович, Дубяго Марина Николаевна Алгоритм обучения искусственной нейронной сети факторного прогнозирования ресурса изоляционных материалов силовых кабельных линий // Известия ЮФУ. Технические науки. 2021. №2 (219). URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 11.02.2023).

*УДК 621. 65:621*

*Биккинеев И.Р.*

*Научный руководитель: Хамидуллина М.С., асс.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## ТЯГОДУТЬЕВЫЕ НАГНЕТАТЕЛИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

В данной работе рассматривается роль нагнетателей в теплоэнергетике, их конструкция и принцип работы, а также их преимущества и недостатки.

Нагнетатель с принудительной тягой используется для повышения эффективности процесса горения в котлах, что, в свою очередь, приводит к более высокой выработке мощности силовой установкой.

Нагнетатель с принудительной тягой - это устройство, которое используется для увеличения давления и потока воздуха в камеру сгорания котла. Это делается с помощью вентилятора или нагнетателя, который приводится в действие электродвигателем или паровой турбиной. Воздух нагнетается в камеру сгорания, где смешивается с

топливом и воспламеняется. В результате сгорания выделяется тепло, которое используется для производства пара, который приводит в действие турбины, которые производят электричество. [1]

В теплоэнергетике применяются два основных типа надувных нагнетателей: центробежные и осевые. Центробежные нагнетатели используют вращающуюся крыльчатку для создания высокоскоростного потока воздуха, который затем направляется в камеру сгорания. Осевые нагнетатели используют серию вращающихся лопастей для создания высокоскоростного потока воздуха, который затем направляется в камеру сгорания. Оба типа нагнетателей имеют свои преимущества и недостатки, и выбор того, какой из них использовать, зависит от конкретных требований силовой установки. [2]

Преимущества нагнетателей многочисленны. Они обеспечивают эффективное сгорание и максимальную выработку энергии, снабжая топливо необходимым воздухом и кислородом. Они также относительно просты в установке и обслуживании, что делает их привлекательным вариантом для тепловых электростанций. Кроме того, они энергоэффективны и имеют низкий уровень шума, что очень важно для снижения шумового загрязнения окружающей среды. [3]

Однако у нагнетателей есть и свои недостатки. Для их работы требуется постоянный источник питания, что может увеличить эксплуатационные расходы. Они также требуют регулярного технического обслуживания для обеспечения правильной работы, которое может быть дорогостоящим и трудоемким. Кроме того, на них могут влиять изменения температуры окружающей среды и атмосферного давления, что может сказаться на их работе.

В последние годы в технологии воздуходувки было сделано несколько достижений. Одним из значительных достижений в технологии вытяжных вентиляторов является использование частотно-регулируемых приводов (ЧРП). ЧРП регулируют скорость двигателя вентилятора, что позволяет более точно контролировать воздушный поток. Это приводит к повышению эффективности сгорания и снижению энергопотребления. ЧРП также обеспечивают плавный пуск и останов, что может продлить срок службы двигателя вентилятора.

Еще одним достижением в технологии вытяжных вентиляторов является использование бесщеточных двигателей постоянного тока. Эти двигатели более эффективны и надежны, чем традиционные двигатели переменного тока. Они также имеют более длительный срок службы и требуют меньше обслуживания. Бесщеточные двигатели постоянного тока также тише, чем двигатели переменного тока, что важно в условиях, когда шум является проблемой. [4]

В дополнение к этим технологическим достижениям также были усовершенствованы конструкции воздуходувок. Например, некоторые воздуходувки стали более компактными, что облегчает их установку в ограниченном пространстве. Кроме того, некоторые воздуходувки теперь имеют более модульную конструкцию, что упрощает техническое обслуживание и ремонт.

Многие тепловые электростанции по всему миру полагаются на для поддержания постоянной выработки энергии. Фактически, прогнозируется, что мировой рынок воздуходувок будет расти в среднем на 5,2 % в год с 2020 по 2025 год. [5]

Таким образом, нагнетатели с принудительной тягой являются важными компонентами теплоэнергетики. Они обеспечивают эффективное сгорание и максимальную выработку энергии, снабжая топливо необходимым воздухом и кислородом. Их конструкция и работа варьируются в зависимости от применения, при этом наиболее распространены центробежный и осевой поток. Несмотря на многочисленные преимущества, у них есть и недостатки, которые необходимо учитывать перед установкой. Использование нагнетателей продолжает оставаться важным аспектом теплоэнергетики, и ожидается, что их значение будет расти по мере того, как мир движется к более устойчивым источникам энергии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1.Ти Джей Котас. Эксергетический метод анализа тепловой установки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.ee57614d-6462664d-d7ef5761-74722d776562/https/www.overdrive.com/media/2005809/the-exergy-method-of-thermal-plant-analysis](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.ee57614d-6462664d-d7ef5761-74722d776562/https/www.overdrive.com/media/2005809/the-exergy-method-of-thermal-plant-analysis)

2. Бхатия В.Б. Котельное и вспомогательное энергетическое оборудование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bstudy.net/844632/tehnika/nagnetateli>

3. Качан А.Д. Режимы работы и эксплуатация тепловых электрических станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.studmed.ru/kachan-ad-rezhimy-raboty-i-ekspluatsiya-teplovyh-elektricheskikh-stanciy\\_b8384bb55a0.html](https://www.studmed.ru/kachan-ad-rezhimy-raboty-i-ekspluatsiya-teplovyh-elektricheskikh-stanciy_b8384bb55a0.html)

4. НПО «Пневмаш», ООО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pnevmomash.ru/catalog/vysokaya-proizvoditelnost/vozduhoduvska-ma>

5. Макарян И. А. Седов И. В.Состояние и перспективы развития водородной энергетике [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

**УДК 621.31**

**Бобро Д.П.**

*Научный руководитель: Прасол Д.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова г. Белгород, Россия*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКАМИ**

На рудодобывающих предприятиях при добыче руды для спуска в шахты и подъема на поверхность техники, рабочих бригад, руды и пустой породы применяются установки для подъема-опускания грузов, которые подразделяются на клетевые ПУ и скиповые ПУ. Их электроприводы выполнены на базе тиристорных преобразователей, которые являются нелинейными элементами и источниками высших гармонических (ВГ) составляющих тока и напряжения [1].

Для того, чтобы компенсировать ВГ, необходимо провести глубокое исследование электрической сети для достижения максимального результата. Не всегда удается произвести натурные исследования и аналитические расчеты в реальных производственных условиях, поэтому в настоящее время существует альтернативный способ – применение имитационного моделирования. Разработанные имитационные модели позволяют провести анализ и настроить системы управлениями, при этом с высокой точностью и информативностью отслеживать необходимые параметры как в статических, так и при динамических режимах [2–4].

Имитационное моделирование узла нелинейной нагрузки рудодобывающего предприятия выполнено в системе визуального моделирования Simulink программного комплекса MatLab. Было построено две модели шестипульсных тиристорных преобразователей (рис. 1–2). Задан источник трехфазного напряжения блоком Three-Phase Source, напряжение которого составляет 930 В. Нагрузка представлена блоком Series R Branch в виде активного сопротивления величиной 800 Ом. Главное отличие данных моделей заключается в реализации тиристорного преобразователя. В первой схеме используются 6 блоков Thyristor, подключенных по схеме трёхфазного моста (схема Ларионова) и подключенных соответственно к блоку Pulse Generator

(Thyristor, 6–Pulse). Во второй схеме используется блок Universal Bridge, который так же подключен к шестипульсному генератору. Были сняты осциллограммы напряжений и токов в питающей сети (рис. 3–4).

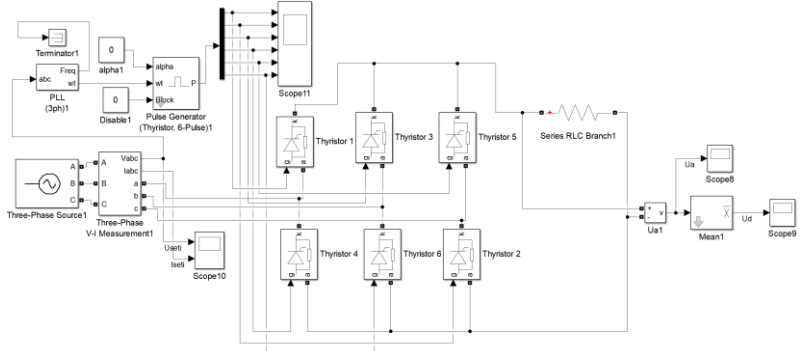


Рис. 1 Имитационная модель с тиристорным преобразователем по схеме трёхфазного моста

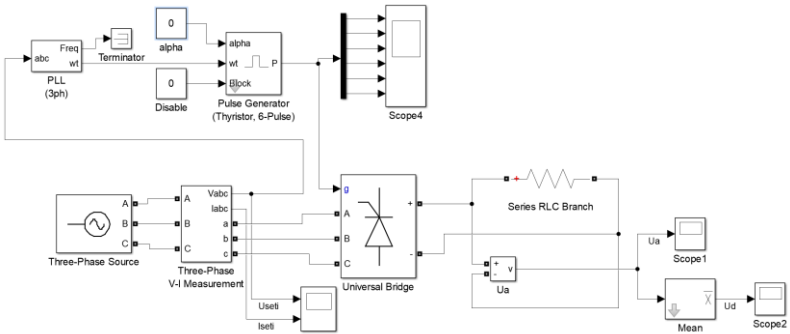


Рис. 2 Имитационная модель с блоком тиристорного преобразователя

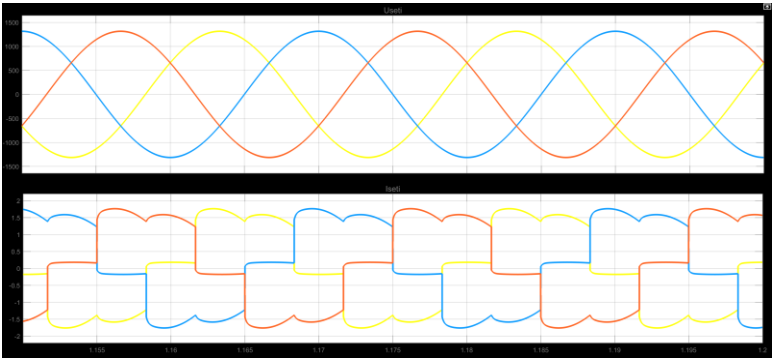


Рис. 3 Осциллограмма питающей сети первой модели

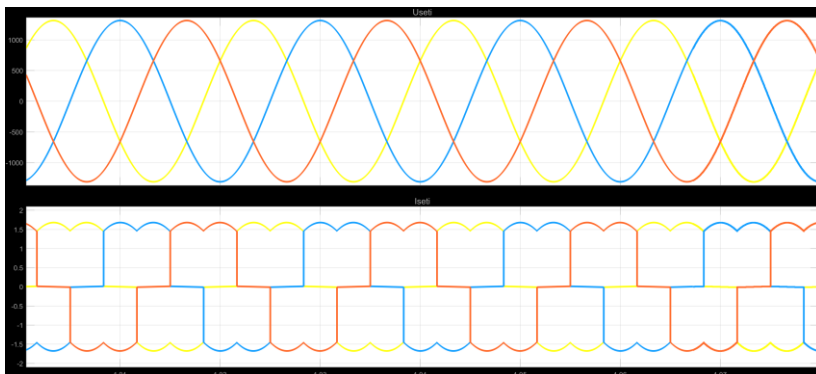


Рис. 4 Осциллограмма питающей сети второй модели

Результаты моделирования получились схожими. Имеется небольшое отличие только в осциллограмме тока. При использовании отдельных блоков тиристоров, получившийся «срез» стал более заметным. По результатам моделирования можно сделать следующий вывод. Если необходимо построить более компактную имитационную модель с использованием ограниченного количества отдельных нелинейных элементов, то можно использовать готовый блок тиристорного преобразователя. В этом случае итоговый результат получается более идеализированным, но достаточными для анализа нелинейного характера нагрузки. В случае, если схема строится поэлементно, то есть используется значительное количество отдельных как линейных, так и нелинейных элементов, то можно добиться более «реальных» результатов моделирования и иметь «доступ» к каждому конкретному элементу схемы. Такой вариант построения имитационной модели также позволяет увеличить гибкость схемы, поскольку можно настраивать каждый элемент отдельно.

Применение того или иного варианта схемы построения имитационной модели узла нелинейной нагрузки рудодобывающего предприятия будет зависеть от структуры полной схемы имитационной модели объекта, а также от контролируемых параметров и точности их значений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ткачук А.А. Электромагнитная совместимость тиристорных преобразователей напряжения в системах плавного пуска высоковольтных электроприводов / А.А. Ткачук // Труды Международной шестнадцатой научно-технической конференции

«Электроприводы переменного тока», [г. Екатеринбург]. – 2015. – С. 63-66.

2. Бобро, Д.П. Повышение энергоэффективности систем электроснабжения рудодобывающих предприятий с мощными нелинейными электроприемниками / Д.П. Бобро // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: Сборник материалов VII международной научно-практической конференции, Кемерово, 07–09 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 206-1–206-6.

3. Прасол Д.А. Электромагнитная совместимость в высоковольтных рудничных сетях с мощными тиристорными электроприводами постоянного тока: дис. канд. техн. наук: 05.14.02. – БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород, 2018 – 199 с.

4. Авербух, М.А. Анализ электромагнитной совместимости сети высокого напряжения горнорудного предприятия / М.А. Авербух, Д.А. Прасол // Энергетик. – 2018. – № 2. – С. 36–41.

#### **УДК 621.31**

***Варламов П.П., Трегуб О.С., Сергеев Е.П.***

***Научный руководитель: Саввин Н.Ю., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

### **ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Мировой спрос на электроэнергию оставался устойчивым в 2022 году на фоне глобального энергетического кризиса, вызванного пандемией и санкциями. Спрос вырос почти на 2% по сравнению со средним темпом роста 2,4%, наблюдавшимся в период 2015-2019 годов. Электрификация транспортного сектора и сектора отопления продолжала ускоряться во всем мире, и рекордное количество электромобилей и тепловых насосов, проданных в 2022 году, способствовало росту [1]. Тем не менее, экономики по всему миру в разгар восстановления после последствий Covid-19 пострадали от рекордно высоких цен на энергоносители. Стремительный рост цен на энергоносители, включая природный газ и уголь, резко увеличил затраты на производство электроэнергии и способствовал быстрому росту инфляции. Экономический спад и высокие цены на электроэнергию сдерживали рост спроса на электроэнергию в большинстве регионов мира.



Потребление электроэнергии в Европейском Союзе в 2022 году резко сократилось на 3,5% в годовом исчислении (по сравнению с аналогичным периодом прошлого года), поскольку регион особенно сильно пострадал от высоких цен на энергоносители, что привело к значительному снижению спроса среди промышленных потребителей. Исключительно мягкая зима оказала дополнительное понижающее давление на потребление электроэнергии. Это было второе по величине процентное снижение спроса на электроэнергию в ЕС со времен мирового финансового кризиса в 2009 году, причем самым крупным было исключительное сокращение из-за шока от Covid-19 в 2020 году.

Спрос на электроэнергию в Индии и Соединенных Штатах вырос, в то время как ограничения, связанные с Covid, повлияли на рост Китая. Политика Китая по борьбе с Covid сильно повлияла на его экономическую активность в 2022 году, и сохраняется некоторая неопределенность в отношении темпов роста спроса на электроэнергию. В настоящее время мы оцениваем его на уровне 2,6% в 2022 году, что значительно ниже среднего значения до пандемии, составлявшего более 5% в период 2015-2019 годов [2]. Дальнейшие данные, ожидаемые в надлежащее время, внесут большую ясность в тенденции в Китае в 2022 году, что также может иметь последствия для глобальной картины (Рис. 1).

Спрос на электроэнергию в Индии вырос на 8,4% в 2022 году благодаря сочетанию устойчивого экономического восстановления после пандемии и исключительно высоких летних температур. В 2022 году в Соединенных Штатах было зафиксировано значительное увеличение спроса на 2,6% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, обусловленное экономической активностью и увеличением использования жилых помещений для удовлетворения потребностей в отоплении и охлаждении в условиях более жаркой летней погоды и более холодной, чем обычно, зимы.

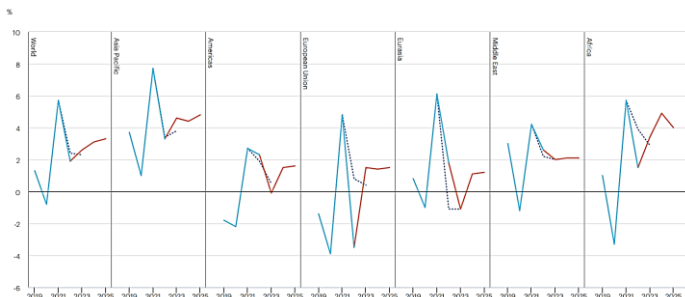


Рис. 1 Глобальные и региональные процентные изменения спроса на электроэнергию, 2019-2025

Возобновляемые источники энергии и ядерная энергия будут доминировать в росте мирового электроснабжения в течение следующих трех лет, вместе покрывая в среднем более 90% дополнительного спроса. На долю Китая приходится более 45% роста возобновляемой генерации в период 2023-2025 годов, за которым следует ЕС с 15% [3]. Существенный рост возобновляемых источников энергии должен сопровождаться ускоренными инвестициями в сети и гибкостью для их успешной интеграции в энергосистемы. Увеличение объемов производства атомной энергии обусловлено ожидаемым восстановлением французской атомной генерации, поскольку все больше электростанций завершают плановое техническое обслуживание, а также запуском новых электростанций, в основном в Азии.

Ожидается, что мировое производство электроэнергии как из природного газа, так и из угля останется в целом неизменным в период с 2022 по 2025 год. В то время как производство электроэнергии, работающей на газе, в Европейском союзе, по прогнозам, сократится, значительный рост на Ближнем Востоке частично компенсирует это снижение [4]. Аналогичным образом, снижение выработки электроэнергии на угле в Европе и Северной и Южной Америке будет сопровождаться ростом в Азиатско-Тихоокеанском регионе. Тем не менее, тенденции в производстве электроэнергии, работающей на ископаемом топливе, по-прежнему зависят от изменений в мировой экономике, погодных явлений, цен на топливо и государственной политики (Рис. 2). События в Китае, где производится более половины мирового производства электроэнергии на угле, останутся ключевым фактором. Доля Китая в мировом потреблении электроэнергии, по прогнозам, вырастет до одной трети к 2025 году по сравнению с одной четвертью в 2015 году.

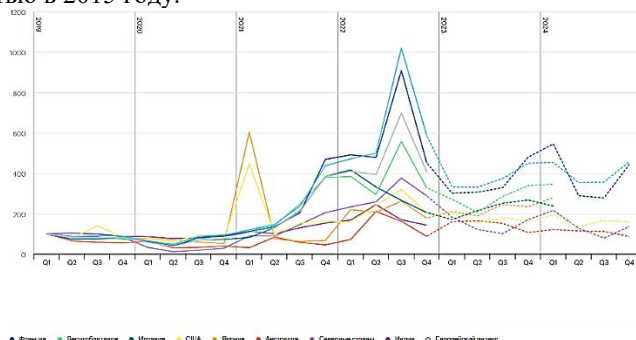


Рис. 2 Индексированные средние оптовые цены за квартал для отдельных регионов, 2019-2024

В течение следующих трех лет более 70% роста мирового спроса на электроэнергию будет приходиться на Китай, Индию и Юго-Восточную Азию вместе взятые. Рост стран с формирующейся рыночной экономикой сопровождается соответствующим увеличением спроса на электроэнергию. В то же время страны с развитой экономикой настаивают на электрификации для декарбонизации своих секторов транспорта, отопления и промышленности. В результате ожидается, что мировой спрос на электроэнергию будет расти гораздо более быстрыми темпами - на 3% в год в течение 2023-2025 годов по сравнению с темпами роста в 2022 году. Общее увеличение мирового спроса на электроэнергию примерно на 2500 тераватт-часов к 2025 году более чем вдвое превышает текущее годовое потребление электроэнергии в Японии [5]. Тем не менее, существуют неопределенности в отношении роста спроса на электроэнергию в Китае. Хотя страна недавно ослабила свои строгие ограничения по борьбе с Covid в начале декабря 2022 года, полная степень экономических последствий остается неясной.

В заключении можно сказать, что в мире, где спрос и предложение электроэнергии становятся все более зависимыми от погодных условий, безопасность электроснабжения требует повышенного внимания. Наряду с высокой стоимостью производства электроэнергии мировые энергосистемы также столкнулись с проблемами, вызванными экстремальными погодными явлениями в 2022 году. В дополнение к засухе в Европе, в Индии были периоды сильной жары, где был зафиксирован самый жаркий март за более чем столетие, что привело к самому высокому за всю историю страны пику спроса на электроэнергию. Аналогичным образом, центральный и восточный Китай пострадали от аномальной жары и засухи, что вызвало резкий рост спроса на кондиционирование воздуха на фоне сокращения выработки гидроэнергии в провинции Сычуань. В декабре в Соединенных Штатах прошли сильные зимние штормы, вызвавшие массовые отключения электроэнергии. Смягчение последствий изменения климата требует более быстрой декарбонизации и ускоренного внедрения технологий экологически чистой энергии.

В то же время по мере того, как переход к экологически чистой энергии набирает обороты, влияние погодных явлений на спрос на электроэнергию будет усиливаться из-за увеличения электрификации отопления, в то время как доля погодных зависимых возобновляемых источников энергии будет продолжать расти в структуре производства. В таком мире решающее значение будет иметь повышение гибкости энергосистем при одновременном обеспечении надежности поставок и устойчивости.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоусов А.В., Кошлич Ю.А., Быстров А.Б. Перспективы применения современных статистических и детерминированных методов прогнозирования в системах мониторинга энергопотребления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С.192-196.
2. Еремкин А. И., Баканова С. В. Отопление. Современные отопительные приборы для зданий и сооружений. Учебное пособие. – 2016.
3. Башмаков И. А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России // Новости теплоснабжения. 2008. Т. 2. С. 6-9.
4. Чиркова И. Г. Анализ электропотребления в сельскохозяйственном производстве // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 2. С. 13–14.
5. Путилова Н. Н., Проскуракова М. М. Снижение коммерческих потерь электрической энергии в электрических сетях // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2015. № 4 (33). С. 108–112.

*УДК 621.3.015.1*

*Варламов П.П., Трезуб О.С., Сергеев Е.П.  
Научный руководитель: Саввин Н.Ю., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ КОМПЬЮТЕРА**

Персональный компьютер — это универсальное, довольно сложное электронно-вычислительное устройство, предназначенное для одновременного управления одним человеком. Постоянно увеличивающееся соотношение вычислительной мощности к стоимости в сочетании с уменьшением веса, размеров и энергопотребления, а также внедрение более эффективного и удобного программного обеспечения повлияли как на быстрое развитие ПК, так и на необычайное разнообразие примеров их использования. Актуальность данной темы обуславливается тем, что сегодня ПК являются стандартной, если не основной частью научной, инженерной, деловой, промышленной, коммерческой, образовательной и других сред, влияющих практически на все аспекты жизни.

ПК могут быть реализованы как системы “реального времени” (т.е. для управления различными внешними устройствами в режиме реального времени), для оперативного управления связью между двумя или более местоположениями или как часть приложений непрерывного управления технологическими процессами [1]. Такие компьютеры часто называют микроконтроллерами, или программируемыми логическими контроллерами, или программируемыми электронными устройствами. С другой стороны, ПК могут использоваться в качестве автономного инструмента в некоторых некритичных по времени приложениях (например, автономные вычисления, обработка текстов, приложения для автоматизированного проектирования (САПР), и т.д.). Такая классификация позволяет легче оценить возможные потери и затраты, связанные с нарушениями качества электроэнергии, которые приводят к неисправности ПК. Неисправность ПК, встроенных в систему реального времени, связана с потенциально более серьезными последствиями, поскольку потери также связаны с контролируемой

системой/процессом. Неисправность компьютера, используемого в автономном режиме, обычно связана со значительно меньшими последствиями (т.е. с потерей тех фрагментов информации, которые были получены между последним сохранением/резервной копией и моментом сбоя) [2].

Чувствительность ПК к перепадам напряжения обычно выражается только в терминах величины и продолжительности перепада напряжения. Для этой цели используется “прямоугольная кривая допуска напряжения”, (Рис. 1). Эта кривая указывает на то, что падение напряжения дольше указанной продолжительности и глубже указанной величины напряжения приведет к неисправности (т.е. к перезапуску ПК). Указанные пороговые значения величины напряжения варьируются от всего лишь 30-40% до 80-90% от номинального напряжения и от коротких, как 1-2 цикла, до максимально длинных как десять циклов по продолжительности [3].



Рис. 1 Структура человеческих ресурсов предприятия

Однако, может быть так, что падение напряжения (или короткое замыкание) приводит к блокировке операций, выполняемых компьютером и/или блокировке его операционной системы без перезапуска компьютера. Это означало бы, что кривые допуска напряжения, полученные только с использованием критерия перезагрузки, не являются достоверными. Следовательно, если учитывать только такую кривую допуска напряжения, это может ввести в заблуждение, особенно в том случае, когда процесс, управляемый компьютером, представляет особую важность. ПК – это уже идентифицировано как оборудование, очень чувствительное к различным нарушениям качества электроэнергии, и, следовательно, их поведение во время перепадов напряжения и коротких перерывов следует оценивать с учетом дополнительных критериев неисправности.

В качестве примера рассмотрим нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения (ГОСТ 32144-2013).

Изменение характеристик напряжения источника питания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети в отношении частоты, значений, формы и симметрии напряжения в трехфазных системах электроснабжения делятся на две категории - непрерывные изменения характеристик напряжения и случайные события. Устойчивые изменения характеристик напряжения источника питания длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и в основном связаны с изменением нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок [4]. Случайные события — внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. данные об изменении напряжения, обычно вызваны непредсказуемыми событиями (например, повреждение оборудования пользователя электрической сети) или внешние воздействия (например, погодные условия, действия лица, не являющегося пользователем электрической сети). Что касается непрерывных изменений характеристик напряжения источника питания, связанных с частотой, значениями, формой напряжения и симметрией напряжения в трехфазных системах, настоящий стандарт устанавливает показатели и нормы.

Провалы напряжения обычно наблюдаются из-за сбоев в электрических сетях или в электроустановках потребителей, а также при подключении мощной нагрузки. Провал напряжения обычно связан с исключением и окончанием короткого замыкания или другим резким увеличением тока в системе или электроустановке, подключенной к сети. Продолжительность падения напряжения может составлять до 1 мин. В трехфазных сетях электроснабжения момент принимается за начало

провала напряжения, при падении напряжения в одной из фаз от порогового значения начала падения напряжения, после окончания падения напряжения наступает момент, когда напряжение во всех фазах возрастает выше порога окончания провала напряжения. Перенапряжение имеет тенденцию вызывать переходы и восприимчивость к нагрузкам. Перенапряжения могут возникать между фазными проводами или между фазным и защитным проводами. В зависимости от схемы, комбинации замыканий на землю также приводят к возможным перенапряжениям между фазным и нейтральным проводниками. Согласно с требованием настоящего стандарта перенапряжение исключается как электромагнитная помеха, соответствие которой определяется как напряжением, так и длительностью. Продолжительность перенапряжения может составлять до 1 минуты. И провалы, и всплески непредсказуемы и в значительной степени случайны. Частота их возникновения зависит от типа системы электроснабжения, пункта наблюдения, времени года.

Чтобы избежать неприятных ситуаций в работе ПК, обычно используется источник бесперебойного питания. Что такое источник бесперебойного питания? Источник бесперебойного питания, также называемый системой ИБП или резервным питанием от батареи ИБП, защищает подключенное оборудование от проблем с питанием и обеспечивает резервное питание от батареи во время перебоев в подаче электроэнергии. Некоторые системы ИБП также регулируют и защищают подключенное оборудование от ненормальных напряжений. Все системы ИБП выполняют две важнейшие функции: обеспечивают резервное питание от батарей и защищают оборудование от скачков напряжения и помех от сетевого шума.

Существует три основных типа ИБП: резервный, оперативный и линейно-интерактивный. Существует более трех типов, но остальные в основном представляют собой гибрид двух или более из этих основных типов. Ниже приведена разбивка отдельных типов ИБП [5]:

1) резервный ИБП (иногда называемый “автономным ИБП” или “Резервным источником питания”) является наиболее упрощенной и недорогой версией ИБП. По сути, ИБП этого типа будут подавать питание непосредственно от сети к источнику питания компьютера до тех пор, пока не произойдет отключение питания;

2) сетевые ИБП (иногда называемые либо “Настоящими ИБП”, либо “ИБП с двойным преобразованием”) похожи на резервные ИБП, но также имеют некоторые заметные отличия. В сетевом ИБП питание поступает от аккумулятора ИБП, а питание от сети постоянно заряжает аккумулятор;

3) линейные интерактивные ИБП полностью отличаются от резервных или онлайн-версий, которые мы уже обсуждали. В линейном интерактивном ИБП питание от сети поступает на инвертор/преобразователь в ИБП. Затем мощность разделяется как на переменный, так и на постоянный ток. Постоянный ток заряжает аккумулятор ИБП, а переменный ток поступает к источнику питания компьютера. При отключении питания от сети компьютер получает все свое питание от батареи ИБП.

В заключении можно сказать, что мы разобрали данный вопрос подробно, выяснив насколько велико значение ПК в жизни человека, а также изучили государственный стандарт. Так же мы узнали, что влияние качества напряжения на работу персонального компьютера довольно велика. Персональный компьютер является неотъемлемой частью работы, досуга, образования многих из нас, поэтому просто критически необходимо учитывать качество напряжения. С каждым годом с увеличением мощности, увеличивается как потребление электричества ПК, так и стоимость комплектующих, поэтому чтобы очередной скачек напряжения не повредил комплектующие, можно установить источник бесперебойного питания (ИБП), который способен предотвратить неприятные ситуации.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пятибратов Г.Я. История развития и современные проблемы электроэнергетики и электротехники: учебное пособие. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. 122 с.

2. Посашков М.В., Немченко В.И. Титов Г.И. Энергосбережение в системах теплоснабжения: учебное пособие. Самара: Самарский государственный архитектурно–строительный университет, АБС АСВ, 2014. 192 с.

3. Тихомирова Т.И., Кретова М.А. Теплоэнергетика и окружающая среда // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые 68 химикотехнологические процессы защиты окружающей среды: Межд. науч.-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 256-260

4. Тихомирова Т.И., Кретова М.А. Теплоэнергетика и окружающая среда // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые 68 химикотехнологические процессы защиты окружающей среды: Межд. науч.-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 256-260

5. Гошко М.Ю. Анализ энергоэффективных мероприятий



**УДК 620.9**

***Вертинский К.О.***

***Научный руководитель: Карницкий В.Ю., канд. техн. наук, доц.***

*Тульский государственный университет г. Тула, Россия*

## **ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Тема проблем современной электротехники и энергетики является крайне актуальной в настоящее время. Электроэнергетика является неотъемлемой частью нашей жизни и важнейшим фактором, обеспечивающим экономический рост и развитие инфраструктуры в любой стране. Однако, современная электротехника и энергетика сталкиваются с рядом проблем, которые необходимо решать для обеспечения устойчивого и экологически безопасного развития.

В связи с изменением климата, ростом потребления энергии и ограниченностью источников нефти, газа и угля, поиск новых источников энергии и развитие инфраструктуры для хранения и передачи возобновляемой энергии становится критически важным для устойчивого развития. Безопасность также является важной проблемой, особенно в связи с использованием ядерной энергии и других технологий, которые могут представлять угрозу для окружающей среды и человека.

Кроме того, развитие новых технологий и инвестиции в них являются важными факторами для преодоления проблем современной электротехники и энергетики. Решение этих проблем потребует совместных усилий научных сообществ, правительств и промышленности в различных странах.

Современная электротехника и энергетика сталкиваются с рядом проблем, которые могут повлиять на их развитие и эффективность. Некоторые из них включают в себя:

1. Использование источников энергии, которые не являются возобновляемыми и могут исчерпаться в ближайшем будущем, таких как нефть, газ и уголь. Это приводит к необходимости поиска новых источников энергии, таких как солнечная, ветровая и геотермальная энергия. Если за период с 1965 г. по 1979 г. добыча увеличилась на 34 млн. баррелей в сутки, то за вдвое более длительный срок с 1979 г. по 2006 г. — всего на 18 млн. баррелей в сутки. Многие специалисты

считают, что пик добычи энергетических ресурсов уже наступил или наступит в ближайшее время. [3] Многообещающим направлением в решении проблем стала водородная энергетика, которая предлагает использовать в качестве топлива водород. Огромным плюсом в пользу водорода является то, что получать энергию теперь можно без негативных последствий для окружающей среды. [5]

2. Недостаточность инфраструктуры для хранения и передачи возобновляемой энергии. Например, солнечная и ветровая энергия генерируются только в те моменты, когда есть солнце и ветер, что требует хранения энергии в течение периодов нехватки. Прежде всего, разработка технологии хранения энергии требует инноваций и прорыва в емкости, долговечности, низкой стоимости и высокой безопасности для электрохимического хранения энергии. Кроме того, требуется технология физического хранения с высокой эффективностью и низкой стоимостью. [6]

3. Устаревшее оборудование и системы передачи электроэнергии, которые могут приводить к потерям энергии и неэффективному использованию ресурсов.

4. Проблемы с безопасностью, связанные с использованием ядерной энергии и других технологий, которые могут быть опасными для окружающей среды и человека. Усиление международных конфликтов между Россией и Украиной, а также создание напряженной геополитической ситуации в отношениях Китая и США, КНДР и Южной Кореи, а также стран НАТО и Россией приводит к опасности возобновления ядерной гонки и реализации крайне разрушительных планов по достижению военных целей каждой из сторон.

5. Рост потребления энергии в связи с увеличением численности населения и увеличением уровня потребления электроэнергии в различных отраслях, что приводит к увеличению выбросов углекислого газа и других газов, которые влияют на климат. Так, за 1990-2017 гг. энергетические выбросы CO<sub>2</sub> в мире увеличились на 60%. Основными драйверами увеличения эмиссии стали рост численности населения (на 42%) и среднедушевого ВВП (на 73%). Главным сдерживающим фактором выбросов CO<sub>2</sub> стало снижение энергоемкости мирового ВВП на 35%. [7]

6. Недостаточность инвестиций в развитие новых технологий и источников энергии, что может привести к задержке в развитии электротехники и энергетики и замедлению процесса перехода к более экологичным источникам энергии.

Это только некоторые из проблем, которые сталкиваются современная электротехника и энергетика. Для их решения необходимо

продолжать исследования и инвестировать в развитие новых технологий и инфраструктуры.

Применимо к России следует говорить о проблеме продолжающегося роста износа основного оборудования электрических сетей и станций. В частности, доля распределительных электрических сетей, выработавших свой нормативный срок, составляет около 50%. Семь процентов электрических сетей выработало 2 нормативных срока. Общий износ распределительных сетей достиг 70 процентов, магистральных сетей - 50 процентов, в то время, как износ электросетевых активов в промышленно развитых странах составляет 27-44 процента [1]. Старее и станционное оборудование.

Для решения этой проблемы могут быть предложены следующие меры:

1. Обновление основного оборудования. Необходимо провести анализ состояния основного оборудования, идентифицировать устаревшие компоненты и заменить их на новые. Это позволит увеличить надежность работы сетей и станций, снизить вероятность аварий и улучшить качество электроснабжения.

2. Разработка новых технологий. Россия должна инвестировать в разработку новых технологий, которые позволят улучшить работу электрических сетей и станций, повысить их эффективность и устойчивость. Например, разработка новейших сетей и технологий хранения энергии могут значительно улучшить работу энергосистемы и снизить нагрузку на основное оборудование.

3. Развитие рынка энергосбережения. В России необходимо создать благоприятную инфраструктуру для развития рынка энергосбережения. Это позволит снизить потребление электроэнергии, что в свою очередь уменьшит нагрузку на основное оборудование и увеличит его срок службы.

Проблемой энергетической отрасли в нашей стране является крайне высокая зависимость электроэнергетики от природного газа. Данная проблема связана с тем, что этот вид топлива используется для генерации около половины электроэнергии в стране. Кроме того, Россия является одним из крупнейших экспортеров природного газа, что также усиливает зависимость от него.

Одним из решений данной проблемы может быть увеличение доли использования возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, ветровая, гидроэнергетика и другие. Также необходимо развитие технологий для использования более экологически чистых видов топлива, таких как водород или биотопливо.

Для уменьшения зависимости от природного газа можно также использовать имеющиеся запасы угля и нефти для генерации электроэнергии, но при этом необходимо соблюдать все экологические нормы и стандарты.

Другая проблема – низкая энергетическая и экономическая эффективность энергетической отрасли.

Одной из причин низкой энергетической и экономической эффективности отрасли может быть устаревшее оборудование и технологии, а также недостаточное внедрение современных инноваций и технологий. Кроме того, неэффективное управление, несоответствие законодательства и неэффективная система учета и контроля также могут оказывать отрицательное влияние на отрасль.

Одним из решений проблемы может быть внедрение новых, более современных и эффективных технологий и оборудования, а также повышение квалификации персонала. Следует также обновлять и совершенствовать систему управления и контроля, адаптировать законодательство к современным требованиям и стандартам, а также снижать издержки и оптимизировать процессы производства.

Также следует уделять большее внимание развитию и внедрению возобновляемых источников энергии, что позволит сократить зависимость от конкретного вида топлива и уменьшить экологическое воздействие отрасли. Оптимизация расходов на энергетику, повышение энергоэффективности и энергосбережения также могут существенно улучшить энергетическую и экономическую эффективность отрасли.

Также можно выделить проблемы следующего характера:

- отсутствие стимулирования энергосбережения во всех сферах экономики;
- отсутствие оптимальной системы управления отраслью в условиях образования многочисленных собственников электроэнергетических объектов;
- резкое сокращение научно-технического потенциала отрасли;
- отсутствие полной финансовой прозрачности рынков электроэнергии и деятельности предприятий электроэнергетики;
- отсутствие эффективной системы корпоративного управления;
- недостаточно эффективный механизм снижения издержек в сфере производства (генерации), передачи и распределения электроэнергии;
- отсутствие развития научных работ по созданию новых технологий, обеспечивающих приоритетное функционирование отечественной электроэнергетики;

— отсутствие системы целостного оптимального управления развитием и функционированием электроэнергетики России

— необходимость в организации экологического производственного контроля.

Перечисленные выше проблемы не только негативно влияют на энергетическую и экономическую эффективность отрасли, но и могут оказывать отрицательное влияние на экономику страны в целом. Чтобы решить эти проблемы, необходимо провести реформы в отрасли, внедрить новые технологии и современную систему управления. Также следует стимулировать развитие научных исследований в отрасли и организовать систему контроля за экологической безопасностью. Важно также провести работу по повышению энергоэффективности и внедрению возобновляемых источников энергии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе». Утв. Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 22.02.2017 №252)

2. Макаров О. А., Барбашина Е. А. Анализ проблем современной электроэнергетической отрасли и стратегические пути их решения в соответствии с концепцией Энергетической стратегии до 2035 года // Вестник ВГУИТ. 2016. № 2. С. 366-2.

3. Хотеллинг Г. Экономика истощаемых ресурсов. 1931 / Вехи экономической мысли. Рынки факторов производства. Т. 3. СПб.: Экономическая школа, 1999.

4. Рыбина И. А., Пивоварова О. В. Современное состояние государственного внутреннего долга Российской Федерации // Научно-практическая конференция «Актуальные вопросы образования и науки. М.: Издательство «Научный консультант», 2014. С. 44-50.

5. Афанасьева, Е. А. Основные проблемы энергетики и возможные способы их решения / Е. А. Афанасьева, М. Д. Кислякова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2017. — № 40 (174). — С. 1-4.

6. Усачева И.В. Гибридные накопители энергии: проблемы перспективы технологий хранения энергии. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnye-nakopiteli-energii-problemyi-perspektivy-tehnologiy-hraneniya-energii?ysclid=lgtuucnaex841846133> (дата обращения: 23.04.2023)

7. Колпаков А.С. Энергоэффективность: роль в сдерживании выбросов углекислого газа и определяющие факторы.

URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnost-rol-v-sderzhivanii-vybrosov-uglekislogo-gaza-i-opredelyayuschie-factory?ysclid=lgutzkqe73872543629> (дата обращения: 23.04.2023)

**УДК 338**

**Ганюшкина Ю.Д.**

**Научный руководитель: Низматзянова Л.Р., ст. преп.**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ОСОБЕННОСТИ ТАРИФНОЙ ПОЛИТИКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Тариф на выработанную электроэнергию – главный источником формирования прибыли компании, покрывая затраты и обеспечивая основу для инвестиций в генерацию и остальные направления деятельности. Вовлечение крупных инвестиций в электроэнергетику требует основательного реформирования отрасли и соответствующей тарифной политики [1].

Тарифная политика - комплекс организационно-экономических и правовых отношений, возникающих в процессе достижения баланса интересов государства, энергетики и потребителей, направленных на справедливое определение системы оплаты за электрическую энергию [2]. Часто на тарифы значительное давление оказывает цена всех видов ресурсов, используемых в хозяйственной деятельности организаций. Также есть и иные факторы, оказывающие влияние на тарифную политику: техническое и технологическое развитие предприятий, уровень развития генерирующих, энерго-передающих и других систем [1].

Для населения и приравненных к нему потребителей введены единые тарифы на всей территории субъекта Российской Федерации независимо от источника генерации. Ставка тарифов на электрическую энергию в регионе осуществляется на основе способа экономически обоснованных затрат на производство, передачу и реализацию электрической энергии и определяется в зависимости от величины требуемой валовой выручки организаций и расчетного размера производства продукции или услуги [2].

Осуществление действенной тарифной политики на макро- и микроуровне позволяет замедлить рост тарифов на электроэнергию, уравновесив интересы всех участников рынка путем утверждения тарифов, которые с одной стороны должны покрывать рациональные затраты и обеспечивать достаточную прибыль для развития

энергетических компаний, а с другой стороны, они должны передаваться потребителям по минимально возможной цене [1,3].

Положительный результат политики заключается в том, что замедление роста цен на электроэнергию является действенным механизмом снижения инфляции, удерживании конкурентоспособности отечественной энергоемкой отрасли и ослабления общественной напряженности. К негативным последствиям понижения цен на электроэнергию следует отнести дефицит инвестиционных ресурсов и нерациональное, расточительное потребление энергии [4].

Исходя из вышесказанного, мы можем выделить несколько возможных направлений увеличения эффективности управления тарифной политикой на уровне электроэнергетических компаний:

- увеличение доли рынка за счет увеличения объемов продаж;
- максимизировать прибыль за счет уменьшения затрат;
- сохранить нынешнюю позицию на рынке, что выгодно для развития компании в краткосрочной и долгосрочной перспективе [2].

Потребители имеют право самостоятельно выбирать ценовую категорию в зависимости от количества потребляемой электрической энергии (мощности). Выбор оптимальной тарифной ставки позволяет предприятию снижать затраты на электроэнергию до 30%. [5].

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ильина, Л. И. Влияние тарифной политики на процессы энергосбережения на Севере / Л. И. Ильина, Н. В. Ружанская // *Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики*. – 2013. – № 4. – С. 81-85.

2. Элякова, И. Д. Тарифная политика в сфере электроснабжения Республики Саха (Якутия) / И. Д. Элякова, В. В. Барахова // *Вестник университета*. – 2014. – № 3. – С. 128-131.

3. Шулепова, О. П. К вопросу о тарифной политике в электроэнергетике и ее влиянии на финансовую безопасность региона / О. П. Шулепова // *Статистика, учет и аудит*. – 2014. – № 1(52). – С. 20-25.

4. Богачкова, Л. Ю. К вопросу о совершенствовании тарифной политики в отраслях ТЭК / Л. Ю. Богачкова // *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология*. – 2007. – № 11. – С. 111-117.

5. Жаркая, А. В. Особенности ценообразования в электроэнергетической отрасли / А. В. Жаркая // *Современные*

проблемы и тенденции развития экономики и управления бизнес-процессами : Сборник материалов III Региональной научно-практической конференции, Красноярск, 17 декабря 2021 года / Отв. редакторы Е.Е. Моисеева, Е.А. Воронина. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2022. – С. 6-10.

**УДК 621.311**

**Гиниятов А.Р.**

**Научный руководитель: Бабинов О.Е., асс.**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Распределенная энергетика подразумевает производство электроэнергии в небольших энергоустановках, расположенных в непосредственной близости к потребителям. Это позволяет снизить затраты на транспортировку электроэнергии, а также повысить надежность энергоснабжения. В распределенной энергетике могут применяться различные источники энергии, в том числе топливные элементы.

Топливные элементы являются перспективными и эффективными технологиями с точки зрения получения электроэнергии. В основе работы топливных элементов лежат электрохимические реакции между топливом и кислородом, что позволяет получить электроэнергию без выброса вредных веществ в атмосферу. Таким образом, топливные элементы являются экологически чистыми генерирующими установками.

Также, топливные элементы обладают высокой экономической эффективностью. Они имеют высокий КПД, что позволяет получать большой объем энергии при меньших затратах на топливо, по сравнению с традиционными источниками энергии. Кроме того, топливные элементы имеют долгий срок службы и требуют меньших затрат на обслуживание и ремонт.

Топливные элементы могут использоваться для генерации электроэнергии в различных приложениях для распределенной



энергетики. Также топливные элементы могут быть использованы в качестве резервного источника энергии [1].

Топливные элементы могут быть использованы для совместной выработки электрической и тепловой энергии, что повышает их экономическую эффективность. Такие системы называются когенерационными и могут быть использованы на производственных предприятиях, в коммерческих и жилых зданиях.

Одним из примеров применения топливных элементов в распределенной энергетике являются топливные элементы на водороде. Они могут использоваться в качестве источника питания электромобилей, что позволяет исключить выбросы вредных веществ в атмосферу и улучшить качество воздуха в городах.

Однако, несмотря на все преимущества топливных элементов, их использование в распределенной энергетике до сих пор ограничено высокой стоимостью. Кроме того, существует проблема снабжения топливом, так как в настоящее время водород, который является наиболее распространенным топливом для топливных элементов, получают с помощью электролиза воды, парового риформинга природного газа, газификации угля и биомассы, пиролиза метана [2].

Тем не менее, с развитием технологий производства топливных элементов и снижением их стоимости, использование топливных элементов в распределенной энергетике становится все более перспективным. Также, с развитием возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, возможно наладить производство водорода на основе электролиза воды [3]. В таблице ниже приведено сравнение экономической эффективности и экологичности топливных элементов с другими источниками энергии в распределенной энергетике (Табл.).

Таблица - Сравнение различных источников энергии в распределенной энергетике

Источник энергии	Преимущества и недостатки	Экологичность	Надежность энергоснабжения
Топливные элементы	Обладают высоким КПД (40-60%), гибкостью использования и могут быть адаптированы к различным потребностям, но у них высокие затраты	Низкие выбросы парниковых газов и вредных веществ, способствуют улучшению качества воздуха.	Высокая, особенно при комбинированном производстве электроэнергии и тепла.

	на производство и эксплуатацию топливных элементов и проблемы с поставками и хранением топлива.		
Солнечная энергия	Является возобновляемым источником энергии, долгий срок службы, но высокая стоимость солнечных панелей, например если 340 Вт, то 1 шт. будет стоить 15000 руб., но у них высокие эксплуатационные затраты, требует значительной площади земли.	Процесс производства солнечных панелей требует энергозатрат и выделения выбросов, также строительство и эксплуатация может иметь отрицательное воздействие на дикую природу и местных животных.	Средняя, так как зависит от солнечной активности.
Ветровая энергия	Является возобновляемым источником энергии, строительство и эксплуатация могут способствовать созданию рабочих мест и развитию местных экономик в регионах, где они располагаются, но требуется отчуждение больших площадей и могут создавать шум.	Могут оказывать воздействие на местные экосистемы, включая птиц и летучих мышей, которые могут сталкиваться с вращающимися лопастями.	Средняя, так как зависит от наличия и скорости ветра.
Газотурбинные установка	Обладают высоким КПД (30-40%), обычно имеют меньше деталей, чем стандартные паровые турбины, что делает их более надежными и менее подверженными к поломкам, но у них высокая стоимость,	Относительно низкие выбросы, но присутствие выбросов CO <sub>2</sub>	Высокая, но зависит от доступности газа и поддержки топливной инфраструктуры

	ГТУ мощностью 65 МВт может достигать 500 млн. руб.		
Парогазовая установка	Высокий КПД (50-60%), может работать на различных типах топлива, включая природный газ, дизельное топливо, мазут и другие, но требует значительного пространства для установки.	Может приводить к выбросам парниковых газов, включая углекислый газ (CO <sub>2</sub> ) и метан (CH <sub>4</sub> ), который является более сильным парниковым газом.	Требует регулярного технического обслуживания и контроля состояния. А также у них расчетный срок службы 40 календарных лет
Паровые котлы	Имеют высокий КПД, работающие на жидком или газообразном топливе, имеют КПД 90—92%. При слоевом сжигании твердого топлива КПД равняется 70—85%, имеют простую конструкцию и долгий срок службы до 24 лет, но они имеют значительные размеры и требуют регулярного технического обслуживания и контроля, чтобы обеспечить их безопасную и эффективную работу.	Присутствуют выбросы парниковых газов и вредных веществ. Работающие на природном газе или биомассе, имеют более низкие выбросы углекислого газа и других загрязнителей, что делает их более экологически чистыми в сравнении с котлами, работающими на угле	Высокая, так как у них долгий срок службы, простая конструкция также имеют системы мониторинга и дистанционного управления
Дизельные генераторы	Высокий КПД около 40%. Обычно производят значительный шум и вибрации при работе.	Низкие так как, будет работать с минимальным количеством вредных отходов, которые перед выбросом в атмосферу	Высокая, так как срок службы от 20 до 30 лет и имеют легкий запуск и быстрый отклик при подаче нагрузки.

		проходят внутреннюю очистку в выхлопном тракте.	
--	--	----------------------------------------------------------------	--

Из приведенной таблицы видно, что топливные элементы имеют относительно высокий КПД, обычно в диапазоне 40-60% и могут достигать более 60% в передовых системах, и меньшую экологическую нагрузку по сравнению с газотурбинными установками и дизельными генераторами [4]. Однако, установка и эксплуатация топливных элементов может быть дороже, чем у других источников. Солнечные электростанции и ветрогенераторы также могут быть более экологичными, но требуют значительных затрат на установку и поддержку. Паровые котлы и ПГУ могут быть более экономически эффективными, чем топливные элементы, но их экологические последствия и надежность могут оказаться ниже [5].

Таким образом, топливные элементы являются перспективным источником энергии в распределенной энергетике. Их экономическая эффективность и экологичность делают их привлекательным выбором для различных приложений в энергетической отрасли. Однако, для широкого распространения топливных элементов необходимо решить проблемы их стоимости и снабжения топливом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оленский, А.А. "Применение топливных элементов в энергетике." Сборник научных трудов "SWORLD", том 10, № 3, 2012, с. 75-78.
2. International Energy Agency. Technology Roadmap: Hydrogen and Fuel Cells. 2015. [Online]. Доступно по: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-hydrogen-and-fuel-cells> (дата доступа: 13.05.2023).
3. Sharma, A., Singh, P. K., Aravind, P. V. "Economic and Environmental Analysis of Distributed Generation Systems: A Review." Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 81, pp. 2291-2309, 2018.
4. Hovsopian, R., Aslani, A., Khorasanizadeh, H., Dincer, I. Techno-economic and environmental analysis of distributed generation systems using fuel cells: A case study. "Applied Energy", vol. 234, pp. 1032-1046, 2019.
5. Shao, Y., Hou, M., Li, X., Zhang, Y., Hu, X. Techno-economic analysis of distributed generation systems using different fuel cell technologies. "Journal of Power Sources", vol. 396, pp. 530-544, 2018.

*Гиниятов А.Р., Маслов И.Н.*

*Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПОМОЩЬЮ ОПТИМИЗАТОРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**

Электроэнергия является одним из ключевых ресурсов в современном обществе, и ее качество играет важную роль в обеспечении надежной работы электрических устройств и систем. В статье рассмотрен вопрос обеспечения качества электроэнергии с помощью компенсатора с оптимизатором энергопотребления.

Компенсаторы используются для компенсации реактивной мощности, которая возникает при работе некоторых типов электрических устройств, таких как двигатели и сварочные аппараты. Реактивная мощность может привести к увеличению потребления электроэнергии и снижению качества электрической энергии в системе. Оптимизаторы энергопотребления используются для управления потреблением энергии и снижения затрат на электроэнергию. Они могут управлять нагрузками в системе, включая отключение ненужных устройств и управление расписанием работы устройств. Компенсатор с оптимизатором энергопотребления – это устройство, которое используется для улучшения качества электроэнергии путем компенсации реактивной мощности и оптимизации энергопотребления. Он позволяет улучшить качество электроэнергии, которая поступает к потребителю, увеличивая эффективность и надежность работы электрических устройств и систем [1-3].

Одним из основных преимуществ компенсатора с оптимизатором энергопотребления является возможность управления мощностью и качеством электроэнергии на основе измерений и анализа данных о ее потреблении. Это позволяет оптимизировать потребление электроэнергии и снизить затраты на электроэнергию, что может привести к экономической выгоде для потребителя.

Кроме того, компенсатор с оптимизатором энергопотребления может снизить нагрузку на сеть, уменьшив риск перегрузки и сбоев в электроснабжении. Это повышает надежность работы электрических устройств и систем, снижает вероятность аварийных ситуаций и повышает безопасность эксплуатации (см. рисунок).

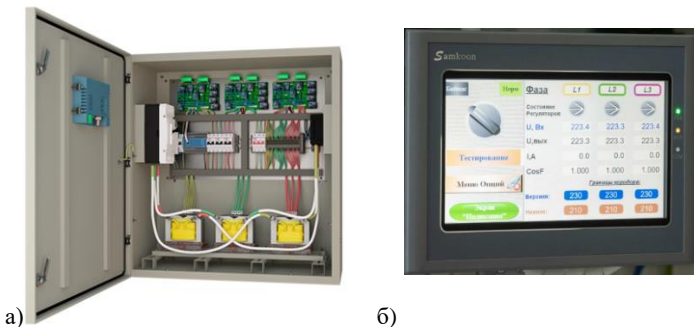


Рис. 1 Внешний вид оптимизатора (а) и панель управления (б)

Обеспечение качества электроэнергии и повышение эффективности работы электрических устройств и систем является актуальной проблемой в современном мире [1-3]. В этой связи, компенсатор с оптимизатором энергопотребления становится все более востребованным инструментом для улучшения качества электроэнергии и снижения потерь электроэнергии в сети. Такой компенсатор позволяет уменьшить рассеяние мощности и подавление нежелательных резонансов, а также увеличить коэффициент мощности и снизить счета за электроэнергию. Важно выбирать данные устройства, исходя их реальных нагрузок жилых и общественных зданий [4-6]. Интеллектуальные счетчики позволяют осуществлять мониторинг качества электроэнергии, а также электрической нагрузки (активной и реактивной) [4-6].

Однако, для достижения наилучших результатов, необходимо правильно настроить и обслуживать компенсатор с оптимизатором энергопотребления, учитывая особенности работы электрических устройств и систем. Неправильная настройка может привести к ухудшению качества электроэнергии, а неправильное обслуживание - к выходу из строя компенсатора, что в свою очередь приведет к нарушению работы электрических устройств и систем. Поэтому, чтобы компенсатор с оптимизатором энергопотребления работал наилучшим образом, необходимо проводить его регулярное обслуживание и следить за его работой.

Важным параметром при выборе компенсатора с оптимизатором энергопотребления является его точность. Точность компенсатора влияет на качество электроэнергии и на потери в энергосистеме. Она определяется точностью считывания параметров нагрузки, точностью измерения мощности и точностью управления режимами работы компенсатора.

Компенсаторы с оптимизаторами энергопотребления широко используются в промышленности и коммерческих зданиях для управления мощностью и качеством электроэнергии. Кроме того, такие компенсаторы также могут быть установлены в жилых домах и квартирах для улучшения качества и экономии электроэнергии.

В целом, компенсаторы с оптимизаторами энергопотребления представляют собой перспективное направление в области обеспечения качества электроэнергии, и их применение может быть полезным для широкого круга потребителей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

2. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66.

3. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45. EDN OONGZH.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Галицкий Ю.Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

6. Солуянов, Ю. И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.

*Гиниятов А.Р., Маслов И.Н.*

*Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЧЁТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

В настоящее время мониторинг потребления электроэнергии является одним из наиболее актуальных направлений развития энергетики. Различные современные технологии, такие как smart-сети и Интернет вещей, создают возможности для улучшения эффективности и надежности систем энергоснабжения. Одним из ключевых компонентов этих систем являются интеллектуальные счетчики, которые могут обеспечить точную и своевременную информацию о потреблении энергии у потребителей. В данной статье мы рассмотрим применение современных интеллектуальных счетчиков для мониторинга электрической нагрузки потребителей [1-3].

Интеллектуальные счетчики позволяют получать информацию о потреблении энергии в реальном времени, что является необходимым для эффективного управления энергоснабжением. В отличие от традиционных счетчиков, которые могут измерять только общее потребление электроэнергии, интеллектуальные счетчики могут предоставлять более детальную информацию, такую как время суток, когда потребление энергии было наибольшим, а также информацию о конкретных электрических приборах, которые потребляют энергию. Это позволяет энергетическим компаниям и потребителям более эффективно управлять своими ресурсами и улучшить качество энергоснабжения.

Современные интеллектуальные счетчики имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными счетчиками. Во-первых, преимущество интеллектуальных счетчиков заключается в их способности предоставлять более точные и детальные данные о потреблении электроэнергии, чем традиционные счетчики. Это позволяет потребителям более эффективно управлять своими энергетическими ресурсами и сокращать затраты на электроэнергию. Во-вторых, преимущество связано с возможностью удаленного сбора данных, которая позволяет управляющим компаниям быстро и эффективно мониторить потребление энергоресурсов и быстро реагировать на сбои в работе электрических сетей. В-третьих, преимущество



интеллектуальных счетчиков заключается в их способности обеспечивать более гибкое тарифное регулирование, что позволяет потребителям снизить затраты на электроэнергию. Также они могут предоставлять информацию о потреблении энергии, которая может быть использована для оптимизации энергоснабжения и планирования будущих мероприятий в области энергетики.

Одним из главных преимуществ использования современных интеллектуальных счетчиков для мониторинга электрической нагрузки является возможность получения детальной информации о потреблении электроэнергии конкретными потребителями [4-6]. Благодаря этому, можно выявить наиболее энергозатратные процессы в различных сферах жизни и работы, например, в производстве, торговле, образовании, здравоохранении и домашнем хозяйстве, и разработать эффективные меры по снижению потребления электроэнергии. Таким образом, использование интеллектуальных счетчиков не только повышает эффективность управления электроэнергией, но и способствует рациональному использованию энергоресурсов в целом.

Одним из важных аспектов использования интеллектуальных счетчиков является защита данных потребителей. Сбор и хранение данных о потреблении энергии могут содержать личную информацию, которая должна быть защищена. Следовательно, необходимы эффективные системы защиты данных и конфиденциальности.

Несмотря на многочисленные преимущества использования интеллектуальных счетчиков, их внедрение может столкнуться с рядом препятствий. Одной из основных проблем является высокая стоимость установки и обслуживания счетчиков. Также нередко возникают технические проблемы, связанные с плохим качеством электрических сетей, которые могут привести к неточности измерений. В связи с этим, перед внедрением интеллектуальных счетчиков необходимо проводить тщательный анализ и обоснование экономической целесообразности.

Также следует учитывать фактор стоимости при рассмотрении применения интеллектуальных счетчиков. Стоимость интеллектуальных счетчиков выше, чем у традиционных счетчиков, что может отразиться на затратах на энергоснабжение для потребителей. Однако, в долгосрочной перспективе, использование интеллектуальных счетчиков может привести к экономическим выгодам, таким как более эффективное использование энергоресурсов и снижение затрат на электроэнергию [2-5].

В заключение, можно сказать, что использование современных интеллектуальных счетчиков для мониторинга электрической нагрузки потребителей имеет большой потенциал для улучшения эффективности

и надежности систем энергоснабжения. Несмотря на ряд проблем, таких как защита данных и стоимость, интеллектуальные счетчики предоставляют более детальную информацию о потреблении энергии и могут использоваться для оптимизации энергоснабжения и управления ресурсами. В целом, использование интеллектуальных счетчиков является важным шагом в направлении более устойчивой и эффективной энергетики, что может принести пользу как потребителям, так и энергетическим компаниям.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

2. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66. EDN SAWUQX.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-134-147. EDN MBYUSE.

4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

5. Солуянов Ю. И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-47-57. EDN LANQDE.

6. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

## **ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Как известно, в настоящее время и в среднесрочной перспективе природный газ является одним из основных источников энергии в современном мире, обеспечивая около 25% мирового потребления энергии. Он используется для производства электроэнергии, отопления, в качестве топлива для транспорта и в химической промышленности. Однако, перевозка и хранение природного газа в газообразном состоянии представляет собой сложную и дорогостоящую задачу, особенно на большие расстояния. В связи с этим, разработка и совершенствование технологий сжижения природного газа становится все более актуальной проблемой [1].

Сжижение природного газа (СПГ) – это процесс превращения газообразного природного газа в жидкое состояние путем снижения его температуры до критической точки (примерно  $-160^{\circ}\text{C}$ ). В результате сжижения объем газа уменьшается в 600 раз, что облегчает его транспортировку и хранение. Сжиженный природный газ обладает рядом преимуществ, таких как меньший объем, упрощенная транспортировка и хранение, а также возможность использования в качестве экологически чистого топлива. Также СПГ является важной для электроэнергетической отрасли, технология сжижения природного газа применяется для создания СПГ-терминалов, которые обеспечивают хранение, транспортировку и поставку сжиженного газа в электростанции, так как он может быть использован в качестве экологически чистого топлива для генерации электроэнергии. Кроме того, сжиженный природный газ может быть использован в качестве топлива для газовых турбин, которые используются в электростанциях для производства электроэнергии. Это позволяет снизить выбросы вредных веществ в атмосферу и уменьшить зависимость от нефти и угля [2].

Существует несколько технологий сжижения природного газа, отличающиеся по принципу работы, классификации и основным методам сжижения, со своими преимуществами и недостатками, которые необходимо учитывать при выборе наиболее подходящей технологии сжижения природного газа для конкретного проекта, но основные из них — это каскадный процесс, процесс C3-MR, и DMR.

1. Каскадный процесс основан на использовании нескольких ступеней охлаждения газа с использованием различных хладагентов, таких как пропан, этан и метан. Каскадный процесс обеспечивает высокую эффективность сжижения и надежность, но имеет сложную конструкцию и высокую стоимость. Одним из примеров каскадного процесса является технология Linde-Statoil, разработанная немецкой компанией Linde и норвежской компанией Statoil. Преимущества каскадного процесса сжижения включают его высокую эффективность сжижения, надежность процесса и возможность использования различных хладагентов для оптимизации процесса. Однако, данный процесс имеет и недостатки. Например, его сложная конструкция, что может увеличить стоимость проекта, и не только высокая стоимость оборудования и эксплуатации, но и для работы потребуются большее количество оборудования и площадки, что может занимать больше места на производственной площадке [3].

2. Процесс C3-MR (Propane Multi-Component Refrigerant): В этом методе используется смесь хладагентов, включая пропан, этан и азот. Процесс C3-MR обеспечивает хорошую эффективность сжижения и относительно низкую стоимость, но имеет некоторые ограничения по применению из-за потребности в высоком давлении. Технология C3-MR была разработана французской компанией Air Liquide и является одной из наиболее распространенных технологий сжижения природного газа [4].

Из сильных сторон можно выделить: хорошую эффективность сжижения, относительно низкую стоимость проекта и эксплуатации, а также широкое применение в промышленности сжижения природного газа. Из слабых: потребность в высоком давлении для работы процесса, ограничения по применению из-за специфических требований к хладагентам и условиям работы, меньшая эффективность сжижения по сравнению с каскадным процессом.

3. Процесс DMR (Dual Mixed Refrigerant): Этот метод сочетает две смеси хладагентов для достижения оптимальной эффективности сжижения. Процесс DMR обеспечивает высокую эффективность и надежность, но имеет сложную конструкцию и высокую стоимость. Технология DMR была разработана компанией Shell и используется в крупных проектах по сжижению природного газа, таких как проект Sakhalin-2 в России [5].

Данный метод также имеет как преимущества, так и недостатки. Преимущества данного процесса заключается в высокой эффективности сжижения, надежности процесса, оптимизации процесса сжижения за счет использования двух смесей хладагентов.

Недостатки процесса DMR, в основном, точно такие же, как и у каскадного.

Все три метода имеют свои плюсы и минусы, и выбор метода зависит от различных факторов, таких как стоимость, доступность оборудования, профессионализм выполняющего персонала и требования к транспортировке и хранению.

С течением времени жидкий природный газ обретает финансовую привлекательность благодаря совершенствованию методов подготовки и сжижения газа, улучшению эффективности интегрированных транспортно-производственных систем, увеличению масштабов производства и габаритов танкеров, совместному применению дорогостоящего общего оборудования (например, портов, регазификационных терминалов) с другими видами производства, добычи газа и создания газовых предприятий в районах с расширяющейся географией [6].

Исходя из этого, существующие технологии сжижения природного газа постоянно совершенствуются и улучшаются, чтобы обеспечить более эффективный и экономически выгодный процесс. Например, одним из направлений совершенствования является разработка новых хладагентов, которые могут обеспечить более высокую эффективность сжижения природного газа при более низких затратах на оборудование и эксплуатацию.

Также исследуются новые методы сжижения природного газа, такие как методы сжижения с использованием мембранной технологии и методы сжижения с использованием сжатого воздуха. Эти методы могут обеспечить более эффективный и экономически выгодный процесс сжижения природного газа.

Кроме того, совершенствуются технологии хранения и транспортировки сжиженного природного газа, такие как разработка новых танкеров и контейнеров для транспортировки сжиженного природного газа, а также разработка новых технологий хранения сжиженного природного газа, которые могут обеспечить более безопасное и эффективное хранение.

В целом, технологии сжижения природного газа играют важную роль в обеспечении энергетической безопасности и устойчивости. В будущем ожидается разработка и совершенствование новых технологий, которые позволят повысить эффективность и надежность процесса сжижения, а также снизить его экологическое и экономическое воздействие. Развитие технологий сжижения природного газа также способствует расширению глобального рынка

СПГ, увеличению его доступности для различных стран и регионов, и несомненно развитию энергетической отрасли и экономики.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Развитие технологий производства сжиженного природного газа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://chemtech.ru/razvitie-tehnologij-proizvodstva-szhizhennogo-prirodnogo-gaza/>.

2. Сжиженный природный газ: перспективы развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/179/46327/>.

3. Сжижение природного газа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nasslng.ru/assets/files/szhizhenie-prirodnogo-gaza.pdf>.

4. Технологический процесс APCI C3MR [Электронный ресурс]. Режим доступа: <s.econf.rae.ru/pdf/2017/01/6072.pdf>.

5. К.Ю.Горынцева, Технологический процесс Duple Mixed Refrigerant [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://portal.tpu.ru/SHARED/b/BVBORISOV/academic/TPP\\_in\\_KS/Tab2/DMG.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/b/BVBORISOV/academic/TPP_in_KS/Tab2/DMG.pdf).

6. Дорожкин В.Ю., Мастобаев Б.Н., К вопросу совершенствования и внедрения систем технологий сжижения природного газа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-sovshenstvovaniya-i-vnedreniya-sistem-tehnologiy-szhizheniya-prirodnogo-gaza>.

**УДК 621.31**

***Дробов А.В.<sup>1</sup>***

***Научный руководитель: Галушко В.Н.<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Филиал БГТУ «Гомельский государственный политехнический колледж»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный университет транспорта,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ**

Тема актуальна, так как разработка системы оценки технического состояния асинхронных двигателей электровозов и различных устройств локомотивного депо является важной задачей. Согласно информации по отказам асинхронных двигателей, установленных на

подвижном составе для электровозов ВЛ80С и БКГ приписки локомотивного депо Барановичи в период с 2014 по 2023 годы, можно выделить несколько причин и характер отказов. Это повышенная вибрация и шум подшипника или его полное разрушение, межвитковое замыкание обмотки статора, посторонний шум при работе электродвигателя, неисправности, которые можно отнести к ошибке обслуживающего персонала, пробой трехфазной обмотки статора, низкое сопротивление трехфазной обмотки статора, обрыв одной из фаз трехфазной обмотки статора, перегрев трехфазной обмотки статора, междуфазное короткое замыкание трехфазной обмотки статора и выплавление алюминия беличьей клетки ротора. Таким образом, важно разрабатывать и применять эффективные методы диагностики и оценки остаточного ресурса асинхронных двигателей, чтобы предотвратить возможные аварии и увеличить надежность работы электровозов.

Полученные данные указывают на то, что с увеличением размеров и мощности электродвигателей возрастают требования к подшипникам. Возможно, часть неисправностей происходит из-за дефектов в подшипниковых узлах. Подшипник должен обеспечивать свободное вращение ротора и поддерживать воздушный зазор между статором и ротором в пределах допустимых значений. Многие электродвигатели могут продолжать работу при диагностировании неисправностей на ранних стадиях, поэтому важно перейти к системе обслуживания оборудования на основе его технического состояния, а не на основе системы планово-предупредительных ремонтов [1].

Основной недостаток системы ППР заключается в ее не комплексном подходе к обслуживанию электрооборудования, что может привести к необоснованной трудоемкости ремонтов или к пропуску дефектов. При комплексном подходе следует учитывать факторы и параметры, которые могут влиять на возникновение отказов электродвигателей. В таблице 1 приведены основные неисправности и причины их возникновения для асинхронных приводов с короткозамкнутым ротором, используемых в локомотивных депо.

Существует несколько видов защиты электродвигателей, включая защиту от минимального напряжения, многофазных и однофазных коротких замыканий. Несмотря на это, существующая система технического диагностирования электродвигателей требует доработки. Это связано с тем, что используемая на практике нормативная документация по эксплуатации двигателей не учитывает современные методы технической диагностики, а также отсутствием современных знаний и низкой квалификации специалистов, принимающих решения.

Существуют автоматизированные системы диагностики, которые могут оценить текущее состояние оборудования без его отключения, выявить дефекты и дать технические рекомендации. Однако такие системы часто разрабатываются только для конкретного вида оборудования, что требует большой технической доработки для применения на других типах оборудования [2,3].

Чтобы избежать этого, можно использовать самообучающиеся интеллектуальные системы, основанные на искусственных нейронных сетях. Они унифицируют диагностические исследования и позволят оценивать множество факторов в динамике. Это приведет к оптимизации применения данных систем за счет простоты практического применения и устранения человеческого фактора при анализе результатов. С ростом числа исследований снижается вероятность ошибки, а системный подход позволяет оценивать множество факторов между собой в динамике [4,5,6].

Например, акустический метод контроля основан на измерении упругих колебаний объекта (мощности или амплитуды контролируемого сигнала) [7].

Этот метод применяется при анализе сигналов с датчиков вибрации и шума. Например, при магнитном насыщении сердечника искажается форма сигнала и увеличиваются составляющие вибрации на гармониках питающего напряжения. Технологии контроля и диагностики играют важную роль в различных отраслях промышленности, таких как авиация, энергетика, автомобильная промышленность и другие [8]. Они позволяют обнаруживать и предотвращать возможные неисправности и повреждения оборудования, что увеличивает его надежность и продолжительность эксплуатации.

Цель работы заключается в уменьшении количества отказов трансформаторов для повышения надежности системы электроснабжения железнодорожных потребителей и оценки остаточного ресурса эксплуатируемых АД. Гипотеза работы заключается в использовании искусственных нейронных сетей для диагностики и классификации неисправностей АД и оценки остаточного ресурса изоляции.

Работа направлена на повышение надежности системы электроснабжения и увеличение срока службы изоляции. Для этого используются различные методы диагностики, включая искусственные нейронные сети и метод измерения частичных разрядов.

Это говорит о том, что системы диагностики оборудования, используемые в Республике Беларусь, имеют недостатки, такие как



ориентация на решение конкретных задач, использование разнородной информации и отсутствие обучаемости. Однако, применение самообучаемых систем на основе искусственных нейронных сетей может устранить эти недостатки. Современные технологии, такие как искусственный интеллект и машинное обучение, позволяют создавать более точные и эффективные системы диагностики, что повышает надежность энергетических систем в целом.

Тепловой метод контроля – это способ выявления ненормального режима работы оборудования без необходимости выводить его из эксплуатации. С развитием искусственного интеллекта, нейронные сети стали широко применяться в практике для контроля состояния оборудования. В частности, сверточные нейронные сети могут использоваться для диагностики межвитковых замыканий в трансформаторах.

Это позволяет контролировать состояние обмотки трансформатора в режиме реального времени без вывода его из работы. Использование данной технологии не требует больших затрат, а эффект от ее применения значительный. Для предотвращения аварий и обеспечения безопасной эксплуатации оборудования необходимо проводить регулярную диагностику и контроль его состояния. Сверточные нейронные сети могут помочь автоматизировать этот процесс и обеспечить более быстрый и точный контроль за оборудованием.

Нейронные сети имеют скрытый характер функционирования, что может затруднять понимание критериев, используемых при работе. Однако, применение нейронных сетей может повысить точность моделирования за счет использования более гибких и мощных методов, чем классическая статистика. Также нейронные сети могут находить малоинформативные показатели и устанавливать взаимосвязи между группами показателей. Главным преимуществом нейронных сетей при диагностике аварийных ситуаций является их гибкость при большом потоке данных и информационном шуме. Однако, главный недостаток заключается в длительном времени обучения. Для сокращения времени обучения используются различные типы нейронных сетей, такие как обобщенно-регрессионная, вероятностная и адаптивная нечеткая нейронные сети. Чтобы использовать нейронную сеть прямого распространения при решении конкретной задачи, ее необходимо сначала обучить. Для этого на вход нейронной сети подаются исходные данные, а на выходе снимаются результирующие значения, которые сравниваются с требуемыми значениями. Если выходные значения нейронной сети отличаются от требуемых значений, то происходит оптимизация весов нейронной сети с помощью математических

алгоритмов до тех пор, пока эти значения не будут соответствовать заданной точности. Нейронные сети - это компьютерные системы, которые имитируют работу человеческого мозга. Они используются для решения различных задач, таких как распознавание образов, классификация данных, прогнозирование и диагностика. Нейронные сети могут обучаться на большом количестве данных и находить скрытые закономерности, которые не могут быть выявлены с помощью классических статистических методов. Задача заключается в создании программы, которая будет использовать обучающую последовательность для создания правила, которое позволит классифицировать новые "незнакомые" ситуации так же, как и учитель. Это позволит считать нейронную сеть обученной.

Определение состояния защищаемого объекта полностью соответствует задаче распознавания образов в общем виде. Для этого необходимо использовать самообучающиеся информационные технологии, что позволит идентифицировать динамические изменения состояния объекта. Для исследования был использован трехфазный АД. Оценка технического состояния АД проводится с использованием результатов опыта холостого хода, короткого замыкания, испытаний в динамическом режиме, измерений параметров обмоток и изоляции обмоток, температуры обмотки статора, оценки состояния подшипников, коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ), величины воздушного зазора между статором и ротором, коэффициентов абсорбции и поляризации. В ходе эксперимента при изменяющейся нагрузке выполнялось межвитковое замыкание витков одной из фаз статора. Таким образом, для решения задач распознавания состояний, описываемых множеством параметров, желательно применять самообучающиеся информационные технологии, что позволит идентифицировать динамические изменения состояния объекта.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яхья А.А. Байесовский классификатор как средство повышения эффективности распознавания дефектов в силовых трансформаторах. / А.А. Яхья, В.М. Левин // Проблемы энергетики. – 2019. – №21 (6). – С. 11–18.
2. Комбинированные системы сбора передачи технологической и диагностической информации АСУ ТП электроустановок / А.Н. Васев, Р.Ш. Мисбахов, А.И. Зиганшина и др. // Проблемы энергетики. – 2018. – №20 (11-12). – С.16–26.

3. Кубарев А.Ю. Методы исследования свойств дефектного электрооборудования / А. Ю. Кубарев, А. Б. Акпрова, Ю.Е. Кубарев // Проблемы энергетики. – 2018. – №20(3-4). – С108-115.

4. Хальясмаа А.И., Вопросы реализации оценки технического состояния силового оборудования на электрических подстанциях / А.И. Хальясмаа, С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев, М.В. Осотова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. - №1 (45). – С. 289-300.

5. Хальясмаа А.И. Предпосылки и причины применения методов искусственных нейронных сетей для анализа данных технической диагностики электрооборудования на ПС 35-110 кВ / А. И. Хальясмаа, С. А. Дмитриев, С.Е. Кокин // Научное обозрение. – 2013. – №2. – С. 126- 131.

6. Хальясмаа А.И. Оценка состояния силовых трансформаторов на основе анализа данных технической диагностики / А. И. Хальясмаа, С.А. Дмитриев, С.Е. Кокин, М.В. Осотова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия Энергетика. – 2013. – Том 13. – №2. – С. 114– 120.

7. Система перспективных методов и средств технического диагностирования машин и оборудования АПК: научный отчет. – М.: ГОСНИТИ, 1996. – 61 с.

8. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / А.А. Александров, А.В. Барков, Н.А. Баркова, В.А. Шафранский. – Л.: Судостроение, 1986. – 121 с.

**УДК 621.316**

**Дьяков Д.Ю.**

*Научный руководитель: Прасол Д.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОЦЕНКА КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Для систем электроснабжения промышленных предприятий в настоящее время, как правило, используются сети среднего напряжения 6-10 кВ, а наиболее распространенной схемой электроснабжения является схема с изолированной нейтралью. Серьезную опасность для электрообеспечения таких систем представляют токи коротких замыканий, наибольшие величины которых достигаются при трехфазных КЗ. Возникновение высоких значений токов КЗ приводит к

большим изменениям и колебаниям режимных параметров, вызывающим повреждение оборудования, отключение и погашение большого числа электроприемников, что в масштабах больших производств сопровождается тяжелыми экономическими и социальными последствиями. Для защиты систем от токов КЗ используются специальные защитные устройства и аппараты, которые должны соответствовать условиям выбора и проверки.

Настройка и координация защитных устройств, конструирование защитных элементов распределительных устройств проводится на основе расчета токов КЗ и тщательного анализа переходных процессов для каждой системы электроснабжения. На практике при выборе защит зачастую исходят из упрощенных методик расчета, основанных на значительных допущениях и не учитывающих в полной мере особенностей конкретной схемы, например, токов подпитки от электродвигателей. Кроме того, внедрение новых мощных электроприемников в промышленных сетях, многие из которых стали широко применяться в последние годы, требует замены и модернизации защитного оборудования [1, 2]. В связи с этим, получение наиболее точных результатов расчетов токов коротких замыканий в сетях 6-10 кВ и последующая их оценка является необходимым этапом для создания надежных защит в усложняющихся электроэнергетических системах промышленных предприятий.

Оценка токов КЗ в системе электроснабжения промышленного предприятия проводится на примере фрагмента схемы электроснабжения крупного рудодобывающего предприятия (рис. 1).

На фрагменте схемы электроснабжения представлены две секции (К1.1 и К1.2) распределительного устройства 6 кВ главной понизительной подстанции рудника. В нормальном режиме секции К1.1 и К1.2 работают раздельно, секционный выключатель отключен. В аварийном режиме, при отключении, например, одного из трансформаторов, секционный выключатель включается, и секции работают совместно.

Основной особенностью фрагмента схемы, представленной на рис. 1, является наличие синхронных и асинхронных двигателей, которые представляют собой источники ЭДС и будут увеличивать ток трехфазного КЗ от системы на величину токов подпитки.

В качестве примера рассматриваются токи КЗ, возникающие при аварийном режиме работы ЭЭС в различных точках  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ . Точка  $K_1$  – на вводе подстанции ТП-303,  $K_2$  – на секции распределительного устройства,  $K_3$  – на вводе электродвигателя мощностью  $P_H = 1250$  кВт. Схема замещения представлена на рис. 2.

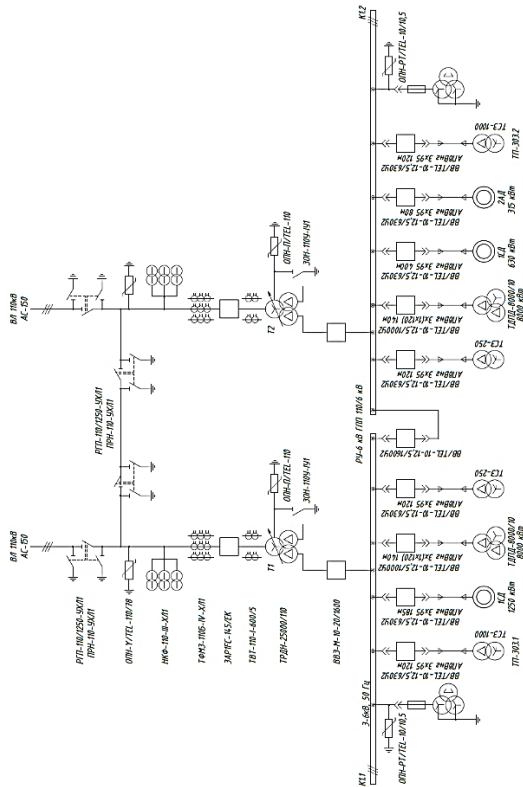


Рис. 1 Фрагмент однолинейной схемы электроснабжения рудника

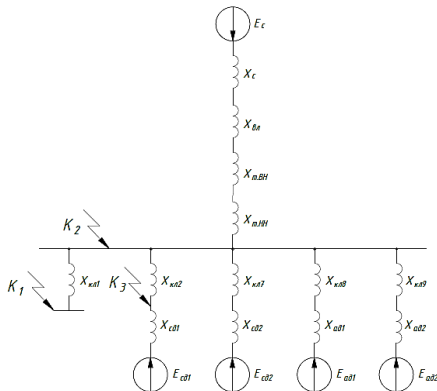


Рис. 2 Схема замещения с указанием расчетных точек КЗ

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ от системы [3, 4]:

$$I_{п.0.с}^{(3)} = \frac{E_*'' \cdot I_6}{x_{*рез}}, \quad (1)$$

где  $E_*''$  – сверхпереходная ЭДС системы, о.е.;  $x_{*рез}$  – результирующее сопротивление до точки КЗ, о.е.;  $I_6$  – базовый ток, определяемый по формуле:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (2)$$

Начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ от синхронных и асинхронных электродвигателей:

$$I_{п.0.дв}^{(3)} = \frac{E_{*дв}'' \cdot I_6}{x_{*дв} + x_{*\Sigma}} \quad (3)$$

где  $E_{*дв}''$  – сверхпереходная ЭДС электродвигателя, о.е.;  $x_{*дв}$  – сопротивление электродвигателя, о.е.;  $x_{*\Sigma}$  – суммарное сопротивления цепи, включенной между электродвигателем и точкой КЗ, о.е.

Начальное значение периодической составляющей тока КЗ с учетом подпитки от двигателя:

$$I_{п.0}^{(3)} = I_{п.0.с}^{(3)} + I_{п.0.дв}^{(3)}, \quad (4)$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{п.0}^{(3)} \cdot k_y, \quad (5)$$

где  $\sqrt{2} \cdot I_{п.0}^{(3)}$  – амплитудное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ;  $k_y$  – ударный коэффициент, определяемый по формуле:

$$k_y = 1 + e^{-0,01/T_a}, \quad (6)$$

где  $T_a$  – эквивалентная постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, с, определяется в зависимости от местоположения расчетной точки КЗ [5].

Условие для проверки установленного выключателя по условию электродинамической стойкости:

$$i_{пр.скв.} \geq i_{уд}, \quad (7)$$

где  $i_{пр.скв.}$  – номинальный ток электродинамической стойкости выключателя (предельный сквозной ток),  $i_{пр.скв.} = 32$  кА для ВВ/TEL-10-12,5 [6].

Для проверки на термическую стойкость определяется расчетный тепловой импульс тока КЗ [7]:

$$B_k = I_{п.0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \quad (8)$$

где  $t_{откл}$  – расчетная продолжительность короткого замыкания, с, определяемая по формуле:

$$t_{откл} = t_{р.з} + t_{п.о}, \quad (9)$$

где  $t_{р.з}$  – время действия релейной защиты с учетом селективности, с;  $t_{п.о}$  – полное время отключения выключателя,  $t_{п.о} = 0,025$  с для ВВ/TEL-10-12,5 [6].

Условие для проверки установленного выключателя по условию термической стойкости:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_K, \quad (10)$$

где  $I_{тер}$  – ток термической стойкости выключателя,  $I_{тер} 12,5$  кА для ВВ/TEL-10-12,5 [6];  $t_{тер}$  – время, в течение которого выдерживается ток термической стойкости,  $t_{тер} = 3$  с для ВВ/TEL-10-12,5 [6].

Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета

Точка КЗ	$I_{п.о.с}^{(3)}$ , кА	$I_{п.о.дв}^{(3)}$ , кА	$I_{п.о}^{(3)}$ , кА	$k_y$	$i_y$ , кА	$B_K$ , (кА) <sup>2</sup> с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$ , (кА) <sup>2</sup> с
К1	10,751	1,747	12,48	1,779	31,44	88,24	468,75
К2	10,886	1,748	12,634	1,779	31,78	90,18	468,75
К3	10,679	1,749	12,428	1,779	31,26	87,27	468,75

Как видно из таблицы, начальное значение периодической составляющей тока КЗ в точке К2 превышает номинальный ток отключения выключателей ВВ/TEL-10-12,5  $I_{откл.ном} = 12,5$  кА, установленных на отходящих линиях (рис. 3). Остальные показатели для всех расчетных точек находятся в пределах выполнения условий проверки.

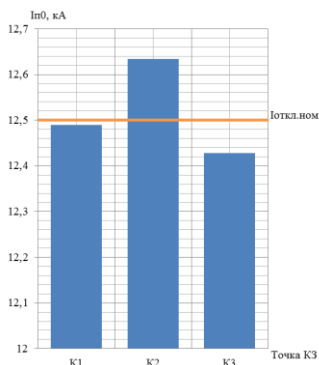


Рис. 3 Гистограмма начальных периодических составляющих токов КЗ

В сети среднего напряжения 6 кВ рудника с изолированной нейтралью значение тока КЗ для одной из расчетных точек превысило номинальное значение тока отключения выключателя, установленного на отходящих линиях распределительного устройства. Это говорит о потенциальной опасности возникновения такой ситуации и необходимости замены данного выключателя на выключатель с большим током отключения, например, в данном случае на ВВ/TEL-10-20/630 с током отключения  $I_{\text{откл.ном}} = 20$  кА.

Результаты проведенного расчета показывают, что на величину тока короткого замыкания в промышленных ЭЭС значительное влияние оказывают токи подпитки от мощных высоковольтных синхронных и асинхронных электродвигателей. Таким образом, расчет токов КЗ является важным этапом в планировании современных электрических сетей предприятий и объектов, по результатам которого осуществляется выбор защитных аппаратов и настройки релейной защиты для каждого из участков электрической сети. Получение наиболее точных результатов с помощью учета особенностей схемы, расположения выключателей и характера нагрузок увеличит надежность и безопасность усложняющихся в настоящее время электроэнергетических систем промышленных предприятий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербух М.А., Прасол Д.А. Анализ электромагнитной совместимости сети высокого напряжения горнорудного предприятия // Энергетик. 2018. № 2. С. 36–41.
2. Авербух М.А., Погорелов А.В., Прасол Д.А. Минимизация потерь мощности при несинусоидальных режимах в высоковольтных рудничных сетях // Промышленная энергетика. 2018. № 7. С. 38–46.
3. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М.: Изд-во стандартов, 2001. 150 с.
4. ГОСТ 52735-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. М.: Стандартинформ, 2007. 42 с.
5. Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 448 с.
6. Вакуумные выключатели серии ВВ/TEL [Электронный ресурс]: руководство по эксплуатации. – «Таврида Электрик», 2015. 54с. – URL:



[https://energobastion.ru/f/tip\\_solution/bb\\_tel\\_02/shema\\_1.pdf](https://energobastion.ru/f/tip_solution/bb_tel_02/shema_1.pdf) (дата обращения: 10.05.2023).

7. Правила устройства электроустановок [Текст]: все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2016 года. М.: КНОРУС, 2016. 488 с.

УДК 621.316

Дьяков Д.Ю.

*Научный руководитель: Прасол Д.А., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ОЦЕНКА ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Основной особенностью современных электрических сетей промышленных предприятий является наличие единичных мощных электроприемников с нелинейной нагрузкой. Так, значительная доля установленной мощности электроприемников, используемых в рудодобывающем производстве – это приводы электродвигателей подъемных машин, нагнетателей воздуха, мельниц, компрессоров и насосов технологического назначения. Характерный узел нагрузки рудодобывающего предприятия представлен на рис. 1.

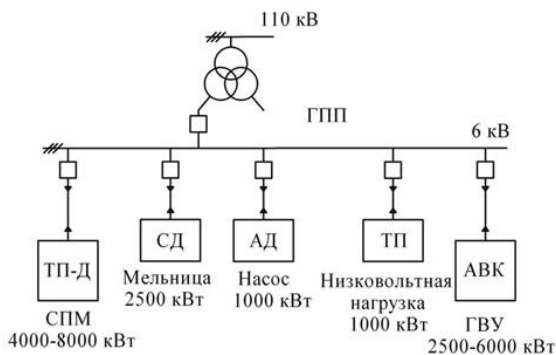


Рис. 1 Характерный узел нагрузки рудодобывающего предприятия

К основным электроприемникам таких предприятий относятся:

1. Электроприводы подъемных установок мощностью 4000-8000 кВт, выполненные по схеме тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока (ТП-Д).

2. Электроприводы переменного тока вентиляторов главного проветривания на базе асинхронных двигателей с фазным ротором, собранных по системе асинхронно-вентильных каскадов (АВК) мощностью 2500-6000 кВт.

3. Электроприводы компрессоров, дробильных комплексов, насосов на базе асинхронных двигателей с прямым пуском или синхронных двигателей с тиристорным регулятором возбуждения мощностью 1000-2500 кВт.

Применение подобной силовой преобразовательной техники приводит к генерированию в сеть высших гармонических составляющих, что в свою очередь увеличивает токи ОЗЗ, которые в настоящее время являются наиболее распространенным видом повреждения в электроэнергетических системах (ЭЭС), на который приходится порядка 70-90% всех повреждений [1]. В связи с этим возникает необходимость в проведении расчетов токов ОЗЗ с учетом характерных особенностей устройства ЭЭС промышленных предприятий для обеспечения соответствующих мер защиты и предотвращения перетекания ОЗЗ в аварийный режим короткого замыкания (КЗ).

Оценка токов ОЗЗ и токов ВГ в системе электроснабжения промышленного предприятия проводится на примере фрагмента схемы электроснабжения крупного рудодобывающего предприятия (рис. 2).

На фрагменте схемы электроснабжения представлены две секции (К1.1 и К1.2) распределительного устройства 6 кВ главной понизительной подстанции рудника. В нормальном режиме секции К1.1 и К1.2 работают раздельно, секционный выключатель отключен. В аварийном режиме, при отключении, например, одного из трансформаторов, секционный выключатель включается, и секции работают совместно.

Токи ОЗЗ в рассматриваемой ЭЭС рассчитаны с помощью программного комплекса «EnergyCS», предназначенного для расчёта токов короткого замыкания и токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью. В модуле EnergyCS ТКЗ формируется расчетная модель (рис. 3), в которой задаются исходные данные из заданной базы данных. На основе полученной модели производится высокоточный расчет искомых параметров и токов.

Результаты расчёта емкостных токов ОЗЗ в программном комплексе EnergyCS ТКЗ представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета токов ОЗЗ

Параметр	Нормальные режимы		Аварийный режим
	I с. ГПП	II с. ГПП	I с. ГПП + II с. ГПП
Юс, А	1,01	1,77	2,77

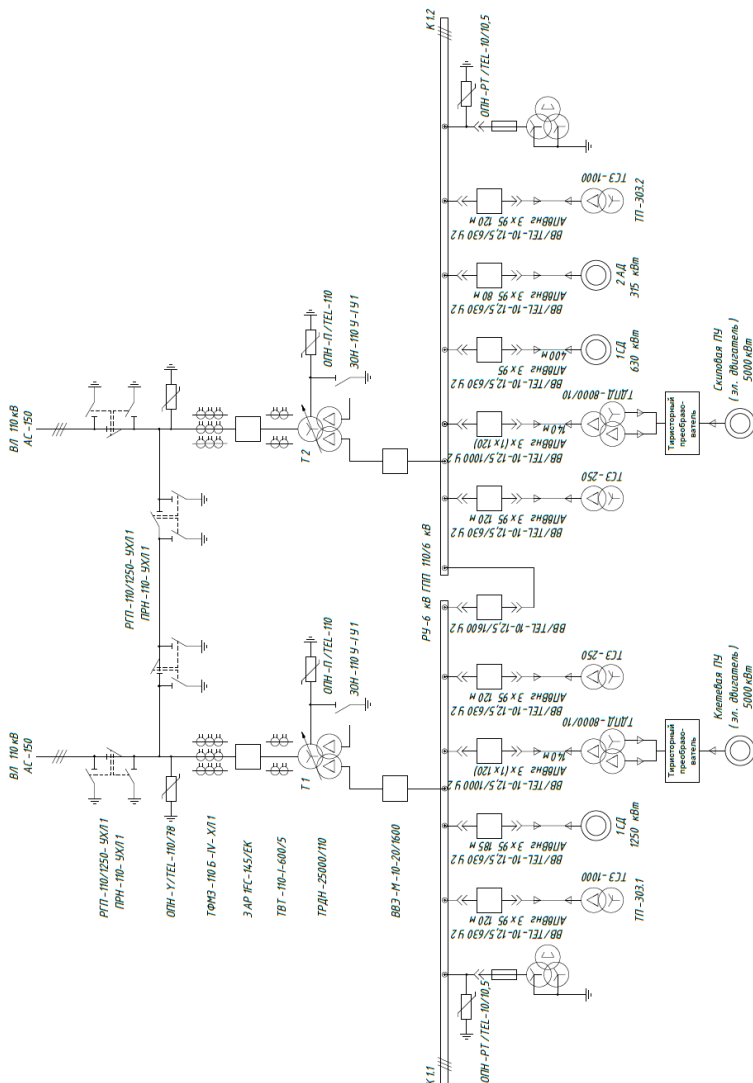


Рис. 2 Фрагмент однолинейной схемы электроснабжения рудника

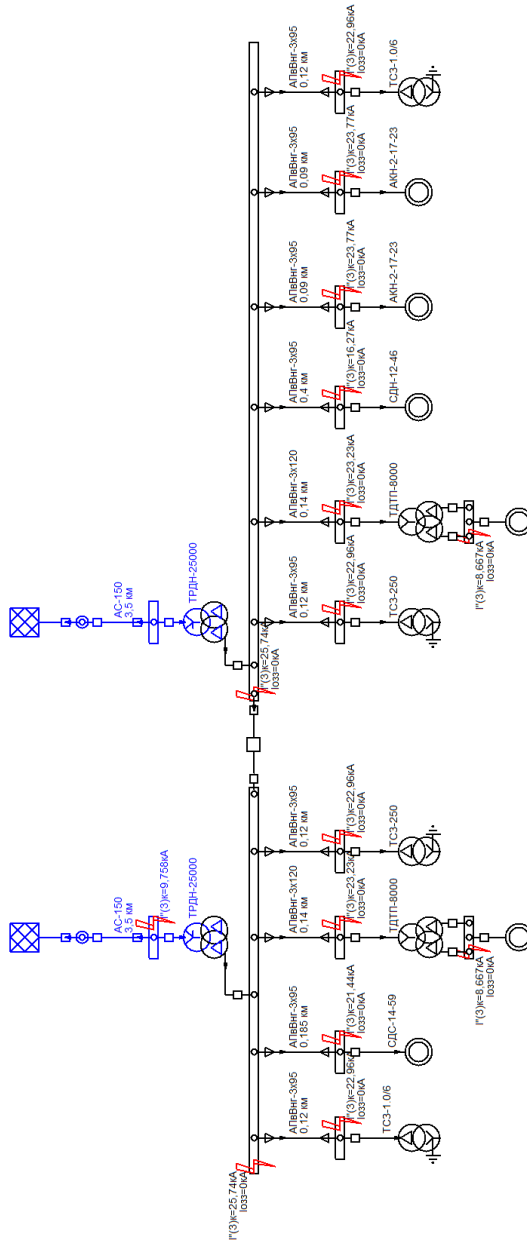


Рис. 3 Модель системы электроснабжения

Так как в исследуемой системе электроснабжения присутствуют мощные нелинейные электроприемники – клетевая и скиповая подъемные установки, электроприводы которых выполнены по системе тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, являющиеся источниками генерации высших гармоник в сеть, то при расчёте токов ОЗЗ требуется учитывать токи высших гармоник. В частности, при расчете учитываются гармоники кратные трем, так как они оказывают наибольшее влияние на величину токов ОЗЗ.

Значения токов соответствующих гармоник рассчитываются по формуле:

$$I_n = \frac{K_{I(n)}}{100} \cdot I_1, \quad (1)$$

где  $K_{I(n)}$  – коэффициент гармонической составляющей, значения которого представлены в табл. 2 по данным для горнодобывающего предприятия с аналогичными скиповыми и клетевыми ПУ [1].

Таблица 2 – Коэффициенты гармонических составляющих по току

ПУ	К <sub>I</sub> , %	I <sub>(1)</sub> , А	K <sub>I(3)</sub> , %	K <sub>I(9)</sub> , %	K <sub>I(15)</sub> , %	K <sub>I(21)</sub> , %	K <sub>I(27)</sub> , %	K <sub>I(33)</sub> , %	K <sub>I(39)</sub> , %
Скиповая	8,0	425,8	0,9	0,7	0,6	0,5	0,12	0,3	0,3
Клетевая	9,37	438,8	1,32	1,85	1,35	1,57	1,12	1,25	0,89

Например, ток третьей гармоники при учете тока первой гармоники  $I_1 = 425,8$  А рассчитывается следующим образом:

$$I_3 = \frac{0,9}{100} \cdot 425,8 = 3,832 \text{ А}$$

Значение тока искажения, создаваемого гармониками кратными трем, рассчитывается по формуле:

$$I_{и.n=3} = \sqrt{\sum_{i=1}^{3n} I_i^2} = \sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + I_{21}^2 + I_{27}^2 + I_{33}^2 + I_{39}^2}, \quad (2)$$

Результаты расчета значений токов высших гармонических составляющих кратных трем, а также значений токов искажения, создаваемых этими гармониками, приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта токов ВГ и токов искажения

ПУ	I <sub>(1),</sub> А	I <sub>(3),</sub> А	I <sub>(9),</sub> А	I <sub>(15),</sub> А	I <sub>(21),</sub> А	I <sub>(27),</sub> А	I <sub>(33),</sub> А	I <sub>(39),</sub> А	I <sub>И.н=3,</sub> А
Скиповая	425,8	3,83	2,98	2,55	2,13	0,51	1,28	1,28	6,18
Клетевая	438,84	5,79	8,11	5,92	6,89	4,91	4,49	3,91	15,86

Учет высших гармоник, кратных трем, осуществляется по формуле:

$$I_{Ci} = \sqrt{I_{0C}^2 + I_{И.н=3}^2}, \quad (3)$$

Одновременная работа скиповой и клетевой ПУ исключена. Поэтому в сеть 6 кВ возможно генерирование ВГ составляющих токов кратных трем только одной подъемной установкой.

Результаты расчета токов однофазного замыкания на землю с учетом ВГ составляющих токов кратных трем для разных режимов представлены в табл. 4.

Таблица 4 – Результаты расчета токов ОЗЗ с учётом токов ВГ

Нормальные режимы		Аварийные режимы	
I с. ГПП + СПУ	II с. ГПП + КПУ	I с. ГПП + II с. ГПП + КПУ	I с. ГПП + II с. ГПП + СПУ
I <sub>c</sub> , А			
6,245	15,885	16,073	6,71

По полученным значениям емкостных токов ОЗЗ с учётом токов ВГ построена гистограмма токов ОЗЗ для всех рассмотренных режимов (рис. 4).

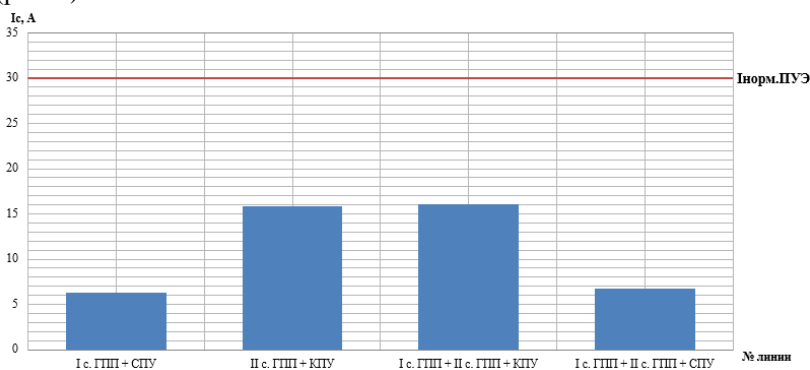


Рис. 4 Результаты расчёта токов ОЗЗ с учётом токов искажений

Таким образом, определены суммарные токи ОЗЗ с учетом токов высших гармонических составляющих кратных трём, генерируемые электроприводами подъемных установок, на основе данных экспериментальных исследований. Согласно табл. 4, максимальный ток ОЗЗ с учётом ВГ составляющих токов кратных трем в аварийном режиме составил  $I_{с.а} = 16,073$  А. Значение не превышает установленной нормативами величины 30 А (см. рис. 3) для сетей напряжением 6 кВ [5], что говорит о том, что применение изолированной нейтрали целесообразно в данной системе электроснабжения.

Тем не менее из проведенных расчетов установлено, что токи высших гармонических составляющих кратных трём могут в несколько раз увеличивать токи однофазного замыкания на землю, которые используются для отстройки уставок защит электрооборудования в сетях с изолированной нейтралью. Токи ОЗЗ в таких сетях с большей вероятностью могут перейти в многофазные КЗ, которые приводят к большим изменениям и колебаниям режимных параметров ЭЭС, вызывающих повреждение оборудования, отключение и погашение большого числа электроприемников, что в масштабах больших производств сопровождается серьезными экономическими последствиями. Точные результаты расчетов токов ОЗЗ с учетом особенностей схемы, установленного оборудования и характера нагрузок позволят повысить уровень защиты ЭЭС и увеличить надежность и безопасность усложняющихся в настоящее время электроэнергетических систем промышленных предприятий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербух, М.А. Анализ электромагнитной совместимости сети высокого напряжения горнорудного предприятия / М.А. Авербух, Д.А. Прасол // Энергетик. – 2018. – № 2. – С. 36–41.
2. Авербух, М.А. Минимизация потерь мощности при несинусоидальных режимах в высоковольтных рудничных сетях / М.А. Авербух, А.В. Погорелов, Д.А. Прасол // Промышленная энергетика. – 2018. – № 7. – С. 38–46.
3. Боева, Л. В. Имитационная модель однофазного замыкания на землю в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью / Л.В. Боева, Г.Ю. Киселёв // Молодой ученый. – 2017. – № 22 (156). – С. 26-30. – URL: <https://moluch.ru/archive/156/44183> (дата обращения: 12.05.2022).

4. Дударев, Л.Е. Автоматизация и оптимизация режимов электрических систем и приводов / Л.Е. Дударев, Н.М. Лукьянцев. – Донецк: ДПИ, 1971. – 232 с.

5. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2016 года. – Москва: КноРус, 2016. – 487 с.

#### *УДК 62-573.2*

*Еремочкин С.Ю., Дорохов Д.В., Жуков А.А.  
Алтайский государственный технологический университет  
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия*

### **УСТРОЙСТВО БЕСКОНДЕНСАТОРНОГО ЗАПУСКА ОДНОФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В настоящее время однофазный асинхронный электропривод используется в механизмах, задействованных практически во всех сферах человеческой деятельности: в быту, производстве, строительстве, сельском хозяйстве и т.д.

Электропривод является сложной электромеханической системой, к основным составляющим которой относятся: преобразовательное устройство, электродвигатель, передаточное устройство, система управления и защиты [1].

Современные системы электропривода должны соответствовать ряду требований:

1. иметь возможность регулирования направления вращения и скорости двигателя;
2. обладать повышенной надежностью;
3. соответствовать требованиям безопасности;
4. обладать простотой в эксплуатации [2].

Однофазный ток не создает вращающегося магнитного поля, в связи с чем, однофазные асинхронные электродвигатели не имеют пускового вращающего момента. Для создания сдвига фаз между токами статорных обмоток однофазного двигателя, как правило, включается конденсатор. При этом, электропривод имеет низкие энергетические показатели, а также большие габариты [3].

На рисунке 1 представлена принципиальная электрическая схема устройства бесконденсаторного пуска однофазного асинхронного электродвигателя [4].



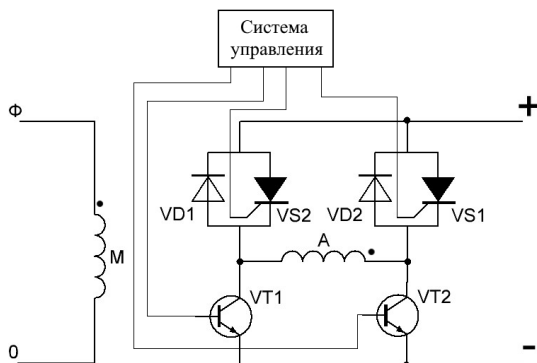


Рис. 1 Принципиальная электрическая схема устройства

В разработанном устройстве бесконденсаторного пуска первая обмотка статора получает питание напрямую от однофазной сети переменного тока, вторая обмотка коммутруется при помощи полупроводниковых ключей от сети постоянного тока. Устройство содержит две пары полупроводниковых ключей, при этом, в каждой паре первый полупроводниковый ключ выполнен на основе биполярного транзистора n-p-n типа, второй – на основе встречно соединенных тиристора и диода. Таким образом, производя коммутацию транзисторов (VT1-VT2) и тиристоров (VD1-VD2) в определенной последовательности, возможно регулировать направление протекания тока по второй статорной обмотке в любой момент времени, тем самым создавая различные направления суммарного вектора магнитодвижущей силы в статоре асинхронного электродвигателя.

С целью исследования работы однофазного электропривода с предложенным устройством бесконденсаторного пуска была разработана компьютерная имитационная модель в среде SimInTech, а также получены графики переходных процессов основных электромеханических характеристик привода [2].

На рисунке 2 приведен график переходного процесса изменения во времени крутящего момента на валу электродвигателя при пуске и работе под нагрузкой. В интервале времени моделирования от 0 с и до 3 с происходит переходной процесс пуска электродвигателя под нагрузкой. До момента времени равного 0,4 с наблюдаются наиболее сильные колебания момента, затем момент приходит к установившемуся значению в 0,45 Нм, что является пусковым моментом электродвигателя.

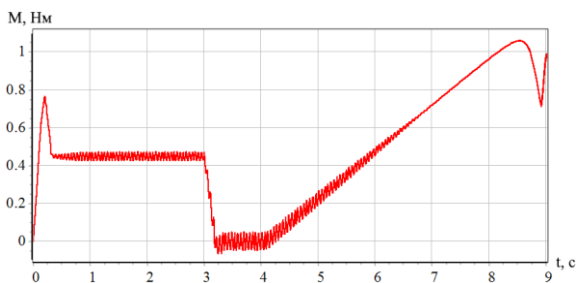


Рис. 2 График переходного процесса изменения крутящего момента вала электродвигателя при пуске и работе под нагрузкой

В интервале времени моделирования от 3 с и до 4 с происходит переходной процесс после снятия пускового момента и работы электродвигателя на холостом ходу. В период от 4 с до 8,5 с на вал двигателя подается линейно нарастающая нагрузка (нарастание 0,25 Нм в секунду). В момент времени, равный 8,5 с происходит "опрокидывание" электродвигателя, при этом максимальный момент нагрузки на валу равен 1,08 Нм.

На рисунке 3 приведен график переходного процесса изменения во времени угловой скорости вала электродвигателя при пуске и работе под нагрузкой.

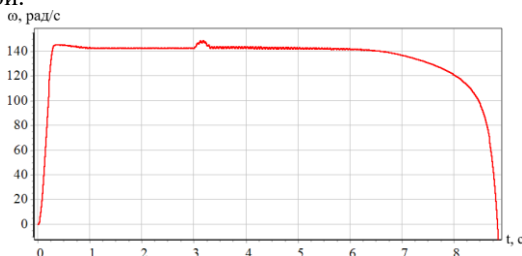


Рис. 3 График переходного процесса изменения угловой скорости вала электродвигателя при пуске и работе под нагрузкой

В интервале времени моделирования от 0 с и до 3 с происходит процесс изменения угловой скорости при пуске электродвигателя под нагрузкой. Время пуска электродвигателя составляет 0,4 с. В интервале времени моделирования от 3 с и до 4 с происходит переходной процесс после снятия пускового момента и работы электродвигателя на холостом ходу. В период от 4 с до 8,5 с на вал двигателя подается линейно нарастающая нагрузка (нарастание 0,25 Нм в секунду), при этом происходит незначительное изменение угловой скорости вала двигателя. В момент времени, равный 8,5 с угловая скорость резко

уменьшается до нуля, что соответствует останову двигателя в результате перегрузки.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что разработанное устройство может быть использовано в электроприводе для бесконденсаторного пуска однофазного асинхронного электродвигателя в тех случаях, когда нет необходимости в регулировании скорости вращения двигателя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еремочкин, С. Ю. Исследование однофазного электропривода молочного насоса доильной установки с помощью компьютерного моделирования / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков // Вестник аграрной науки Дона. – 2022. – Т. 15, № 4(60). – С. 69-81. – DOI 10.55618/20756704\_2022\_15\_4\_69-81.

2. Еремочкин, С. Ю. Разработка и исследование однофазного асинхронного электропривода сельскохозяйственной машины с полупроводниковым устройством регулирования скорости / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 10(216). – С. 89-100. – DOI 10.53083/1996-4277-2022-216-10-89-100.

3. Еремочкин, С. Ю. Повышение эффективности мобильных машин в апк на основе векторно-алгоритмического управления электродвигателем [Текст]: дис.....канд. техн. наук: 05.20.02 / С. Ю. Еремочкин. – Барнаул, 2014. – 151 с.

4. Патент на полезную модель № 215764 U1 Российская Федерация, МПК H02P 1/42. Реверсивное полупроводниковое устройство бесконденсаторного запуска однофазного двухобмоточного асинхронного электродвигателя : № 2022125273 : заявл. 26.09.2022 : опубл. 26.12.2022 / С. Ю. Еремочкин, Д. В. Дорохов, А. А. Жуков.

УДК 662.93(076)

**Жданов А.А., Руколеев А.В., Петреков П.В.**

*Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, г. Бийск, Россия*

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА С РУЧНОЙ ПОДАЧЕЙ ТОПЛИВА

При эксплуатации водогрейных котлов слоевого сжигания с ручной подачей топлива на каменном/буром угле или(и) дровах, как

правило, используется минимальный набор приборов для наблюдения за параметрами работы котла. Этими приборами являются термометры, указывающие температуру теплоносителя на входе в котёл и на выходе из котла, а также манометры, указывающие давление теплоносителя до и после котла. Используя только эти приборы в эксплуатации котла вполне достаточно обеспечить необходимый температурный режим отапливаемых площадей, но НЕ достаточно, для того, чтобы обеспечить энергоэффективную и экологичную работу котельного агрегата.

В настоящее время при проектировании и эксплуатации котельных агрегатов необходимо учитывать и руководствоваться требованиями по энергоэффективности – ГОСТ Р 31607-2012 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения» и ФЗ №261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», а также требованиями к ПДВ (предельно допустимые выбросы) – ГОСТ Р 50831-95 «Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования», ГОСТ Р 55173-2012 «Установки котельные. Общие технические требования» и ГОСТ Р 58577-2019 «Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими субъектами и методы определения этих нормативов». [1,2,3,4,5]

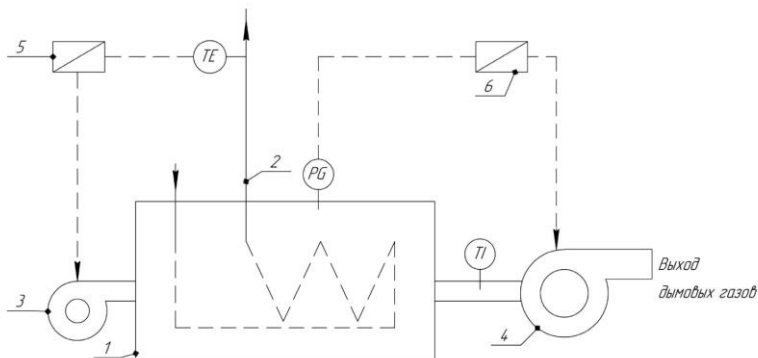
Вполне естественно возникает вопрос: «Каким образом возможно привести в соответствие и с минимальными затратами работу водогрейных котлов слоевого сжигания с ручной подачей топлива на каменном/буром угле или(и) дровах?» Очевидно, что необходимо, на сколько это возможно, максимально автоматизировать и отладить режим горения топлива, который бы обеспечивал полное и правильное его сгорание. Для этого необходимо выполнить четыре условия. Первое условие — это установить датчик значения температуры теплоносителя на выходе из котла. Второе - проверить соответствие производительности и напора вентилятора поддува техническим параметрам котла и характеристикам топлива. Третье – обеспечить уравновешенную тягу в газоздушном тракте котла с разряжением в размере 20 Па (2 мм рт.ст.). Это условие выполняется установкой тягонапоромера, который обеспечит связанную работу вентилятора поддува и дымососа. И четвёртое – установка датчика температуры уходящих газов. [6]

При выполнении вышеуказанных условий мы получаем следующую схему работы котла:

- в зависимости от температуры теплоносителя на выходе ПИД-регулятором частотного преобразователя автоматически устанавливаются обороты вентилятора поддува;

- тягонапоромер в газоходе за котлом передаёт сигнал ПИД-регулятору частотного преобразователя дымососа, автоматически устанавливающего его обороты.

Алгоритм работы котельного агрегата с вышеописанной конфигурацией системы автоматизации и контроля:



1 – котел водогрейный

2 – теплоноситель

3 – вентилятор поддува

4 – дымосос

5 – преобразователь частотный с ПИД-регулятором вентилятора поддува

6 – преобразователь частотный с ПИД-регулятором дымососа

Рис. 1 Схема котельного агрегата

1. Оператор осуществляет растопку котла в ручном режиме работы вентилятора до заданной температуры теплоносителя, обороты вентилятора поддува регулируются с учётом значения температуры уходящих газов которое не должно превысить пороговое значение дымосос при этом работает в автоматическом режиме.

2. При достижении теплоносителем заданной температуры производится переключение в автоматический режим, при котором заданная температура теплоносителя поддерживается необходимой интенсивностью горения топлива, путём регулирования количества подаваемого в топку воздуха и удаляемых из котла уходящих газов;

Необходимо отслеживать значения температуры теплоносителя и температуры уходящих газов в соответствии с режимной картой, а

также интенсивность горения топлива в топке котла для того, чтобы вовремя осуществлять очередную загрузку топлива;

В процессе дальнейшей эксплуатации в случае, если теплоноситель требуемой температуры не достигает, а температура уходящих газов начинает превышать предельно допустимое значение, то значит, что достигнут предел действительной мощности данного котла (при этом действительная мощность должна соответствовать мощности указанной в паспорте котла) и необходимо готовить запуск второго котла для поднятия температуры теплоносителя до нужного значения. [7]

3. Здесь необходимо особо отметить, что если выявляется несоответствие паспортной и действительной мощности котла(ов) на что указывает постоянное превышение максимально допустимой температуры уходящих газов, то причиной является необходимость механической очистки наружных поверхностей нагрева от золы и сажи или(и) химической промывки внутренних поверхностей нагрева котла от накипи.

4. Если в процессе дальнейшей эксплуатации значение температуры теплоносителя находится на необходимом уровне, но при этом значение температуры уходящих газов приближается к значению «точки росы» указанному в паспорте котла, то необходимо выполнить останов одного из двух котлов и осуществлять дальнейшую работу на одном котельном агрегате.

Практика показывает, что данная незначительная модернизация в системе управления работой котла с ручной подачей топлива даёт экономию топлива не менее 30%, уменьшает физические усилия в работе оператора на тот же процент, обеспечивает увеличение срока эксплуатации котельного агрегата не менее, чем в 2-а раза, даёт возможность эксплуатировать котёл в равномерном режиме, что отразится на устойчивой и постоянной температуре в отапливаемых помещениях. Так же при помощи данной конфигурации системы автоматизации и контроля возможна проверка вновь устанавливаемого или заменяемого котельного агрегата на соответствие его паспортным характеристикам, что является надёжным способом избежать обмана в случае завышения действительной мощности котла заводом-изготовителем.

Таким образом, суммируя все вышеперечисленные выгоды, приходим к выводу, что эксплуатирующая организация, выполняя мероприятия по энергоэффективности и экологичности работы котельного агрегата получает не только экономию финансовых средств в размере,кратно превышающем вложения в эти мероприятия, но и

уверенность в предсказуемой и надёжной работе имеющихся котельных агрегатов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ Р 31607-2012 «Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения».

2. ФЗ №261 от 23.11.2009 г. «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности».

3. ГОСТ Р 50831-95 «Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования».

4. ГОСТ Р 55173-2012 «Установки котельные. Общие технические требования».

5. ГОСТ Р 58577-2019 «Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими субъектами и методы определения этих нормативов».

6. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод); издание третье дополненное НПО ЦКТИ: СПб.– 1998; 260 с.

7. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок: учеб. пособие. - 5-е изд., перераб. и доп./ВШТЭ СПбГУПТД.: -СПб., 2018.- 200 с.

*УДК 621.311*

*Жилин Е.В., Доценко О.В., Сибирцева Н.Б.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСА**

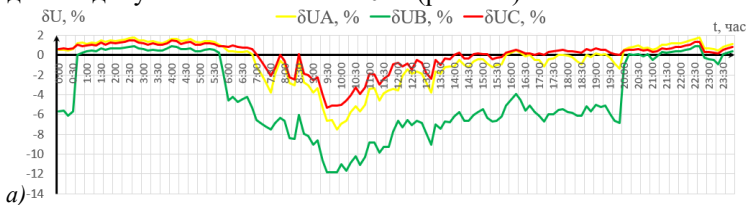
Современные тепличные комплексы представляют собой энергоёмкие системы. Основными потребителями электроэнергии в них являются вентиляционная система, которая обеспечивает поддержание микроклимата путем использования штормоустойчивого механизма скольжения и горизонтального теплозащитного и светоотражающего штормного экрана. Каждая конструкция механизма обеспечивает одновременное перемещение экрана во всех пролетах при помощи двигателя. Также система капельного полива, включающая автоматизированную насосную станцию с пультом управления подачи воды и удобрений; система освещения и досветки с

применением дуговых натриевых зеркальных (ДНаЗ) ламп с пускорегулирующей аппаратурой.

Перечисленные электроприемники, содержат в своей структуре полупроводниковые элементы, с нелинейными вольтамперными характеристиками, что приводит к генерации высших гармоник напряжения и тока в сети. Однофазность большинства электроприемников вызывает несимметрию токов и напряжений в электрической сети. Наличие высших гармоник напряжения и тока, а также несимметрии приводят к возникновению ряда нежелательных последствий, включая повышение потерь энергии в трансформаторах и распределительной сети, перегрев электродвигателей, трансформаторов и кабелей, вибрацию и шум, ухудшение работы систем автоматики, телемеханики и связи, затруднение компенсации реактивной мощности батареями конденсаторов и возникновение резонансных явлений на высших гармониках [1, 2]. Поэтому актуальной является задача мониторинга основных параметров сети и показателей качества электроэнергии, анализ результатов которого позволит разработать мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности систем электроснабжения тепличных комплексов.

Для оценки качества электроэнергии проводились измерения при помощи сертифицированного прибора «Энергомонитор 3.3Т1» на шинах низкого напряжения трансформатора ТМ - 250/10/0,4 питающего тепличный комбинат ООО «Разуменское», п. Северный Белгородской области. Он позволяет производить измерения и регистрацию показателей качества электроэнергии согласно [3], а также фиксирует другие электрические параметры сети: напряжения, токи, мощности и т. д.

Результаты экспериментальных исследований в виде суточного графика фазных и линейных напряжений сети 0,4 кВ показали, что суточные отклонения фазных напряжений, в утренние часы, достигают до 12 % (рис. 1 а), а отклонения линейных напряжений достигают предельно допустимого значения 10 % (рис. 1 б).





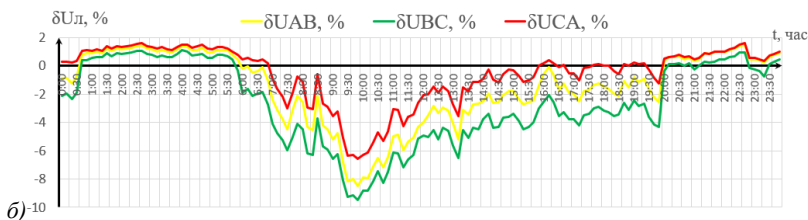


Рис. 1 Суточное отклонение фазного (а) и линейного (б) напряжения сети

Результат суточного отклонения частоты в сети низкого напряжения показал, что в сети не наблюдается отклонение частоты от максимально допустимого значения  $\pm 0,2$  Гц.

Результаты измерения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности представлены в табл. 1. Их анализ показал, что несимметрия напряжения между фазами возникает в ночные часы, а несимметрия токов в вечерние и дневные часы суток. Основной причиной возникновения несимметрии напряжений и токов в сети является неравномерность распределения нагрузок отдельных фаз.

Значения суммарных коэффициентов, гармонических составляющих напряжения и токов представлены в табл.1 [4]. Как видно, их значения по напряжению не превышают нормально допустимые значения и предельно допустимые значения, по току не нормируются. [2].

Таблица 1 - Значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности, суммарных коэффициентов гармонических составляющих тока и напряжения

Измеряемая характеристика	Результаты измерений	Нормально допустимое (предельно допустимое) значение
$K_{2U}, \%$	2,16	2 (4)
$K_{0U}, \%$	3,84	2 (4)
Напряжение фазное А		
$K_L, \%$	16,373	-
$K_U, \%$	3,352	8,00 (12,00)
Напряжение фазное В		
$K_L, \%$	18,49	-
$K_U, \%$	3,431	8,00 (12,00)
Напряжение фазное С		
$K_L, \%$	16,116	-
$K_U, \%$	3,113	8,00 (12,00)

Гармонические составляющие напряжения обусловлены, как правило, нелинейными нагрузками пользователей электрических сетей, подключаемыми к электрическим сетям различного напряжения. На рис. 2 приведены гистограммы коэффициентов гармонических составляющих фазных напряжений и токов в процентах от основной гармонической составляющей до 40-й гармоники на шинах 0,4 кВ трансформатора ТМ - 250/10/0,4.

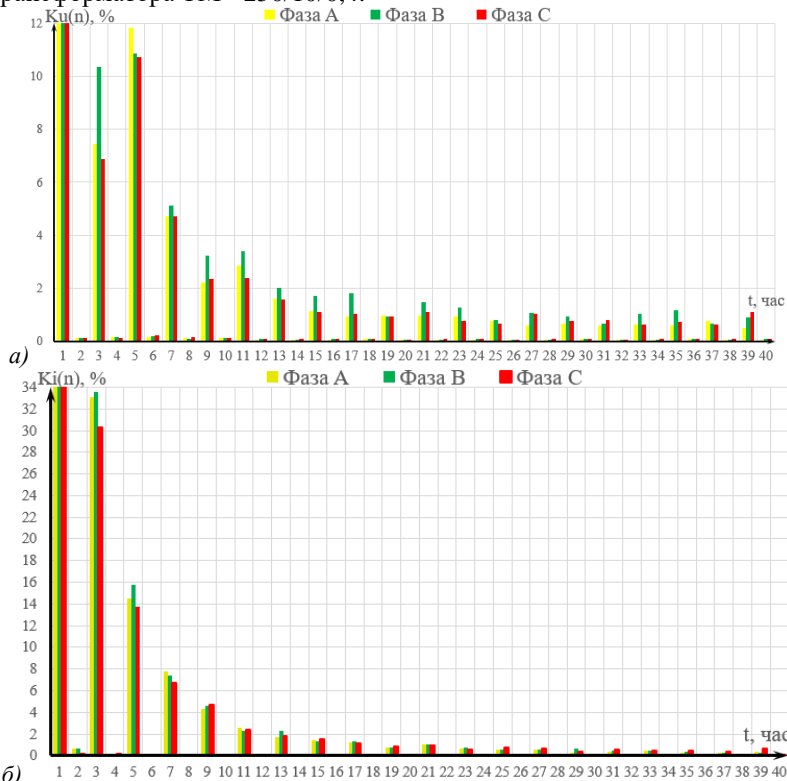


Рис. 2 Гармонический спектр напряжения (а) и тока (б) сети

Как видно из рисунка, в сети преобладают нечетные гармоники, а значения 3-й, 5-ой, 9-ой, 15-ой, 21-ой, 27-ой, 33-ей и 39-ой гармоник фазных напряжений превышают допустимые значения [3] (табл. 2).

Таблица 2 - Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения

Порядок гармонической составляющей $n$	Результаты измерений фаз A / B / C, %	Допустимые значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ , %
3	<b>7,19 / 9,99 / 6,63</b>	5
5	<b>11,42 / 10,49 / 10,36</b>	6
7	4,56 / 4,93 / 4,56	5
9	<b>2,13 / 3,13 / 2,26</b>	1,5
11	2,76 / 3,26 / 2,3	3,5
13	1,57 / 1,93 / 1,53	3,0
15	<b>1,1 / 1,63 / 1,07</b>	0,3
17	0,9 / 1,73 / 1,0	2,0
19	0,93 / 0,9 / 0,9	1,5
21	<b>0,93 / 1,43 / 1,07</b>	0,2
>21:		
27	<b>0,57 / 1,03 / 1,0</b>	0,2
33	<b>0,60 / 1,0 / 0,60</b>	
39	<b>0,47 / 0,87 / 1,07</b>	
23	0,9 / 1,23 / 0,73	1,5
25	0,73 / 0,77 / 0,63	1,5

Из результатов испытаний в контрольной точке на низкой стороне трансформатора ТМ – 250/10/0,4, питающей тепличный комбинат ООО «Разуменское», п. Северный Белгородской области следует, что существуют отклонения фазных и линейных напряжений от допустимых значений. Также значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения для 3-й, 5-ой, 9-ой, 15-ой, 21-ой, 27-ой, 33-ей и 39-ой гармоник фазных напряжений превышают допустимые значения. Высшие гармоники тока кратные трем, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных системах. Нечетные гармоники, кратные третьей гармонике, суммируются в нейтральном проводнике, что приводит к возможному превышению общего тока в нейтрали над фазными токами, так как они составляют значительную часть действующего значения фазных токов. Это является причиной повышения потерь в электрических сетях, перегрева трансформаторов, перегрузки на нейтральных проводах, возникновения гармонических шумов и искажения формы синусоидальной кривой, что в свою очередь приводит к перегрузке и сокращению срока эксплуатации оборудования.

Полученные результаты говорят о необходимости применение дополнительных технических устройств в виде активно-адаптивных

систем, для снижения несинусоидальных и несимметричных режимов работы. Однако возникает вопрос выбора типа технического устройства, места установки и учета других параметров, что и является задачей дальнейшей работы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербух, М. А. Влияние нелинейной и несимметричной нагрузки на систему электроснабжения жилых микрорайонов / М. А. Авербух, Е. В. Жилин // Промышленная энергетика. – 2017. – № 12. – С. 40-45. – EDN YMSEMB.

2. Дюдяков, А. А. Снижение эффективности работы гибридного фильтра в реальных электрических сетях / А. А. Дюдяков, С. А. Янченко // Промышленная энергетика. – 2023. – № 4. – С. 40-47. – DOI 10.34831/EP.2023.68.35.006. – EDN PVCYMT.

3. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ. – 2014. – 20 с.

4. ГОСТ 30804.4.30–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Стандартинформ. – 2020. – 52 с.

*УДК 621.311*

*Жилин Е.В., Кузнецова А.Д.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ, РАССЧИТЫВАЮЩЕГО РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Расчет установившегося режима [1], целью которого является определение мощностей и токов в ветвях сети и узловых напряжений, позволяет ответить на ряд исследовательских вопросов, характеризовать участок распределительной сети по пропускной способности и отклонению напряжения в узлах. Кроме того, на основании расчета режимов работы, можно определить сенсорные точки сети, которые позволят выбрать оптимальные места установки управляемых емкостных накопителей электрической энергии (УНЭ) [2-

4]. Достаточно развитая на сегодняшний день трансформация и децентрализация сетей электроснабжения [5] требует применения кибернетических подходов и численно-программных решений для контроля состояния сетей электроснабжения и выбора места подключения УНЭ [6].

Для расчета установившегося режима в распределительной сети 10 кВ матричный метод необходимо составить матрицы инцидентности, проводимостей и нагрузок.

Матрица инцидентности содержит информацию о соединениях между элементами системы. Для распределительной сети это узлы, линии передачи, трансформаторы и другие элементы. Элементы матрицы могут быть заполнены значениями 0 или 1, чтобы показать, соединены ли элементы между собой или нет. Матрица проводимостей содержит информацию о параметрах элементов системы. Для распределительной сети это могут быть параметры линий, трансформаторов, генераторов и других элементов. Матрица нагрузок содержит информацию о нагрузках в каждом узле системы. Решение уравнения установившегося режима связывает все матрицы дает информацию о токах и напряжениях в каждом элементе системы [7, 8].

После решения уравнения анализируются результаты с целью определения степени удовлетворенности рассчитанного режима требованиям производительности системы. Если результаты не соответствуют требованиям, то можно провести дополнительный анализ, чтобы выяснить, какие параметры системы необходимо изменить для улучшения производительности.

На основании матричного метода расчета режима работы электроэнергетической сети был разработан программный модуль, алгоритм которого реализуется на языке C++ в среде программирования Visual Studio.

На Рис. 1 приведена расчётная схема замещения участка распределительной сети 10 кВ.

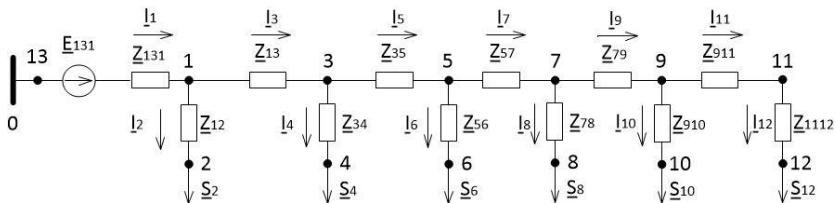


Рис. 1 Схема замещения участка распределительной сети 10 кВ

Расчётная схема замещения (Рис. 1) выполнена для разветвленного графа, ответвления которого приведены к магистральной линии, состоит из базисного узла, которому присвоен номер  $N = 13$ ; узлов с нагрузкой, которым присвоены нечетные номера и узлов без нагрузки, которым присвоены четные номера. Сопротивления, расположенные в продольных ветвях с нечетной нумерацией  $Z_{ij}, j=i+2$ , характеризуют сопротивления кабельных линий; сопротивления поперечных ветвей с последовательной нумерацией  $Z_{ij}, j=i+1$  характеризуют сопротивления трансформаторов подстанций.

Для схемы замещения, представленной на Рис. 1, составим прямоугольную матрицу инцидентий (Табл. 1) размерностью  $[n \times m]$ , где  $m=13$  – количество узлов схемы или строк матрицы, а  $n=12$  – количество ветвей или столбцов матрицы инцидентий и заполним матрицу значениями «0», «1», «-1» в соответствии со следующими условиями:

- если узел  $N_i$  расположен в начале ветви  $M_j$ , то значение ячейки  $ij=1$ ;
- если узел  $N_i$  расположен в конце ветви  $M_j$ , то значение ячейки  $ij=-1$ ;
- если узел  $N_i$  не  $\in$  ветви  $M_j$ , то значение ячейки  $ij=0$ .

Для расчета режима используется матрица инцидентий размерности  $[m \times m]$ . Для этого исключается строка с номером балансирующего узла. В качестве балансирующего принимается узел с большей мощностью. Для данной схемы таким узлом является базисный узел. Матрица инцидентий для схемы замещения без балансирующего узла представлена в Табл. 2.

Таблица 1 - Матрица инцидентий

$N \backslash M$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	-1	1	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

Далее, с использованием матрицы инциденций (Табл. 2), рассчитываются матрицы проводимости ветвей  $Y_v$  и узлов  $Y_u$ , матрица узловых сопротивлений  $Z_u$ , матрицы токов в ветвях  $I$  и падений напряжений в узлах  $U_{\Delta}$ .

На Рис. 2 приведена блок-схема алгоритма расчета режима для участка распределительной сети 10 кВ.

В качестве исходных данных для блок-схемы алгоритма расчета (Рис. 2) принимаются следующие величины:

- номинальное напряжение сети, В;
- сопротивления кабельных линий, Ом;
- сопротивления трансформаторов, Ом;
- количество узлов и ветвей приведенной схемы замещения;
- максимальные мощности нагрузок в узлах приведенной схемы замещения, кВА.

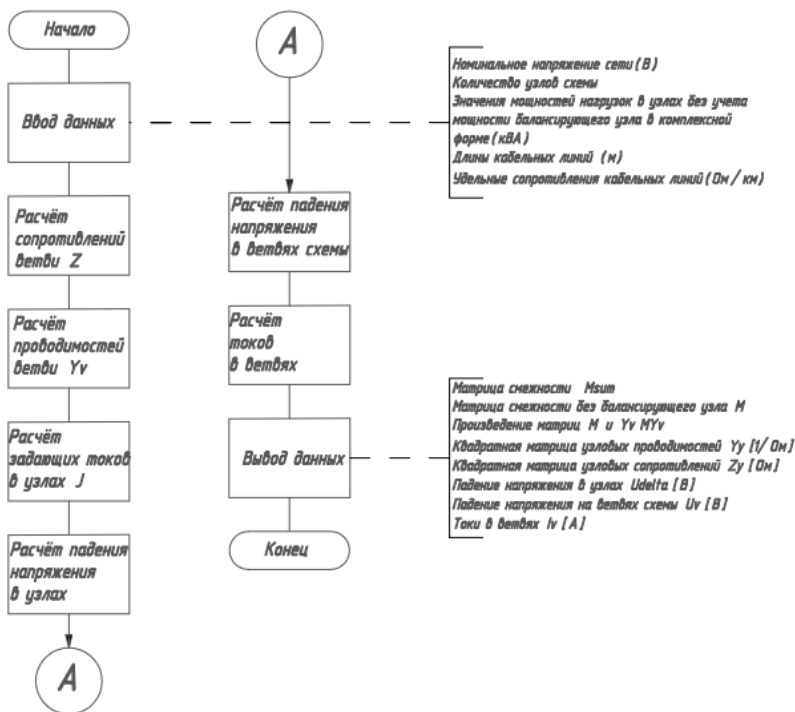


Рис. 2 Блок-схема алгоритма расчета режима для участка распределительной сети 10 кВ

Разработанный программный модуль позволяет оперативно произвести анализ потерь электроэнергии, выбрать сенсорные точки для установки УНЭ, а также определить их мощности.

Дальнейшая работа над программным модулем позволит оптимизировать работу сети (программа позволит осуществлять выбор эффективной схемы подключения потребителей и источников электроэнергии) и производить мониторинг работы сети, контролируя параметры работы и выявляя возможные проблемы в реальном времени.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авербух М.А., Абдулваххаб М.В., Жилин Е.В., Сизганова Е.Ю. Особенности режимов распределительных электроэнергетических сетей Ирака / М.А. Авербух, М.В. Абдулваххаб, Е.В. Жилин, Е.Ю. Сизганова // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2019. – Т. 12, № 5. – С. 607-616.

2. Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. Постановление Правительства РФ от 11.02.2021 N 161 «Об утверждении требований к региональным и муниципальным программам в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и о признании утратившими силу некоторых правовых актов Правительства Российской Федерации и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации».

4. ГОСТ ИЕС/TR 61000-3-6-2020. Электромагнитная совместимость. Оценка норм электромагнитной эмиссии для подключения установок, создающих помехи, к системам электроснабжения среднего высокого и сверхвысокого напряжения: нац. стандарт Рос. Федерации: изд. офиц.: утв. и введ. в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 18 июня 2020 г. № 275-ст: введ. впервые: дата введ. 2021-01-01 / разработ. ООО «НМЦ ЭМС» и Тех. Комитетом по стандартизации ТК 030 «Электромагнитная совместимость технических средств». — Москва: Стандартинформ, 2020 — 47 с.

5. Булатов Ю.Н. Применение накопителей энергии и управляемых установок распределенной генерации для снижения провалов напряжения в сетевом энергетическом кластере / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, В. Х. Нгуен // Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 2(38). – С. 38-43.



6. Волкова Т.А., Лыкин А.В., Фишов А.Г., Энхсайхан Э. Распределенный расчет установившихся режимов электрических сетей // Т.А. Волкова, А.В. Лыкин, А.Г. Фишов, Э. Энхсайхан // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 1(58). – С. 44-49.

7. Yan H. et al. A modified matrix algorithm dichotomy for distribution network fault location //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Т. 204. – С. 02010.

8. Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики: Учебник для студентов вузов / Под ред. В.А. Веников – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. Школа, 1981. – 288 с.

**УДК 62-533.66**

*Залялов А.Т.*

*Научный руководитель: Хамидулина М.С., асс.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И МЕРОПРИЯТИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА СОХРАНЕНИЕ ПАРА И КОНДЕНСАТА НА ТЭС И СОКРАЩЕНИЕ ИХ ПОТЕРЬ**

На ТЭС широко используются турбины, в процессе работы которых вырабатываются пар и конденсат.

Пар вырабатывается для работы турбины и после прохождения через нее он превращается в конденсат, который попадает в котел. В котле конденсат, под действием температуры превращается обратно в пар и используется повторно. Все это представляет собой систему возврата конденсата. С ее помощью в разы сокращается расход воды и топлива, что в свою очередь уменьшает затраты на производство электроэнергии и увеличивает эффективность всей установки. [1]

На схеме (рис. 1) в качестве примера показана станция сбора-возврата конденсата закрытого типа. [2]

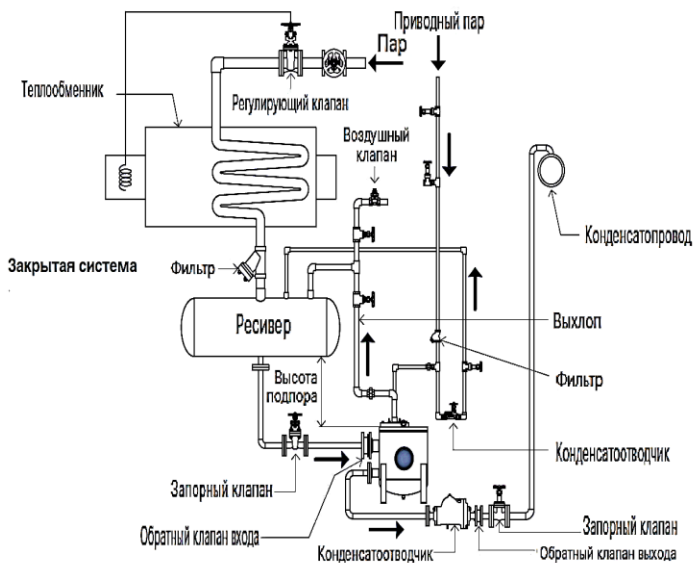


Рис. 1 Станция сбора-возврата конденсатора закрытого типа

Рассмотрим некоторые технические решения, которые помогают увеличить эффективность производства электроэнергии на ТЭС, посредством сохранения пара и конденсата.

**Система рециркуляции воды.** В рамках работы этой системы вода, которая используется в производственных процессах, например, для охлаждения оборудования, после отработки собирается, подвергается процедуре очистки, фильтрации и смешивается с водой в котле. Это значительно снижает расход воды и топлива. Однако стоит учитывать, что для работы такой системы необходима очень высокая точность при управлении процессом и наблюдение за уровнем воды. [3]

**Система контроля и регулирования параметров пара и конденсата.** Эта система позволяет контролировать температуру, давление, скорость движения и другие характеристики пара и конденсата в процессе производства электроэнергии. Сама система по большей части доведена до автоматизма, она включает в себя множество датчиков и систем мониторинга, которые помогают операторам быстро реагировать на какие-либо отклонения от нормы. Эта система в разы увеличивает эффективность использования пара и конденсата, при этом обеспечивая безопасность рабочего процесса на ТЭС. [4]

Система очистки конденсата. Эта система позволяет удалить загрязнения и вредные вещества из конденсата, который образуется в результате работы ТЭС. Есть различные методы очистки воды: фильтрация, обезжелезивание, дистилляция и другие. Выбор определенного метода зависит от конкретных условий производства, степени загрязнения и химического состава конденсата.

Использование промежуточного перегрева пара на ТЭС. Процесс промежуточного перегрева пара заключается в прохождении пара через дополнительный котел или нагревательную камеру, где его температура и давление увеличиваются в разы. После всего он попадает в турбину, что приводит к получению более высокой мощности и повышению энергетической эффективности установки. Сохранить пар и конденсат в таком случае получится при использовании турбин и генераторов повышенной эффективности и более полного использования тепла, которое в основном теряется при работе обычных парогенераторов. [5]

Также есть ряд мероприятий, которые направлены на более эффективное использование и сохранение пара и конденсата.

Применение современных материалов для изготовления трубопровода, других частей установки и оборудования. Современные материалы позволят снизить износ элементов и повысить их долговечность, а это в свою очередь повысит эффективность использования пара и конденсата. [6]

Избежать утечек пара и конденсата, предотвратить неисправности и повысить эффективность работы ТЭС помогут регулярное техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Помимо всего вышеперечисленного немалую роль играет персонал. Повышение квалификации персонала поможет обучить правильно эксплуатировать и обслуживать оборудование, что уменьшит его износ в разы, в следствии чего эффективность ТЭС увеличится.

Применение вышеизложенных технических решения и мероприятия, даст возможность сохранить пар и конденсат на ТЭС и сократить их потери.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Зарубина, Н. В. Турбинные установки ТЭС и АЭС. Устройство, эксплуатация и ремонт: учебное й. – Минск : Вышэйшая школа, 2020. – 431 с.
2. ООО «ЭнергоЛидер» - внедрение энергосберегающего оборудования для пароконденсатных систем : сайт. — Екатеринбург,

(2010-2023) — . — URL : <https://www.en-lider.ru/shop/collection-stations-condensate-return/> (дата обращения: 10.05.2023).

3. Цыганок, А. П. Тепловые и промышленные электрические станции. Экспресс-испытания тепломеханического оборудования тепловых электростанций: учебное – Сиб. федер. ун-т, Политехн. ин-т. - Красноярск: СФУ, 2019 (2020-03-18). - 157 с.

4. Дворцовой, А. И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами тепловых электрических станций: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2020. – 76 с.

5. Минор, А.А. Анализ эффективности промежуточного перегрева пара в котле-утилизаторе ГТ-надстройки теплофикационного энергоблока / А.А. Минор, О.О. Ромашкова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2020. - № 2. – С. 54-63.

6. Галашов, Н. Н. Режимы работы и эксплуатация ТЭС: учебное пособие. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 90 с.

#### **УДК 628.9**

*Ибоян Д.Л., Насибян А.А.*

*Научный руководитель: Беловодская И.И., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **LIGHTING SYSTEMS AND ENERGY CONSERVATION**

LIGHTING SOURCES vary widely in the amount of light they produce for wattage consumed - from 20 lumens/watt for incandescent lamps to 140 lumens/watt for high pressure sodium (HPS). The light source has a significant effect on the amount of energy needed to light an office, factory or store. For example, 67,800 kwh are needed per year to light a 10,000 sq ft area to 100 fc with HPS lighting, compared with 280,000 kwh to light the same area using incandescent. It will pay, in many cases, to replace incandescent, fluorescent or mercury installations with an HPS system.

Every discharge lamp needs a transformer, or ballast, to operate effectively. Typically, the ballast for the 4-ft long 40-watt fluorescent lamp consumes 7 to 8 watts, so a two-lamp bare strip system consumes about 95 watts. A recent development, General Electric's Maxi-Miser F40 fluores. cent lamp/ballast system reduces this to 78 watts while producing the same amount of light as standard 40-watt systems. Existing systems can be group relamped with the high-efficiency Watt-Miser II lamp to save 10-14% in

energy consumption, with a slight loss in output. Each lamp costs 22 cents more than a standard fluorescent lamp, and savings over the life of the lamp are \$5.20 (based on 46/kwh). If the existing system is 15 to 20 years old, it would be cheaper to replace both lamps and ballasts with the Maxi-Miser system to realize the full 18% energy savings without any loss in illumination. In new installations, this system can save up to \$6.80 per lamp over life (nearly 5 years) based on an electricity rate of 4c/kwh plus reduced maintenance due to longer ballast life.

Complete lighting systems include the fixture or luminaire. Most fixture manufacturers provide data obtained from an independent testing laboratory indicating the percentage of lumens generated which are delivered to the work surface - the coefficient of utilization. This may be as low as 25% for an indirect lighting system, or it may be higher than 70%, which is good provided that the system does not produce glare. It is unnecessary to sacrifice efficiency to gain comfort, for systems with the same coefficient of utilization vary widely in acceptability to users. Manufacturers publish tables of Visual Comfort Probability (VCP) and the candlepower distribution curve of a fixture can also be used to give a rough idea of how comfortable an installation will be. When there is a great deal of light emitted in the red zone, it will be uncomfortable or even glaring. Light emitted directly downward may cause reflections in the task area. When the location of the worker in relation to ceiling fixtures is unknown, the best approach is to consult with manufacturers of batwing lenses and fixtures or polarizing materials.

Of course, considerable savings are possible in space and time. It's obvious that lighting is unnecessary when a room is not occupied, and further savings are possible through conservation in given task areas. For example, a receptionist needs light to work by, but less illumination is required where people are walking around. Proper specification of lamps, ballasts and fixtures, combined with careful management of lighting use can easily save 40% of the lighting energy consumed each year without sacrificing light on the task for productivity and quality of working life.

**MODERN INDUSTRIAL GRADE POWER FACTOR CORRECTION CAPACITORS** usually contain one of two types of dielectric liquids. The first type, more popular a few years ago, is a form of polychlorinated biphenyls (PCB), a class of chemical that has created much environmental concern. It seems that PCB, although an excellent non flammable dielectric liquid, has properties which require special handling and disposal procedures mandated by OSHA and EPA. The following warning statement will be printed on capacitors containing PCB:

This capacitor contains a polychlorinated biphenyl (PCB). To avoid possible environmental contamination, it should be disposed of only in

supervised dry landfill areas meeting state requirements of incineration facilities designed for disposal of P.CBs. See American National Standard C107.1.74.

The newest non-PCB capacitor impregnants such as Dislektrol II used by General Electric, WEMCOL by Westinghouse, and other substitutes for PCBs in power capacitors are all classified as OSHA Class III B combustible liquids. Although these liquids will burn, they are neither explosive nor particularly volatile. Large capacitors containing these flammable liquids can, however, require very expensive installation enclosures.

NEMA manufacturing standards and design criteria for industrial capacitors require a manufacturing tolerance of -0 to + 15% of nameplate kvac rating. For example, a 10 kvac capacitor could actually produce up to 11.5 kvac of reactive capacitance, but not less than 10 kvac. This greater than indicated potential should be remembered when selecting wire, fuse or switch sizes that are close to NEC requirements. In addition, if the line voltage is high and/or distorted (other than pure sine wave), the capacitor will draw more than design current. These are some of the reasons why the NEC required conductors connecting a capacitor to have an ampacity not less than 135% of the capacitor current rating.

Most experienced engineers and manufacturers closely follow the accepted, conservative design guidelines published by the major manufacturers. In some cases there is a wide discrepancy in the capacitor size recommended for certain motors - for example, to correct the power factor on a 480v, 3-phase, 40hp, 1800rpm design Type B motor.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. М.: ДМК Пресс, 2011. 144 с.
2. Голицын М. В. Альтернативные энергоносители. М.: Наука, 2004. 159 с.
3. Шефтер И.Я. Использование энергии ветра: учебное пособие. М.: Энергия, 1975. 247С
4. Чирков Ю. Г. Занимательно об энергетике. М.: Мол. Гвардия, 1981. 206 с.
6. Оценка величины вырабатываемой электроэнергии ветряными электростанциями в Белгородской области / В. В. Рычков, К. В. Вишнякова, Е. И. Солдатенкова, П. А. Трубаев // Энергетические, управляющие и информационные системы: Сб. докл. I межд. Научно-техн. Конф. Белгород: Изд-во БГТУ. 2016. С.132- 138.

*Ибоян Д.Л., Насибян А.А.*

*Научный руководитель: Беловодский Е.А., ст. преп.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Промышленность строительных материалов- это один из крупных потребителей котельно-печного топлива, электрической и тепловой энергии. Для производства строительных материалов в 1990г. потребовалось около 64млн. т. у.т. котельно-печного топлива, 42ТВт·ч электроэнергии ( $T$ -гера  $\cdot 10^{12}$ ), 184 тыс. ГДж. теплоэнергии. Отрасль добывала и перерабатывала около 3,5 млрд.т. горной массы в год. К 2010г. этот показатель должен был составлять (4-4,5 млрд.т.) При этом почти все добываемое сырье в процессе изготовления материалов проходит тепловую обработку и обжиг. За год в стране производилось около 1140 млн.т. цемента; 280 млн. м<sup>2</sup> листового стекла; 60 млрд.шт. кирпича; 115млн.м<sup>2</sup> керамической плитки; 155 млн. м<sup>3</sup> сборного железобетона; 11млн.т. асбестоцементных изделий и других энергоемких строительных материалов.

Промышленность строительных материалов является индустриальной базой капитального строительства и оказывает большое влияние на его энергоемкость и снижение стоимости строительства. Стоимость строительных материалов составляет около 50% стоимости строительства.

Крупнейшим резервом экономии энергии в строительстве является применение новых эффективных строительных материалов, изделий и конструкций. Поэтому основным направлением снижения энергоемкости строительства является совершенствование ассортимента и структуры производства строительных материалов; увеличение выпуска высокомарочных, многокомпонентных специальных цементов, увеличение производства облегченных железобетонных конструкций; увеличение выпуска закаленного, упрочненного и теплозащитного стекла; увеличение выпуска эффективных отопительных приборов (котлов) на различные виды топлива, а также увеличение выпуска теплоизоляционных материалов на основе минеральной ваты и полимеров.

Другим направлением экономии энергии является разработка и внедрение энергосберегающих технологий в основных топливопотребляющих подотраслях и прежде всего в производстве цемента, стеновых материалов, стекла и других материалов. Значительную часть экономии можно получить при тепловой обработке изделий и конструкций из железобетона, сушке и обжиге керамических изделий в результате использования эффективных способов изоляции тепловых агрегатов и печей и использования вторичных энергоресурсов.

Что касается первого направления:

В *цементной промышленности* в перспективе до 2010г. будет организовано производство новых видов цемента таких как:

- 1) высокопрочный портландцемент марок 600 и выше, который обеспечивает получение бетона марок 300 и выше;
- 2) особобыстротвердеющий цемент, позволяющий осуществить беспропарочную технологию на заводах сборного железобетона;
- 3) портландцемент с модификаторами и с применением органических добавок

Применение высокопрочного цемента позволит сократить расход цемента на 10%

Но самое главное- это отказ от тепловой обработки железобетона. В настоящее время на тепловую обработку железобетона при его производстве расходуется до  $1,4 \text{ ГДж/м}^3$  изделия.

По расчетам экономия условного топлива в результате использования беспропарочного производства составит более 1,5 млн. т. у.т. и будет сэкономлено более 1млн. т. цемента.

В производстве стеновых материалов намечается увеличить выпуски керамического кирпича с повышенной пустотностью (до 40 – 50%) и прочностью. Намечается увеличить в 10 раз выпуск стеновых изделий на основе золошлаковых отходов ТЭС. Увеличится производство панелей и блоков из ячеистого бетона.

Планируется довести производство кирпича с повышенной пустотностью до 50% от всего выпуска и долю облегченного силикатного кирпича и камней (пустотелых и с применением порообразующих добавок) до 80%. Применение этих материалов позволит снизить толщину стен на 10 –12% и тем самым сократить энергоемкость используемых для этих стен материалов.

В стекольной промышленности предполагается внедрить технологические процессы и технологии производства новых эффективных материалов и изделий из стекла, которые должны отвечать современным требованиям строительства. .



Какие это материалы? Это - закаленное стекло для строительства зданий повышенной этажности; стеклопакетов ( из двух, трех стекол), а также теплозащитного и теплопоглощающего стекла.

Применение этих изделий в строительстве позволит сократить теплопотери в отапливаемых зданиях до 3 – 5%

В промышленности строительной керамики большая часть плитки для облицовки стен будет выпускаться цветной и декоративной , а также новых форм, типоразмеров и уменьшенной толщины и повышенной прочности (экономия топлива и сырья до 20%)

***По второму направлению экономии в строительстве*** (это разработка и внедрение энергосберегающих мероприятий в промышленности строительных материалов).

В промышленности строительных материалов основную экономию топлива и энергии в отрасли определяют следующие мероприятия:

- 1) улучшение теплоиспользования в пламенных печах
- 2) установка теплообменных устройств
- 3) использование тепла отходящих газов для сушки сырья, подогрев воздуха и нагрев технологической воды
- 4) сокращение потерь тепла в окружающую среду в результате применения эффективной теплоизоляции печей и других тепловых агрегатов
- 5) использование сырья с минимальной влажностью

Наиболее крупные мероприятия проводятся и будут проводится в цементной промышленности, которая потребляет до 36% всех энергоресурсов в промышленности строительных материалов.

Приоритетность цементной промышленности в реализации энергосберегающих мероприятий объясняется также их высокой эффективностью. Так снижение влажности шлама в этой отрасли на 1% обеспечивает экономию около 150 тыс. т. у.т. Внедрение сухого способа производства цемента позволит сократить расход топлива на 30 – 40%, а полусухого с применением фильтр-прессов – до 20%. Эти мероприятия в основном будут проводиться путем перевода некоторых действующих заводов с мокрого на сухой способ с реконструкцией вращающихся печей с оснащением их циклонными теплообменниками и реакторами-декорбонизаторами.

Отдельные цементные заводы, которые работают на меловом сырье повышенной влажности, намечается перевести на технологию с сохранением переработки сырья по мокрому способу и установкой пресс-фильтров для глубокого обезвоживания шлама механическим путем (снижение влажности с 40 – 45% до 18%) с дальнейшей досушкой

и измельчением продукта фильтрации до сырьевой муки и с последующим обжигом ее в печах сухого способа производства.

Будет продолжаться внедрение технологии обезвоживания шлама в печах, которые работают по мокрому способу, в результате применения комбинированных разжижителей с дальнейшей сушкой обезвоженного материала в барабанной сушилке и обжигом его в печах сухого способа, которые имеют также запечные шахтные теплообменники.

Предусматривается широкое внедрение технологии по интенсификации процессов обжига клинкера в результате использования техногенных продуктов (таких как зола и золошлаковые отходы) вместо глиняного компонента.

Весь прирост производства цемента будет осуществляться за счет сухого способа производства клинкера, хотя в традиционном мокром способе (который у нас занимает около 80%) отечественная промышленность имеет некоторые преимущества. Например у нас удельные расходы топлива ниже чем за рубежом (так удельный расход у нас – 225 кг. у.т./т. клинкера; США- 228, Англия- 230. Это явилось причиной применения эффективных теплообменных устройств (таких как цепные завесы и циклонные теплообменники, а также за счет ввода в сырьевую шихту техногенных добавок (золы, шлаков) и разжижителей для снижения растекаемости и влажности шлама. Предполагается снизить за счет этих мероприятий расход топлива к 2010г. с 225 до 180кг у.т./т. клинкера).

Производство цемента по сухому способу в общем объеме выпуска увеличится к 2010г. с 20% до 75%. При этом расход топлива предполагается снизить с 160 кг у.т./т. клинкера (который у нас) до уровня развитых стран (который у них составляет 135 кг у.т./т. клинкера)

Кроме того ведутся мероприятия по утилизации тепла отходящих газов от печей при мокром способе производства (трудности, запыленность, влажность, а следовательно залипание поверхности, низкие температуры, присутствие кислорода, следовательно коррозия). Разработки КРТ (с температурой воды 70 - 75°C)

Основным источником экономии топлива и энергии в стекольной промышленности будет замена технологии производства вертикального вытягивания стекла на горизонтальный способ с термической обработкой поверхности стекла на расплаве металла. Внедрение этого прогрессивного способа производства позволит обеспечить экономию топлива до 30%, резко улучшить качество продукции и повысить производительность труда в 2,5 раза.

В производстве керамической плитки расход топлива и энергии на единицу продукции находится на уровне западных стран.

Наибольшее отставание по уровню техники, технологии и расходу энергетических ресурсов по сравнению с зарубежными странами имеет производство керамического кирпича (расход топлива на производство которого составляет 6млн. т.у.т./год). Намечаемые меры по техническому перевооружению и реконструкции кирпичной промышленности позволят сократить расход топлива к 2010г. на 25% (с 237 кг у.т./тыс.шт. до 190 кг.у.т/тыс.шт.).

Важным направлением экономии энергии и других материальных ресурсов являются мероприятия по сохранению производственных строительных материалов и борьба с потерями. Например потери цемента составляют до 15млн.т.; стекло- до 75 млн. м<sup>2</sup>; кирпича более 1млрд. шт./год.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булатов И.С. Пинч-технология. Энергосбережение в промышленности. М.: Страта, 2012. 148 с.
2. Комков В. А., Тимахова Н. С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. М.: ИНФРА-М, 2013. 320 с.
3. Лисенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладышев М. Г. Хрестоматия Энергосбережения. М.: Теплоэнергетик, 2012. 699 с.
4. Самарин О. Д. Теплофизические и технико-экономические основы теплотехнической безопасности и энергосбережения в здании. М.: МГСУ, 2014. 160 с.
5. Модель распределения изменяющихся климатических параметров / А. В. Белоусов, Ю. А. Кошлич, А. Г. Гребник // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2016. № 1. С. 116-120.

*УДК 620.9*

*Иксанов Ф.Ф., Маслова Г.Д.*

*Научный руководитель: Маслов И.Н., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Водород — это высококачественный энергоноситель, который может быть получен в глобальном масштабе путем термохимической

переработки углеводородов, таких как природный газ, уголь или биомасса, или электролиза воды с использованием любого источника электроэнергии, включая возобновляемые источники, такие как ветер, солнце или ядерная энергия. Водороду уделяется повышенное внимание в связи с растущими опасениями по поводу изменения климата, качества воздуха и интеграции различных возобновляемых источников энергии в энергетическую систему. Недавние исследования в области энергетики и экономики показывают, что водород и топливные элементы могут иметь важное значение технологии для одновременного решения этих задач в будущей энергосистеме с использованием возобновляемых источников энергии и низким уровнем выбросов углерода. В этой статье рассматриваются техническое и экономическое состояние технологий производства водорода и топливных элементов, прогресс на пути к коммерциализации и роль политики.

Концепция “водородной экономики” анализировалась много раз. Недавние энергетические/ экономические исследования показывают, что водород и топливные элементы могли бы стать важными технологиями для одновременного решения этих проблем в будущей энергосистеме с интенсивным использованием возобновляемых источников энергии и низким уровнем выбросов углерода. Водород может быть преобразован в электричество и тепло в топливных элементах с высокой эффективностью и нулевыми выбросами при конечном использовании. Существует мощная техническая база для использования водорода и быстрый прогресс в целом ряде новых водородных технологий [1-3].

На сегодняшний день производится водород коммерчески из ископаемого топлива в качестве сырья для переработки нефти и других промышленных целей, на долю которых приходится 1-2% мирового потребления первичной энергии.

Как и электричество, водород может быть получен из различных, широкодоступных первичных энергетических ресурсов, включая ископаемое топливо, возобновляемые источники энергии и ядерную энергетику. Сегодня большая часть водорода получается “термохимическим путем”, когда углеводородное сырье подвергается химической обработке при высокой температуре с получением синтетического газа или “сингаза”, который может быть подвергнут дальнейшей переработке для увеличения содержания водорода. Крупномасштабное производство водорода из природного газа путем паровой конверсии метана является зрелой коммерческой технологией,

широко используемой в химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

Газификация угля - еще один хорошо зарекомендовавший себя способ крупномасштабного производства водорода. Это более капиталоемкий и менее энергоэффективный процесс, чем преобразование метана паром, хотя затраты на сырье для угля, как правило, ниже, чем для природного газа, а приведенные затраты, учитывающие как капитальные, так и эксплуатационные затраты, аналогичны. Газификация биомассы – это технология производства водорода на ранней коммерческой стадии. Системы газификации биомассы представляют собой обычно меньше, чем для угля, из-за компромисса между экономией за счет масштаба установки и затратами на транспортировку биомассы на большие расстояния до крупного производственного предприятия. В зависимости от технологического процесса при производстве водорода из углеводородов может выделяться значительное количество  $\text{CO}_2$ . Это может вызывать беспокойство, если одной из основных причин перехода на водород является сокращение выбросов углекислого газа. Хотя автомобиль на водородных топливных элементах не выбрасывает в выхлопную трубу углекислый газ или загрязняющие воздух вещества, выбросы “вверх по течению” от производства водорода могут иметь место. Хотя выбросы парниковых газов при полном топливном цикле или “от начала до конца” для автомобиля на топливных элементах, использующего водород, получаемый из природного газа, меньше, чем для сопоставимого обычного бензинового автомобиля, они не равны нулю.

Одним из возможных технических “решений” является улавливание и секвестрация углерода (УХУ). Когда водород получают термохимическим путем из углеводородного сырья, образуется концентрированный поток  $\text{CO}_2$  который можно улавливать и хранить, сокращая выбросы углекислого газа в атмосферу при относительно низких дополнительных затратах и лишь с небольшой потерей энергии.

Улавливание углерода увеличивает капитальные затраты на крупную водородную установку примерно на 10-20% и на 10-30% к общей стоимости производства водорода, одновременно сокращая выбросы углекислого газа на 80-90%. CCS часто предлагается в качестве перспективной технологии, позволяющей продолжать использовать недорогое ископаемое топливо для производства водорода, избегая при этом большей части выбросов  $\text{CO}_2$ . Производство водорода из возобновляемых источников биомасса с использованием УХУ открывает возможность получения топлива с “чистым

отрицательным выбросом углерода” стратегия, используемая во многих энергетических сценариях для стабилизации климата.

Электролиз воды сегодня используется в коммерческих целях в нескольких регионах с низкой стоимостью гидроэлектроэнергии. Однако в будущей водородной экономике, использующей обширные возобновляемые ветровые и солнечные ресурсы, предполагается более широкая роль электролитической конверсии. Разработка более дешевых и эффективных электролизеров для использования с переменным количеством возобновляемой электроэнергии является активной областью исследований [4-6].

Пути получения водородной энергии подразделяются на “централизованное” производство, при котором водород производится в больших масштабах и распределяется среди пользователей с помощью грузовиков или трубопроводов, и “локальное” или “распределенное” производство, при котором водород производится на месте конечного использования, как правило, с помощью мелкомасштабного электролиза или парового риформинга метана.

Водород также может быть преобразован в другие энергоносители, такие как электричество, метан или жидкое топливо, что влечет за собой затраты на преобразование и снижение эффективности, но обеспечивает доступ к существующим сетям распределения энергии без необходимости создания разветвленной системы распределения водорода. Действительно, водород является важным сырьем при переработке сырой нефти для производства современных видов топлива на основе нефти, таких как бензин и дизельное топливо. Выбор наилучшего пути поставок водорода зависит от масштаба и местоположения спроса, относительной стоимости региональных первичных ресурсов для производства водорода, политики и технологических разработках. Стоимость хранения и распределения водорода в значительной степени зависит от количества доставляемого водорода, расстояния, способа хранения (сжатый газ или криогенная жидкость) и способа доставки (грузовик или трубопровод) [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что энергия является основой экономического благосостояния и обеспечивает человека предметами первой необходимости, такими как еда, тепло или мобильность. Но использование энергии имеет и негативные последствия. Вопрос об устойчивом использовании энергии и ее развитии в направлении устойчивой системы энергоснабжения является одной из насущных проблем, которые должны быть решены человечеством.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Тигов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035. EDN ZZEXPK.

5. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 4160-4163. EDN DFRRQF.

6. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 4430-4433. EDN RZFYRH.

*Карпов И.А., Котов В.С., Власов А.Н.*

*Научный руководитель: Резникова Р.К., канд. пед. наук  
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова»,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ХРАНЕНИЯ ТРУБНЫХ СИСТЕМ КОТЛОВ**

В настоящее время одной из наиболее часто встречающихся проблем котельного оборудования является повреждение котла вследствие коррозии труб. Изучение состояния внутренних поверхностей парогенерирующих труб различных типов судовых котлов показало, что одним из наиболее распространенных видов коррозионных поражений трубных систем является язвенная коррозия. Анализ условий эксплуатации котлов и данных по выходам котельных труб из строя позволил предположить, что одной из главных причин язвенной коррозии является нарушение режимов хранения котлов при их бездействии, в частности, хранение с водой по рабочий уровень.

Основным режимом хранения судовых котлов при длительных простоях является режим «мокрого» хранения под избыточным давлением деаэрированной воды. Качественное исследование эффективности режима «мокрого» хранения котлов проводилось на стендовой установке, с использованием образцов штатных котельных труб экрана.

В состав установки входили четыре блока, включавшие в себя стеклянные емкости, имитировавшие верхние и нижние коллекторы котлов, образцы котельных труб, емкость для рабочего раствора тринатрийфосфата, обескислороживающие фильтры, натрий-катионитовый фильтр, пробоотборники, арматура и трубопроводы.

Испытывались 8 образцов котельных труб, длиной около 300 мм каждый. Половина образцов была взята из труб в состоянии поставки, а внутренние поверхности другой половины образцов подвергались специальной пассивации. Пассивация осуществлялась выдержкой образцов труб в автоклаве в течение 150 ч. при температуре 280°C в дистиллированной воде с повышенной концентрацией тринатрийфосфата.

Исследовались следующие сравнительные варианты режима «мокрого» хранения:

1. Хранение без доступа воздуха и дозировки в воду тринатрийфосфата.



2. Хранение с доступом к воздуху и без дозировки в воду тринатрийфосфата.

3. Хранение с доступом воздуха и с дозировкой в воду тринатрийфосфата.

4. Хранение без доступа воздуха и с дозировкой в воду раствора тринатрийфосфата.

По каждому из перечисленных вариантов испытывалось два образца трубок: один в состоянии поставки, другой – пассивированный.

Продолжительность выдержки в условиях мокрого хранения составила около 8820 ч. Общая продолжительность испытаний – около 11500 ч. Около 2600 ч. образцы находились в осушенном состоянии после удаления из них воды для выполнения анализов. При этом нижние емкости осушались не полностью. В этот период никаких специальных мер для просушки образцов труб не предпринималось.

Для оценки скорости общей коррозии стали в верхних и нижних «коллекторах» были установлены образцы-свидетели, которые в процессе исследований периодически снимались и взвешивались.

Постановка образцов на хранение производилась следующим образом:

При исследовании хранения без дозировки раствора тринатрийфосфата дистиллят опреснительной установки подавался на обескислороженный фильтр. Затем током воды снизу последовательно заполнялись нижние «коллекторы», образцы и верхние «коллекторы» двух блоков. Выходившая из воздушника вода контролировалась на содержание кислорода. После стабилизации содержания кислорода на выходе из воздушника подача воды на блок прекращалась, и из верхнего коллектора этого блока сливалось около половины воды. Доступ воздуха в верхний коллектор блока осуществлялся через воздушник. Блок оставался полностью заполненный водой. Для исключения поступления воздуха в блок при утечках и пополнениях его обескислороженной водой верхний коллектор подключался к системе заполнения блока на весь период хранения.

При исследовании «мокрого» хранения с дозировкой тринатрийфосфата его раствор готовился в емкости и подавался на блоки через два фильтра – обескислороживающий, а также натрий-катионитовый.

Периодически осуществлялось снятие образцов с установленного режима «мокрого» хранения для выполнения анализов воды, с последующим восстановлением первоначального режима.

В процессе «мокрого» хранения менялось и содержание фосфатов в воде образцов труб. В среднем в образцах, хранившихся с доступом

воздуха, содержание фосфатов уменьшалось примерно на 65%, а в образцах без доступа воздуха – на 40%. Вероятной причиной этого явления следует считать образование малорастворимых химических соединений фосфатов и продуктов коррозии и накопление их в шламе, скапливавшемся в нижнем «коллекторе».

Изменение некоторых номеруемых показателей может оказаться столь велико, что их значения становятся несоответствующими требованиям действующих норм. В связи с этим, при вводе котла в действие после длительного «мокрого» хранения (5-10 суток) необходимо строго соблюдать требования эксплуатационной документации в части проведения продувок и ввода корректирующих посадок после пуска.

В процессе проведения испытаний через 2100, 3900 и 8820 ч. «мокрого» хранения внутренней поверхности образцов труб осматривались с помощью эндоскопа. При осмотрах визуально заметное изменение состояния поверхности (наличие слоя ржавчины или коррозионные поражения) обнаружено в основном к концу испытаний. Причем заметное окисление металла наблюдалось на непассивированных образцах, а интенсивная коррозия в местах механических нарушений пассивирующей пленки.

После осмотра эндоскопом с внутренней поверхности образцов отложения после испытаний, а также удаленных окислов вместе с водой при каждом снятии образцов с «мокрого» хранения, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Количество отложений на образцах

№ Образца	Количество отложений г/м <sup>2</sup>		
	Смыто водой	Снято с образца	Всего
2	10,6	54,0	64,6
3	6,1	6,2	12,3
1	4,9	54,2	59,1
7	6,2	7,1	13,3
6	2,3	17,9	20,2
8	1,3	3,9	5,2
5	2,4	4,7	7,1
4	1,6	7,1	8,7

Как показал анализ, отложения состоят из окислов железа, медь и фосфаты в отложениях не обнаружены.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что наибольшее количество отложений образуется на непассивированных образцах при хранении в «кислой» среде. Пассивация поверхности снижает

интенсивность коррозии металла труб при «мокрым» хранении в несколько раз. Из непассивированных образцов наименьшее количество отложений обнаружено на поверхности, хранившейся в «щелочной» среде без доступа кислорода воздуха.

Влияние подщелачивания воды тринатрийфосфатом на скорость язвенной коррозии проявилось неоднозначно. Как правило, происходило снижение скорости коррозии в 1,5-3,0 раза. Однако на непассивированном образце с доступом воздуха подщелачивание воды привело к увеличению скорости язвенной коррозии примерно в 2 раза.

«Мокрое» хранение по рабочий уровень увеличивает скорость язвенной коррозии по сравнению с полным заполнением котла в 2-8 раз. Наименьшая средняя скорость коррозии достигается при хранении пассивированных образцов с дозировкой в воду фосфатов.

Таким образом экспериментально подтверждена эффективность предупреждения коррозионных поражений трубных систем котлов на эксплуатирующихся объектах при «мокрым» хранении подщелаченной тринатрийфосфатом деаэрированной водой при одновременном ограничении поступления кислорода. Наиболее существенный эффект по предотвращению коррозии достигается при предварительной пассивации внутренней поверхности котельных труб.

В итоге, реализация вышеуказанных мер позволит существенно снизить вероятность «возникновения и развития язвенной коррозии парогенерирующих трубных систем судовых котлов, что обеспечит их долговечность, экономическую эффективность и безопасную эксплуатацию.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бородай, Е. В. Показатели надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов паровых котлов и котлового оборудования / Е. В. Бородай, М. Ю. Авилов, Н. Д. Спорыхин // Наука и образование сегодня. – 2016. – № 2(3). – С. 49-53.

2. Вдовенко, Д. Ю. Консервация энергетических паровых котлов / Д. Ю. Вдовенко, В. А. Запорожцев, А. И. Посохов // . – 2015. – № 11. – С. 28-32

3. Манькина, Н. Н. «Парокислородный метод очистки, пассивации и консервации энергетического оборудования / Н. Н. Манькина, О. В. Семенова, А. В. Кирилина // Технические газы. – 2004. – № 2(2004). – С. 34-38.

4. Литвинова, Ю. В. Проблемы и их решения при работе котельных установок / Ю. В. Литвинова // . – 2013. – № 29. – С. 134-143.

5. Чупова, А. В. Деаэрация как способ защиты теплоэнергетического оборудования от коррозии / А. В. Чупова, В. А. Галковский // . – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 77.

6. Особенности проектирования энергетических установок, а так же специальных систем и устройств военных ледоколов / С. А. Поляков, Б. Г. Иванов, А. А. Тельнов, Р. А. Поляков // Молодежь. Техника. Космос : Труды четырнадцатой общероссийской молодежной научно-технической конференции. в 4-х томах, Санкт-Петербург, 23–27 мая 2022 года. – Санкт- Петербург: Балтийский государственный технический университет «Военмех», 2022. – С. 42-44.

7. Черенков, С. И. Снижение интенсивности коррозионной активности теплообменных поверхностей котельных агрегатов теплоэнергетического оборудования / С. И. Черенков, О. А. Сотникова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – Т. 5, № 5. – С. 107-112.

**УДК 004.9:621.31.003**

***Келизов А.А., Стадникова С.В.***

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ И СОЗДАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Цифровизация промышленности стала одной из основных технологических задач в России. Это, в свою очередь, требует создания и внедрения интеллектуальных информационных систем. Большинство компаний понимают, что в настоящее время и, тем более, в будущем добиться успеха можно, только используя безопасные современные цифровые решения. Работы в этом направлении ведутся во многих отраслях народного хозяйства, в научных организациях, в компаниях, предоставляющих услуги, связанные с разработкой и внедрением информационных технологий. Энергетика, как консервативная отрасль, только начинает изучать методологию создания и подходы к реализации таких проектов. Для снижения аварийности и повышения бесперебойности потребителей теплом и электроэнергией необходимо обновлять устаревшее оборудование на более эффективное, внедрять «интеллектуальные» системы автоматического управления с возможностью создавать архивы информации – накапливать большие данные. Цифровые технологии играют важную роль в современном

мире, они изменяют способы, которыми мы живем, работаем и общаемся между собой. Некоторые из ролей цифровых технологий включают:

1. Улучшение производительности и эффективности в различных областях, от медицины до производства.
2. Создание новых рабочих мест и экономического роста в различных секторах.
3. Снижение затрат на производство и эксплуатацию, что в свою очередь позволяет снизить цены на конечные продукты.
4. Улучшение качества жизни через улучшенный доступ к информации, образованию и здравоохранению.
5. Укрепление связей между людьми и улучшение способов общения, включая социальные сети, мессенджеры и другие платформы.
6. Развитие новых форм искусства и культуры, таких как цифровое искусство и виртуальная реальность.
7. Улучшение экологической устойчивости через использование цифровых технологий для создания более эффективных и экологически безопасных процессов производства.

В целом, цифровые технологии имеют огромный потенциал для улучшения нашей жизни и будут продолжать играть важную роль в нашем будущем.

Но сегодня возьмем в пример цифровизацию, создание интеллектуальных систем управления тепловых электростанций и их роль в нашем будущем.

Теплоэнергетика отрасль теплотехники, занимающаяся преобразованием теплоты в др. виды энергии, главным образом в механическую и электрическую. Для генерирования механической энергии за счёт теплоты служат теплосиловые установки; полученная в этих установках механическая энергия используется для привода рабочих машин (металлообрабатывающих станков, автомобилей, конвейеров и т. д.) или электромеханических генераторов, с помощью которых вырабатывается электроэнергия. Установки, в которых преобразование теплоты в электроэнергию осуществляется без электромеханических генераторов, называются установками прямого преобразования энергии. К ним относят магнетогидродинамические генераторы [1].

Принцип действия тепловых электростанций практически одинаков и не зависит от вида ископаемого топлива. Отличается только предварительная обработка и конструкция горелок и печей. Поступающее топливо сжигается, а вода в котлах нагревается до кипения. Образующийся пар приводит в движение турбину, которая

связана с ротором генератора и вызывает его вращение. Напряжение генерируемого переменного тока повышается трансформаторами, а затем транспортируется по линиям электропередачи и через сеть понижающих подстанций поступает к потребителям. Большая тепловая электростанция состоит из одного или нескольких блоков, которые могут работать в значительной степени независимо друг от друга. Каждый имеет свое оборудование – паровые турбины и электрогенераторы.

Создание интеллектуальных систем управления тепловых электростанций – это процесс, который связан с созданием автоматизированных систем, которые позволяют эффективно управлять производственными процессами на тепловых электростанциях. Такие системы позволяют оптимизировать работу электростанции, повышать её эффективность и безопасность, а также уменьшать нагрузку на персонал.[2]

Для создания интеллектуальных систем управления тепловых электростанций используются различные технологии, такие как искусственный интеллект, машинное обучение, анализ данных, автоматизация процессов, системы мониторинга и др.

Такие системы позволяют:

- автоматически контролировать работу оборудования и предупреждать о возможных неполадках;
- оптимизировать нагрузку на оборудование и произвести повышение эффективности энергетического процесса;
- мониторить потребляемые ресурсы и контролировать затраты на производство электроэнергии;
- предвидеть режим работы электростанции в зависимости от изменений рынка энергоресурсов.

Разработка и внедрение интеллектуальных систем управления тепловых электростанций является важным шагом в повышении эффективности работы не только конкретного предприятия, но и всей отрасли в целом[3].

Для цифровизации теплоэнергетики необходимо использовать современные технологии и инновации, например:

1. Установка smart-счетчиков для учета потребления тепла и электроэнергии. Это позволит сократить потери и оптимизировать управление теплоснабжением.

2. Применение системы управления энергопотоками, которая будет контролировать потребление энергии и тепла, оптимизировать работу оборудования и поддерживать стабильность работы системы.

3. Использование мониторинговых систем для диагностики и прогнозирования неисправностей и аварий оборудования. Это поможет снизить риски аварийных ситуаций и обеспечит более эффективное управление процессами.

4. Внедрение облачных технологий для доступа к данным о потреблении энергии и тепла в режиме реального времени. Это поможет оперативно реагировать на изменение потребностей и оптимизировать не только управление генерацией, но и другими процессами, связанными с теплоэнергетикой.

5. Создание центра управления теплоэнергетикой, который будет координировать работу всех систем и обеспечивать эффективную работу всей системы.

Рассмотрев все предложения создания систем управления и цифровизации, упомянем также последствия отказа от новшеств:

Отказ от создания интеллектуальных систем управления тепловых электростанций может привести к следующим негативным последствиям:

1. Низкая эффективность работы электростанций. Отсутствие интеллектуальных систем управления может привести к недостаточной оптимизации работы электростанций, что приведет к увеличению расходов на энергию и сокращению прибыли.

2. Высокий уровень аварийности. Без системы автоматического управления тепловой станцией, человеческий фактор играет большую роль в принятии решений и контроле за процессами. Это увеличит риск возникновения аварий и инцидентов.

3. Повышение углеродного следа. Отсутствие интеллектуальных систем управления может привести к неэффективному использованию топлива и повышению выбросов вредных веществ в атмосферу, что не только негативно влияет на окружающую среду, но и может вызвать штрафы со стороны государственных органов.

4. Снижение конкурентоспособности. В современном мире компании, не использующие новые технологии и методы управления, теряют свою конкурентоспособность и рыночную долю.[4]

В целом, отказ от создания интеллектуальных систем управления тепловых электростанций может привести к снижению эффективности, повышению затрат и негативному влиянию на окружающую среду.[5]

В заключении хотелось бы сказать, что цифровизация во многом определит дальнейший вектор развития техники и технологий в энергетике, информационных систем и систем автоматического управления, направлений по оптимизации технологических процессов электростанций, нормативных документов, регламентирующих

создание и эксплуатацию электростанций. Такая работа концептуальна для развития электроэнергетики в России на ближайшие десятилетия и, в первую очередь, определяет энергетическую безопасность страны.[6]

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://nsportal.ru/ap/library/nauchno-tehnicheskoe-otvorchestvo/2023/02/01/tsifrovizatsiya-teplosnabzheniya-kak>
2. <https://cyberleninka.ru/>
3. <https://energypolicy.ru/umnye-elektrostantsii%E2%80%AF-cifrovoe-budushhee-energetiki/energoperehod/2021/17/13/>
4. Веселовского М.Я: Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях инновационной экономики
5. <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/139141/Теплоэнергетика>
6. Стадникова С.В. Экономика энергетики: учебное пособие для студентов/С.В. Стадникова.- Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова,2018.-URL <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2019013115480919800000657985>

*УДК 621.311.21*

*Коломыченко А.А.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ПОТЕНЦИАЛ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РОССИИ

В то время, когда использование возобновляемых источников энергии во всем мире растет, их внедрение в Российской Федерации идет относительно медленно [1]. Его производство и потребление в Российской Федерации в 2010 году в основном обеспечивалось за счет гидроэнергетики, в то время как биоэнергия доминировала в отоплении зданий и промышленности (в том числе централизованное теплоснабжение). На гидроэнергетику в 2010 г. приходилось около 70% общего потребления возобновляемых источников энергии в России, в то время как на биоэнергетику приходилось около 30%. Общая доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в конечном потреблении энергии в России за тот же период составила 3,6%. К концу 2015 года общая установленная мощность производства электроэнергии из



возобновляемых источников увеличилась до 53,5 ГВт, что составляет около 20% от общей установленной мощности производства электроэнергии в стране, составляющей 253 ГВт. Значительная часть этого увеличения была связана с гидроэнергетикой, которая потребляла 51,5 ГВт, за которой следовала биоэнергетика с 1,35 ГВт. Наземная ветровая и солнечная фотоэлектрическая мощность составила 111 МВт и 460 МВт соответственно [5]. Но также у гидроэнергетики есть свои минусы, выражающиеся в зависимости от внешних факторов, влияющих на их расчет. Окружающая среда, как и все природные явления, с точки зрения математического представления, является сложным нестационарным объектом с распределенными параметрами, зависящими от множества факторов [2].

Подобный способ получения энергии гораздо более безопаснее ядерной энергии, обладающей высоким поражающим эффектом. Особенностью экологического риска является его неравномерное распределение по территории, подвергшейся воздействию вредных факторов. Кроме того, загрязнение окружающей среды может зависеть от времени [3].

Разработка и использование гидроэлектростанций (ГЭС) имеет ряд достоинств, некоторые из которых включают простоту эксплуатации, высокий коэффициент полезного действия, который колеблется от 92% до 94%, в отличие от атомных и тепловых электростанций, которые составляют около 33%. На ГЭС также требуется относительно меньшее количество персонала для обслуживания объекта: на 1 МВт мощности приходится 0,25 человека, тогда как на АЭС и ТЭС – 1,05 и 1,26 МВт соответственно. Гидроэнергетика играет ключевую роль в энергетике России, в настоящее время в стране насчитывается около 102 ГЭС мощностью более 100 МВт. Суммарная установленная мощность ГЭС в стране составляет около 45 млн кВт, а генерация — также около 165 млрд кВт\*ч в год [4]. Страна занимает второе место в мире по неосвоенным ресурсам ГЭС, с расчетным экономическим потенциалом, достигающим около 852 ТВт\*ч, из которых пока используется только 20%. По оценкам 80% населения и промышленности страны расположены в южных и центральных регионах европейской части России, и многие из еще не эксплуатируемых потенциальных объектов гидроэнергетики находятся далеко от основных центров нагрузки.

По данным международного агентства по возобновляемым источникам энергии (МАВИЭ) [5], страна обладает самыми большими водными ресурсами в мире. Общая длина рек России оценивается в более чем 8 млн км. Экономический потенциал гидроэнергетики России, по прогнозам, почти в пять раз превышает действующую

мощность, особенно в восточной части Сибири. Согласно тому же отчету МАВИЭ, с точки зрения развития малой гидроэнергетики наибольший потенциал страны находится в восточной и центральной частях. В настоящее время Россия занимает второе место в мире после Китая по величине гидроэнергетического потенциала, примерно 852 млрд кВт\*ч в год. В таблице 1 представлены некоторые крупные ГЭС страны.

Таблица 1 – Крупные ГЭС России по состоянию на 2019 г.

ГЭС	Год ввода в эксплуатацию	Мощность, МВт	Вырабатываемая энергия, миллиард кВт*ч/год
Красноярская	1967-1971	6000	20,40
Саяно-Шушенская	1978-1985	6400	23,50
Усть-Илимская	1974-1979	3840	21,70
Братская	1961-1966	4520	22,60
Богучанская	2012-2014	3000	17,60
«Жигули»	1955-1957	2320	10,50
Волжская	1958-1961	2550	12,30
Бурейская	2003-2007	1980	7,10
Чебоксарская	1980-1986	1400	3,31
Саратовская	1967-1970	1270	5,35
Зейская	1975-1980	1330	4,91
Нижне-Камская	1979-1987	1250	2,67
Загорская ГАЭС	1987-2000	1200	1,95
Чикейская	1974-1976	1000	2,47
Воткинская	1961-1963	1020	2,60

Связь между электростанциями (т. е. системами электроснабжения и сопутствующими им сетями) и площадью земель, занимаемой этими компонентами, является ключевым фактором оценки их устойчивости. Решения, касающиеся использования земли для производства энергии, вызывают острую озабоченность, поскольку потребность в экосистемных услугах, нехватка земли и спрос на производство энергии для удовлетворения потребления одновременно возросли во всем мире. В случае с гидроэлектростанциями она существенно различается, это зависит от местного рельефа. По оценкам, она составляет около 73 км<sup>2</sup>/ТВт\*ч [6].

Россия – страна с огромным потенциалом для гидроэнергетики, однако она очень мало разрабатывается и используется. В этом исследовании представлены потенциал, возможности и проблемы в секторе гидроэнергетики страны. Возможности и проблемы в секторе

были выявлены как с помощью обзоров литературы, так и с помощью консультаций или интервью с экспертами. Результаты исследования показывают, что возможности в секторе гидроэнергетики с возможностью увеличения масштабов разработки различных ресурсов в России включают в себя высокий экспортный потенциал. Что касается проблем в секторе, то в произвольном порядке в качестве решающих факторов, препятствующих развитию сектора, является недостаточное внимание к чистым технологиям со стороны правительства, неопределенность в регулировании и реализации, высокая стоимость проектов гидроэнергетики, суровые условия окружающей среды и неблагоприятная институциональная структура. Согласно полученным результатам, наиболее значимой возможностью, которой должна была бы воспользоваться страна, является возможность экспорта электроэнергии, выработанной из ВИЭ, за пределы страны, она зафиксирована на уровне 27,7%. По мнению респондентов, поскольку этот сектор является капиталоемким, роль правительства в содействии его развитию и использованию является ключевой, поэтому правительству рекомендуется активизировать свои обязательства в отношении этого сектора.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Velkin, V.I. Research efficiency of complex systems with spread spectrum renewable energy for electric power supply decentralized objects in Russia. / V.I. Velkin // In: Presented at the ENERGY QUEST. – Ekateringburg, 2014. – P. 437-444.
2. Радоуцкий В.Ю. Математическое описание риска в высших учебных заведениях / Е.Г. Ковалева, С.А. Кеменов // Вестник Белгородского технологического государственного университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 121-124.
3. Белоусов А.В. Модель распределения изменяющихся климатических параметров / Ю.А. Кошлич, А.Г. Гребеник // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 116-120.
4. Hydropover [Website]: RusHydro, 2023. URL: <http://www.eng.rushydro.ru/industry/history/> (date of the application 23 January 2021). – Access mode: free.
5. Dolf G. REMAP 2030 Renewable Energy Prospects for the Russian Federation [Electronic resource] / S. Deger //IRENA. Available online: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Apr/IRENA\\_REmap\\_Russia](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Apr/IRENA_REmap_Russia)

\_paper\_2017. pdf (date of the application 30 January 2022). – Access mode: free.

6. Evans, A. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. / V. Strezov, T.J. Evans // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – No 13. – P. 1082–1088.

*УДК 621.311.245*

*Коломыченко А.А.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЕТРА В РОССИИ**

Энергетический сектор России имеет в себе Единую энергетическую систему (ЕЭС), охватывающую 79 регионов России, и несколько технически удаленных энергосистем, обеспечивающих электроэнергией крупные города Дальнего Востока, а также более мелкие изолированные и удаленные от ЕЭС населенные пункты. Суммарная установленная мощность на начало 2016 г. по ЕЭС составила около 235,3 ГВт, в том числе технически изолированные системы в сумме составили 243,2 ГВт, в том числе 11 МВт ветровых электростанций (ВЭС). Основным топливом для изолированных энергосистем является дизельное топливо, которое обычно транспортируют из других регионов страны в районы, где оно требуется, что приводит к высокой стоимости энергии [1]. Но также у ветроэнергетики есть свои минусы, выражающиеся в зависимости от внешних факторов, влияющих на их расчет. Окружающая среда, как и все природные явления, с точки зрения математического представления, является сложным нестационарным объектом с распределенными параметрами, зависящими от множества факторов [2].

Существенные ветряные электроустановки, использующие кинетическую энергию воздушного потока в раскручивании турбины электрогенератора, имеют существенный недостаток: для обеспечения высокой работы таких установок необходимо место с постоянной и достаточной нагрузкой энергии [3]. А также плюсы: безопасность и экологичность (нет вредных выбросов в атмосферу), а также неисчерпаемость в отличие от нефти, газа или угля.

Потенциал развития ветроэнергетики существенно различается по России. Страна обладает большим потенциалом энергии ветра, чей теоретический потенциал оценивается примерно в 197477 миллиардов кВт\*ч/год на высоте 100 м и с валовым техническим потенциалом около 21850 миллиардов кВт\*ч/год на той же высоте. Наиболее подходящими территориями для развития ветропарков являются территории Северо-Запада, территории Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, Сибирского, Уральского, Дальневосточного федеральных округов, острова Сахалин, полуострова Камчатка, а также прибрежные районы на северо-востоке страны. Однако этот потенциал еще предстоит полностью раскрыть на благо российского народа. Место с относительно меньшей скоростью ветра находится в районе Восточной Сибири в Лено-Колымском ядре Азиатского антициклона. В дневное время в стране наблюдается большая скорость ветра по сравнению с тем, что регистрируется в России ночью, однако в зимний период это изменение менее выражено. Годовая амплитуда колеблется от 1 м/с до 4 м/с, в среднем она составляет 2–3 м/с. Центр европейской части России, Восточная и Западная Сибирь (за исключением северных районов) имеют высокие амплитуды, и особенно Дальний Восток, где может регистрироваться амплитуда до 4 м/с. Годовая амплитуда менее 2 м/с отмечается на юго-востоке и юго-западе европейской части страны, а также в Средней Сибири.

Недавний отчет Российской Ассоциации Ветроиндустрии (РАВИ) [4] показывает, что по состоянию на 2019 год в России было установлено в общей сложности 564 ветряных турбины по всей стране с установленной мощностью 190,54 МВт. В таблице 1 представлена разбивка по установленной мощности, расположению и количеству турбин.

Таблица 1 – Установленные ветрогенераторы и мощности в России.

ВЭС	Расположение	Мощность	Кол-во турбин
Ульяновская ВЭС-1	Ульяновская область	35,00 МВт	14
Ульяновская ВЭС-2	Ульяновская область	50,00 МВт	14
ВЭС Тюпкильды	Республика Башкортостан	1,65 МВт	3
ВЭС Мирный	Краснодарский край	4,80 МВт	2
Элитсинская ВЭР	Республика Калмыкия	1,2 МВт	2
Ушаковская ВЭС	Калининградская область	5,10 МВт	3
ВЭС в поселке Тикси	Республика Саха (Якутия)	900 кВт	3
ВЭС на острове Беринга	Камчатский край	550 кВт	2

ВЭС в поселке Усть-Камчатск	Камчатский край	1,18 МВт	4
ВЭС в деревне Новиково	Сахалинская область	450 кВт	2
ВЭС в деревне Андерма	Ненецкий автономный округ	200 кВт	4
Анадырская ВЭС	Чукотский автономный округ	2,5 МВт	10
ВЭС в поселке Лабитнанги	Ямало-Ненецкий автономный округ	275 кВт	1
ВЭС в полевом лагере	Хабаровский край	100 кВт	1
ВЭС Ветряная электростанция	Белгородская область	100 кВт	5
ВЭС в Оренбургской области	Оренбургская область	2,73 МВт	7

Для ветряных электростанций доля оборудования российского производства, необходимая для предотвращения тарифных штрафов, была сравнительно небольшой на ранних этапах системы аукционов, однако к 2020 году она увеличилась примерно до 65%. Именно из-за такого высокого уровня были проведены многочисленные тендеры, в частности, на разработку ветряных электростанций, для которых практически нет оборудования российского производства. Эти требования стимулировали зарубежные транснациональные корпорации к партнерству с производителями и российскими энергетическими компаниями. Это привело к созданию ряда международных совместных предприятий, включая Fortum и ветровой инвестиционный фонд государственного технологического инвестора «Роснано», а также WRS Bashni, корпорацию, в которую входят испанский разработчик Windar Renovables, «Роснано» и российская сталелитейная компания «Северсталь». Готовятся к выходу на российский рынок такие компании, как Lagerwey и Siemens Gamesa Renewable Energy (SGRE), Vestas Manufacturing Rus также локализовала ветровое оборудование в Нижегородской области [5].

Экстремальные погодные условия в отдельных районах страны, особенно в зимний период, также были определены как один из факторов, влияющих на развитие ВИЭ в России. Например, обледенение ветряных турбин может иметь три последствия для системы, а именно: производительность (измерение ветра, годовая выработка энергии и расчетный срок службы), безопасность (несбалансированное вращение ротора, выброс льда, избыточная мощность и усталость) и конструкция (нагрузка, аэродинамика

материалов и система управления). Это также может повлиять на датчики ветра, что, в свою очередь, сделает оборудование для измерения ветра неэффективным, а также повысит уровень шума от системы и снизит рентабельность турбины [6].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Clean energy sources: Insights from Russia. / E. Gavrikova, Y. Burda, V. Gavrikov et al. // Resources. – 2019. – No 8. – P. 84.
2. Белоусов А.В. Модель распределения изменяющихся климатических параметров / Ю.А. Кошлич, А.Г. Гребеник // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 116-120.
3. Разработка ветрогенератора в воздухопровод с искусственным и постоянным потоком воздуха / Н.Ю. Мошонкин // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 408-414.
4. Market Report. [Website]. Russian Association of Wind Power Industry, RAWI, 2023. URL: <https://rawi.ru/en/wind-power-in-russia/market-report/market-report-2019/>. (date of the application 8 June 2021). – Access mode: free.
5. Power Technology. [Website]: Verdict Media Limited 2023. URL: <https://www.power-technology.com/features/russia-renewable-energy/>. (date of the application 10 March 2021). – Access mode: free.
6. Power Mag. [Website]: Access Intelligence, 2023. URL: <https://www.powermag.com/prepare-your-renewable-plant-for-cold-weather-operations/>. (date of the application 21 March 2021). – Access mode: free.

**УДК 621.311.243**

***Коломыченко А.А.***

***Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.***  
*Белгородский государственный технологический университет*  
*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ПОТЕНЦИАЛ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИИ

Уровень развития общества в последнее время равносителен уровню потребления энергии. В результате энергия рассматривается как ключевой входной параметр социально-экономического развития нации. Повышение уровня углекислого газа в воздухе и связанные с ним последствия глобального потепления привели к увеличению числа

исследований, в которых подчеркивается необходимость поиска более эффективных и экологически безопасных источников выработки энергии для удовлетворения спроса на энергию. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) в последнее время приобрели большую известность в результате их относительно меньшего воздействия на окружающую среду, а также их устойчивого характера [1].

Буте и Виллемс [2] оценили политические, геополитические, экономические, социальные и юридические возможности и проблемы, связанные с экспортом энергии из возобновляемых источников в ЕС из России. По их мнению, сотрудничество между ЕС и Россией в отношении ВИЭ будет взаимовыгодным. Кроме того, было рассмотрено использование солнечной энергии и других ВИЭ для энергоснабжения сельских населенных пунктов в России. В исследовании учтены вопросы, связанные с внедрением ВИЭ, а также меры по энергосбережению в сельских территориях страны. Но также у солнечной энергетики есть свои минусы, выражающиеся в зависимости от внешних факторов, влияющих на их расчет. Окружающая среда, как и все природные явления, с точки зрения математического представления, является сложным нестационарным объектом с распределенными параметрами, зависящими от множества факторов [3].

Энергетический сектор России включает Единую энергетическую систему (ЕЭС), охватывающую 79 регионов России, и несколько технически удаленных энергосистем, обеспечивающих электроэнергией крупные города Дальнего Востока, а также более мелкие изолированные и удаленные от ЕЭС населенные пункты. Суммарная установленная мощность на начало 2016 г. по ЕЭС составила около 235,3 ГВт, в том числе технически изолированные системы в сумме составили 243,2 ГВт, в том числе 60 МВт солнечных электростанций (СЭС). Основным топливом для изолированных энергосистем является дизельное топливо, которое обычно транспортируется из других регионов страны в районы, где оно требуется, что приводит к высокой стоимости энергии. В ЕЭС России доля ВЭС и СЭС в 2018 г. соответственно 0,02% и 0,07% (по выработке) и, таким образом, этот фактор пока не является значимым [4].

Оценка потенциала солнечной энергетики в российском государстве началась еще в 1920-х годах. Причерноморский регион, Северный Кавказ и Каспийское море, Дальний Восток и Южная Сибирь определены как обладающие наибольшим потенциалом солнечной энергии.



Таблица 1 – Расчетный технический потенциал солнечной энергии в России.

Регион	Тепловая мощность, млн. кВт Гкал	Мощность, млн. кВт кВт/ч	Термический, тед. Гкал/га	Мощность, тед. ГВт*ч/га
Россия	219402	87972023	0,224	51,989
Республика Адыгея	11244	26148	0,144	33,559
Республика Башкортостан	2272	528390	0,159	36,964
Ямало-Ненецкий	76925	37928	0,493	114,666
Кемеровская область	9572	1717	0,179	41,73

Перспективными направлениями развития солнечной энергетики в стране являются юго-западные районы, к ним относятся Ростовская область, Волгоградская область, Калмыкия, Ставропольский край, Астраханская область и Краснодарский край и в юго-восточной части страны эти районы также перспективны: Приморье, Бурятия, Алтай, Забайкальский. Также высока степень инсоляции в отдельных районах Дальнего Востока, Восточной и Западной Сибири [5].

Подсчитано, что страна имеет валовой потенциал солнечной энергии около 2300000 млн. тонн угля эквивалента (у.э.) с экономическим потенциалом около 12,5 млн т. у.э. в год и техническим потенциалом около 2300 млн т. у.э. Годовая солнечная радиация для участков Восточной и Западной Сибири и Дальнего Востока составляет около 1300 кВт/м<sup>2</sup>, что больше, чем в южных регионах России. Приходящая солнечная радиация, например, в Иркутске (52 градуса широты) достигает 1340 кВт\*ч/м<sup>2</sup>, а Якутия-Саха (62 градуса широты) 1290 кВт\*ч/м<sup>2</sup>.

Исследования и разработки (НИОКР) будут иметь ключевое значение для успеха возобновляемой энергетики в России, особенно из-за уникальной погоды по сравнению с другими странами. Как отметили опрошенные эксперты, суровые условия окружающей среды являются проблемой в секторе ВИЭ, особенно солнечной энергии. Таким образом, предполагается, что иностранные технологии могут оказаться неэффективными в российской юрисдикции. Именно по этой причине НИОКР по технологиям, которые будут использоваться в российских условиях, должны быть улучшены за счет использования нового опыта для разработки новых и эффективных технологий, способных противостоять погодным условиям в стране.

Экстремальные погодные условия в отдельных районах страны, особенно в зимний период, также были определены как один из факторов, влияющих на развитие ВИЭ в России. В случае солнечных систем, их размещение в районах с суровыми зимними условиями в основном не вызывает беспокойства. Тем не менее, в случае фотоэлектрических систем холодные погодные условия могут оказывать влияние на систему. Выход фотоэлектрической системы может быть сведен на нет, когда панели покрыты снегом. Однако солнечные фотоэлектрические панели менее уязвимы по сравнению с другими источниками генерации чистой энергии, когда речь идет о экстремальных зимних условиях, поскольку они представляют собой твердотельную конструкцию без жидкости внутри или движущихся частей. Фотоэлектрические панели, которые подвергаются повторяющимся циклам замораживания-оттаивания, особенно во время снегопада, подвержены проникновению воды, поскольку талая вода может со временем открывать небольшие зазоры в крышках солнечных панелей, электрических соединениях и монтажных кронштейнах. В таких ситуациях ключевую роль играют частые проверки таких компонентов, учитывая, что попадание воды в электрическую установку может вызвать серьезные проблемы [6]. По мнению опрошенных экспертов, такие ситуации увеличивают затраты на техническое обслуживание, эксплуатацию и замену, что в конечном итоге влияет на стоимость энергии от таких электростанций.

В этом исследовании рекомендуется всесторонняя оценка долгосрочного воздействия ВИЭ на российскую экономику с использованием программного обеспечения, такого как модель LEAP, в качестве будущего исследования. Это позволит заинтересованным сторонам оценить влияние ВИЭ на экономику и социальные аспекты ее реализации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bagherian, M.A. A comprehensive review on renewable energy integration for combined heat and power production. / K. Mehranzamir // *Energy Conversion and Management*. – 2020. – No 224. – P. 113454.
2. Boute, A. RUSTEC: Greening Europe's energy supply by developing Russia's renewable energy potential. / P. Willems // *Energy Policy* – 2012 – No 51. – P. 618–629.
3. Белоусов А.В. Модель распределения изменяющихся климатических параметров / Ю.А. Кошлич, А.Г. Гребеник // *Вестник*

Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 116-120.

4. Хрусталеv, В.А. Системная эффективность модернизации главных циркуляционных насосов АЭС с ВВЭР частично-регулируемыми приводами / М.В. Гариевский // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 189-195.

5. Analysis of prospects of using solar energy in Russian Federation economy. / L. Serga, E. Chemezova, E. Makaridina, N. Samotoy // In: Procedia CIRP, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – 2016. – No 40. – P. 41-45.

6. Power Mag. [Website]: Access Intelligence, 2023. URL <https://www.powermag.com/prepare-your-renewable-plant-for-cold-weather-operations/>. (date of the application 21 March 2021). – Access mode: free.

**УДК 621.311.25**

***Коломыченко А.А.***

***Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ПОТРЕБЛЕНИЕ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СЛЕД 10 ВЕДУЩИХ СТРАН-ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ**

Одной из самых известных проблем, угрожающих миру, является загрязнение окружающей среды, которое приводит к ее ухудшению. Основными причинами ухудшения состояния окружающей среды являются постоянно увеличивающееся население, чрезмерное финансовое развитие, использование природных ресурсов и вредных технологий [1]. Деградация окружающей среды вызвана целым рядом факторов, включая вырубку лесов, глобальное потепление и загрязнение. Мировое сообщество в последнее время сосредоточилось на ухудшении состояния окружающей среды, вызванном глобальным потеплением. С доиндустриального периода глобальное потепление рассматривалось как серьезная угроза из-за повышения уровня мирового океана, температуры и расширения пустыни. Использование энергии является основной причиной выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>) в странах с развивающейся экономикой. Особо следует отметить, что 85% выбросов CO<sub>2</sub> электростанциями мира приходится на торф и уголь [3]. Важно отметить, что такие страны, как США, Япония, Германия,

Южная Корея, Южная Африка, Индия, Китай, Польша, Австралия и Россия, производят 84% мировой электроэнергии, вырабатываемой на угле, что приводит к годовым выбросам более 8,5 Гт  $CO_2$  [4]. Также нужно помнить о опасности загрязнения природы. Особенностью экологического риска является его неравномерное распределение по территории, подвергшейся воздействию вредных факторов. Кроме того, загрязнение окружающей среды может зависеть от времени [2].

Ядерная энергия (ЯЭ) является эффективным подходом к улучшению качества окружающей среды (КОС). Чтобы поддерживать мировую температуру менее чем на 2 °С выше доиндустриального уровня, в [+5+] предлагается повысить энергоэффективность, управление спросом, улавливание и хранение углерода, возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и ядерную энергию (ЯЭ). По оценкам, к 2050 году ЯЭ обеспечит 15% всех ежегодных сокращений выбросов парниковых газов (ПГ). IEA [4] дополнительно иллюстрирует вклад ЯЭ в сокращение выбросов  $CO_2$ , заявляя, что в период с 1970 по 2018 год гидроэнергетика предотвратила выброс 87 Гт  $CO_2$ , ЯЭ – 66 Гт  $CO_2$ , а дальнейшие возобновляемые источники энергии избежали 10 Гт  $CO_2$ . Потребление ядерной энергии (ПЯЭ) увеличилось более чем на 40 % по сравнению с несколькими годами ранее, что составляет 12 % мирового спроса на электроэнергию и 5 % на первичную энергию. При оценке текущего воздействия экономического прогресса на окружающую среду экологическая мера была специально выбрана в качестве загрязняющего вещества. Изменение климата не только уменьшает преимущества биоразнообразия для людей, но и уничтожает природные системы Земли, поддерживающие жизнь [3].

В (Таблице 1) представлен описательный анализ потребления ядерной энергии (ПЯЭ) и экологический след на душу населения (ЭС). Тенденция роста ПЯЭ в выбранных нами экономиках указывает на важное изменение энергетического баланса в пользу экологически чистой энергии.

В Швеции самый высокий средний ПЯЭ (46,02% от всего энергопотребления), который колеблется от 41,42% до 50,45%. Франция занимает второе место с ПЯЭ 43,90% от всего энергопотребления, колеблясь от 38,19% до 49,60%. Канада занимает третье место, за ней следуют Испания, Украина и Южная Корея. С другой стороны, США являются сильно загрязненной страной по отношению к гектарам в мире, со средним ЭС в диапазоне от 7,94 до 10,33. Германия занимает третье место, за ней следуют Швеция и Канада. Результаты, полученные с помощью теста JB (Jarque-Bera), показывают, что распределения ПЯЭ и ЭС не являются нормальными для всей экономики, в то время как

Испания является исключением, поскольку распределение ЭС там нормальное. Ненормальное распределение данных в этих странах еще больше усиливает аргументы в пользу стратегии «Квантильная оценка», подходящей в таких условиях [5]. Так же на развитие ЯЭ влияет уровень развития материаловедения ядерной энергетики [6], энергетического машиностроения и научных исследований [7].

Тест показывает следующие:

Мощный и обратный эффект ПЯЭ на ЭС показан во Франции. В Германии существует значительная отрицательная связь между ПЯЭ и ЭС. В Швеции доминирует мощный обратный эффект ЭС на НЭК. Обратный и мощный эффект ПЯЭ на ЭС заметен в Китае. ПЯЭ оказывает значительное и обратное влияние на ЭС в России. В Украине ПЯЭ оказывает значительное негативное влияние на ЭС, которая преобладает. В Южной Корее преобладает негативное и сильное влияние ПЯЭ на ЭС. В Испании существует сложная связь между ПЯЭ и ЭС.

Таблица 1 – Описательная статистика для ПЯЭ и ЭС

Страна	Сред.	Макс.	Мин.
Потребление ядерной энергии (ПЯЭ), млн тонн нефтяного эквивалента			
Швеция	45,94	50,45	41,42
Франция	43,90	49,60	38,19
Канада	19,35	21,91	16,79
Испания	17,35	21,90	12,79
Украина	15,29	22,53	8,04
Южная Корея	15,12	18,49	11,75
Германия	12,94	14,27	11,60
США	10,65	11,87	9,42
Россия	6,57	8,24	4,89
Китай	4,04	7,10	0,98
Экологический след на душу населения (ЭС), гга/чел.			
Швеция	6,82	8,33	5,30
Франция	5,11	5,80	4,42
Канада	8,62	9,50	7,74
Испания	4,79	5,86	3,71
Украина	3,70	6,20	1,20
Южная Корея	0,12	0,18	0,06
Германия	5,52	6,36	4,67
США	9,14	10,33	7,94
Россия	5,55	6,79	4,30
Китай	2,63	3,79	1,47

В этом исследовании изучалась взаимосвязь между ЭС и ПЯЭ в странах с наибольшим потреблением ЯЭ. ЭС используется как прокси для КОС. Согласно оценкам метода Квантиль на квантиле (КК), который предоставляет доказательства взаимосвязи между переменными, которые являются как глобальными, так и специфичными для страны, ПЯЭ повышает КОС за счет снижения ЯЭ в большинстве исследованных местностей в определенных квантилях распределения данных. Кроме того, данные показывают, что степень асимметрии между нашими переменными различается в зависимости от страны, что подчеркивает необходимость для политиков с осторожностью применять правила ЯЭ и КОС.

Мы предлагаем несколько основных последствий этого исследования для политики, основанных на эмпирических выводах. Полученные данные показывают, что ПЯЭ снижает ЭС. Это означает, что для снижения ЭС необходимы адекватные экологические действия. Принимая во внимание огромный потенциал ЯЭ в этом отношении, необходимо приложить значительные усилия для повышения энергоэффективности и сокращения количества ископаемого топлива в энергетическом балансе. Что еще более важно, значение ПЯЭ предполагает, что выбранные нами страны находятся на пути к тому, чтобы стать безуглеродными и достичь долгосрочной экологической устойчивости. Правительство и политики должны сосредоточиться на увеличении производства ЯЭ, и каждая страна должна выделять больше средств на развитие инфраструктуры в ПЯЭ. Чтобы обеспечить устойчивое будущее, предлагается, чтобы развивающиеся страны увеличили долю ЯЭ в своем энергетическом балансе, разумно управляли своими природными ресурсами и следили за темпами урбанизации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Saidi, K. Reducing CO2 emissions in OECD countries: Do renewable and nuclear energy matter? / K. Saidi, A. Omri // Progress in Nuclear Energy – 2020. – V. 126. – P. 103425.
2. Радоуцкий В.Ю. Математическое описание риска в высших учебных заведениях / В. Ю. Радоуцкий, Е. Г. Ковалева, С. А. Кеменов // Вестник Белгородского технологического государственного университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 121-124.
3. Do Nuclear Energy, Renewable Energy, and Environmental-Related Technologies Asymmetrically Reduce Ecological Footprint? Evidence from

Pakistan / M/ Usman, A. Jahanger, M. Radulescu, D. Balsalobre-Lorente // Energies – 2022. – No 15(9). – P. 3448.

4. Schneider, M. Climate change and nuclear power [Electronic resource] / M. Schneider // IAEA. – 2000. – №1(26). URL: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:34086165](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:34086165).

5. The renewable energy consumption-environmental degradation nexus in Top-10 polluted countries: fresh insights from quantile-on-quantile regression approach/ A. Sharif, S. Mishra, A. Sinha et al. // Renewable Energy – 2020. – No 150. – P. 670-690.

6. Современные тенденции развития радиационно-защитного материаловедения / Н.И. Алфимова, С.Ю. Пириева, А.В. Федоренко и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 4. – С. 20-25.

7. Аксенов, П.Л. Анализ методов интенсификации теплообмена в ядерных энергоустановках / П.Л. Аксенов, М.Ю. Егоров // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 251-257.

**УДК 621.311.238**

***Коломыченко А.А.***

***Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УГОЛЬНЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ**

Энергетические и экологические проблемы сегодня угрожают жизни человека. Особенностью экологического риска является его неравномерное распределение по территории, подвергшейся воздействию вредных факторов. Кроме того, загрязнение окружающей среды может зависеть от времени [1]. Общеизвестно, что чрезмерный расход ископаемых видов топлива берет на себя основную ответственность за эти две проблемы. В топливно-энергетическом комплексе уголь является основным технологическим сырьем и энергетическим топливом. Около двух третей добываемых углей используются в энергетике [6]. На уголь приходится 70% потребления первичной энергии в Китае. Из них 50% потребляет тепловая энергетика. Электроэнергетика, работающая на угле, останется доминирующей в ближайшие два-три десятилетия в Китае. Таким образом, повышение энергоэффективности (ЭЭ) угольной

электроэнергетики внесет значительный вклад в энергосбережение и сокращение выбросов в Китае.

Начиная с первой модели ССР, предложенной Чарнсом, Купером и Родсом [2], существуют еще три репрезентативные модели: модель ВСС (Банкер-Чарнс-Купер) [3], модель FG (Фэре и Гросскопф) и модель ST (Сейфорд и Тралл) [4]. Как правило, техническая эффективность энергоблоков с одинаковой номинальной мощностью не снижается с увеличением вырабатываемой электроэнергии. Мы выбираем модель ST, а не модель ВСС для расчета чистой технической эффективности. Когда учитываются факторы окружающей среды, для расчета экологической эффективности, выбирается модель строгой однородности.

В этом разделе будут изучены два вида эффективности. Это энергоэффективность и экологическая эффективность. Рассматриваемые для них входные и выходные параметры приведены в (Таблице 1). По сравнению с энергоэффективностью выбросы  $SO_2$  и  $NO_x$  выбраны в качестве нежелательных результатов для экологической эффективности.

Таблица 1 – Выбор входов и выходов

Входы/Выходы	Параметр	Единица измерения	Энергоэффективность	Экологическая эффективность
Вход 1	Потребление ископаемого топлива	т	Есть	Есть
Вход 2	Потребление вспомогательной электроники	млн кВт·ч	Есть	Есть
Желаемый результат	Выработанная электроэнергия	млн кВт·ч	Есть	Есть
Нежелательный выход 1	Выбросы $SO_2$	т	Нет	Есть
Нежелательный выход 2	Выбросы $NO_x$	т	Нет	Есть

Наши статистические данные включают 125 угольных энергоблоков установленной мощностью 600 МВт. Эти энергоблоки производят только электроэнергию без теплоснабжения. Они получены из публичных данных о энергоэффективности ископаемых



энергоблоков в 2012 году [5]. Статистическая сводка наших перекрестных данных представлена в (Таблице 2). Статистический период — год.

Таблица 2 – Статистические сводки входных и выходных параметров

Входы/Выходы	Выработанная электроэнергия	Выбросы $SO_2$	Выбросы $NO_x$	Потребление угля	Потребление электроэнергии
Единица измерения	млн кВт·ч	т	т	$10^6$ т	млн кВт·ч
Макс.	4184,91	3089,05	8828,52	131,80	327,49
Мин.	1067,41	120,87	425,36	30,42	45,19
Среднее	3138,29	789,49	2188,68	93,91	172,26
Стандартное отклонение	543,04	527,02	1239,83	16,45	48,79

Для 75% всех энергоблоков коэффициент масштабирования равен 1. Это указывает на то, что для большинства из 125 энергоблоков коэффициент масштабирования не влияет на энергоэффективность.

Из 125 энергоблоков 13 экологически эффективных энергоблоков ССР. Среди них 11 энергоблоков используются в качестве эталонов для других энергоблоков. Энергоблок «69» имеет наибольшую частоту, что говорит о том, что он имеет самый высокий уровень экологической эффективности. «69» — сверхкритический энергоблок, охлаждаемый водой с открытой циркуляцией. Содержание сжигаемой им серы в углях составляет 0,24%, что является чуть ли не самым низким показателем среди 125 энергоблоков. Эти характеристики делают его эталоном для 82 силовых агрегатов при оценке экологической эффективности.

Значения коэффициента равны или больше 1 для 125 силовых агрегатов. Это указывает на то, что экологическая эффективность больше или равна энергоэффективности. Характерной чертой модели анализа охвата данных (АОД) является то, что значения эффективности увеличиваются при добавлении любых входов или выходов. Также было обнаружено, что силовой агрегат «106» имеет самое большое передаточное число. Это свидетельствует о том, что данный силовой агрегат лучше других агрегатов проделал работу по сокращению выбросов. Экологическая эффективность данного энергоблока равна 1. Энергоэффективность его равна 0,935, что занимает 93 место среди 125 энергоблоков. По выбросу  $SO_2$  этот энергоблок занимает 6-е место с нижней стороны. Это превосходная мера десульфурации, благодаря

которой экологическая эффективность выходит на первый план по сравнению с энергоэффективностью.

В работе [5] отмечено, что совместное сжигание с углем газа или мазута обеспечивает необходимую температуру факела в топке, но резко ухудшает условия сжигания угля.

Мы проанализировали и сравнили энергетическую и экологическую эффективность 125 энергоблоков одинаковой номинальной мощности. Можно получить следующие выводы.

Во-первых, для 75% всех энергоблоков коэффициент масштабирования равен 1. Это говорит о том, что коэффициент масштабирования не влияет на энергоэффективность большинства энергоблоков. Во-вторых, среднее потребление электроэнергии 1,71·10<sup>7</sup> кВт·ч, выбросы SO<sub>2</sub> 236,57 т и выбросы NO<sub>x</sub> 382,74 т можно сэкономить, если все 125 энергоблоков будут работать по экологически эффективному сценарию. В-третьих, выбросы SO<sub>2</sub> оказывают большее влияние на экологическую эффективность. В-четвертых, у энергоблока «106» самая большая разница между энергетической и экологической эффективностью. Меры по сокращению выбросов SO<sub>2</sub> должны быть изучены другими энергоблоками. В-пятых, среди пяти центральных генерирующих компаний China Guodian Corporation имеет самую высокую энергетическую и экологическую эффективность. China Datang Corporation занимает третье место по энергоэффективности и последнее место по экологической эффективности. В-шестых, средняя энергетическая и экологическая эффективность центральных энергоблоков мощностью 600 МВт выше, чем у местных государственных.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радоуцкий В.Ю. Математическое описание риска в высших учебных заведениях / В. Ю. Радоуцкий, Е. Г.Ковалева, С. А.Кеменов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 1. – С. 121-124.

2. Charnes, A Measuring the efficiency of decision making units / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. – 1978. – V. 2. – P. 429-444.

3. Banker, R.D. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis / R. D. Banker, A. Charnes, W. W. Cooper // Manage Sci. – 1978. – V. 30. – P. 1078-1092.

4. Seiford, L.M. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation / L. M. Seiford, J. Zhu // European Journal of Operational Research. – 2002. – V. 142. – P. 16-20.

5. The notification about public announcement for data of power units with rated capacity of 600MW in national energy efficiency benchmarking and competition in 2012 [Website]: China Electricity Council, 2012. URL: <http://kjfw.cec.org.cn/kejifuwu/2013-04-07/99877.html> (date of access: 17 January 2013). – Access mode: free.

6. Бирюков, А.Б. Варианты реконструкции котлов типа ТП-100 энергоблоков 200 МВт / А.Б. Бирюков, В.А. Семергей // Энергетические системы. – 2018. – № 1. – С. 18-22.

*УДК 621.31*

*Колотова К.А.*

*Научный руководитель: Черникова Т.М., д-р техн. наук, проф.  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия*

## **КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И СИСТЕМЫ ИХ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

В настоящее время к космической отрасли, космическому пространству предъявляются различные высокие требования, которые могут способствовать разработке космических аппаратов (КА), что в данный момент является важнейшей задачей не только в нашей стране, но и в мире. Одной из главных систем КА становится система энергоснабжения, так как именно она указывает на габаритные характеристики космического аппарата, срок активного существования и конструкцию. Увеличение продолжительности работы системы и повышение ее коэффициента полезного действия считаются одними из актуальных направлений в развитии создания спутников. Целью данной статьи является анализ космических аппаратов и систем их энергоснабжения.

Космические аппараты – это промышленные устройства, применяемые для выполнения всевозможных технических, научно-исследовательских задач в космическом пространстве [1]. Классификация космических аппаратов показывает, что они могут различаться:

- по назначению;
- типу исполнения;

- общей массе;
- типу двигательной установки;
- конструктивным признакам;
- типу управления
- способу наблюдения и др.

Система энергоснабжения космического аппарата – это система, которая гарантирует электропитание иных систем. Также она считается одной из наиболее важных систем, определяющей форму аппарата, срок активного существования, его конструкцию и массу. Ведь выход из строя данной системы энергоснабжения может привести и вовсе к отказу всего аппарата.

В состав системы электропитания (СЭП) входят источники питания электрической энергии (первичный и вторичный), автоматика управления и зарядные и преобразующие устройства [2].

Первичными источниками энергии могут служить солнечные батареи, изотопные генераторы, химические источники тока (топливные элементы, аккумуляторы).

Помимо собственного источника электроэнергии существуют еще и вспомогательные системы, например, система ориентации концентратора солнечной энергии [3].

Систему электроснабжения условно можно разделить на два основных типа:

1) масса СЭП, зависящая от времени работы с энергетическими установками. Как правило, такой тип применяют на КА, когда срок службы необходим до 1-2 месяцев;

2) масса СЭП, не зависящая от времени их работы. Срок службы может варьироваться от пары месяцев до нескольких лет.

И всё же, одним из основных путей решения проблемы энергоснабжения космических аппаратов будет являться преобразование солнечной в электрическую энергию с помощью фотоэлектрических установок, которые базируются на основе солнечных панелей.

Солнечные батареи являются источником электрической энергии в системах энергоснабжения космических аппаратов, включающей полупроводниковые фотоэлектрические устройства.

Солнечные батареи, которые устанавливают на КА, функционируют чаще всего совместно с аккумуляторными (буферными химическими) батареями.

Примером может служить космический аппарат «Кузбасс-300», который является первым спутником в истории нашего региона (Кемеровской области – Кузбасса), отправленным в космос. Такое

знаменательное событие состоялось 9 августа 2022 года с космодрома «Байконур». Данное свершение было реализовано и приурочено к 300-летию Кузбасса школьниками города Кемерово, а также студентами и учеными Кузбасского государственного технического университета (КузГТУ) на спутниковой платформе компании «СПУТНИКС» [4].

Благодаря данному открытию, на базе Центра управления полетами КузГТУ возможно осуществлять дистанционное зондирование Земли, которое позволит провести отслеживание экологической ситуации на территории Кузбасса.

Дистанционное зондирование Земли – это наблюдение поверхности Земли различными средствами, например, авиационными и космическими, которые будут оснащены технической аппаратурой (фото, видео) [5].

Спутник также может передавать голосовые сообщения первой космической рекламы, в которой на международный фестиваль «Ночь Юрия Гагарина» все жители Земли приглашаются в Кузбасс.

Разберем подробнее характеристики спутника. Имеет 4 кг массы с полезной нагрузкой, которая сможет позволить провести наблюдения и изменения на поверхности Земли с помощью оптической камеры. Размеры спутника: 340x100x100 мм. Диапазон рабочих температур находится в пределах -100...+150 °С. А также компонентами являются: плата управления самим спутником, аккумуляторная батарея, 14 солнечных панелей, управление питанием, камера. Срок эксплуатации составляет 4-6 месяцев.

Таким образом, космические аппараты и системы их энергоснабжения являются очень важными темами исследований. Особенно они вызывают интерес у молодых специалистов, поскольку изобретения в данной сфере являются очень перспективными и способствуют не только освоению космоса, но и дистанционному изучению земли.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абламейко, С.В. Малые космические аппараты: пособие для студентов факультетов радиофизики и компьютер. технологий, мех.-мат. и геогр. / С.В. Абламейко, В.А. Саечников, А.А. Спиридонов. – Минск: БГУ, 2012. – 159 с. – (Аэрокосмические технологии). [Электронный ресурс] – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/24750/1/Ablameiko.pdf> (дата обращения: 06.03.2023)

2. Гущин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов: Учебник для вузов / В.Н. Гущин. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с. [Электронный ресурс] – URL: file:///C:/Users/KrisPK/Downloads/100971\_d8c3ea3ae263daf16806b46479697fd7.pdf (дата обращения: 06.03.2023)

3. Худяков, С.А. Космические энергоустановки / С.А. Худяков. – М.: Знание, 1984. – 64 с, ил. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 7). [Электронный ресурс] – URL: <https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/znan/1984/7/kosm-ener.html> (дата обращения: 06.03.2023)

4. Спутник «Кузбасс-300» на связи // Кузбасский государственный технический университет [Электронный ресурс] – URL: <https://kuzstu.ru/news/6412/sputnik-kuzbass-300-na-svyazi> (дата обращения: 06.03.2023)

5. Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование земли: учеб. пособие / Е.Н. Сутырина. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с. [Электронный ресурс] – URL: <https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/sutyrina/distantionnoe/sutyrina-distantionnoe-2013.pdf> (дата обращения: 06.03.2023)

УДК 621.3.077

*Кравчук А.А., Старостина Я.К.*

*Научный руководитель: Гаврилова С.В., канд. техн. наук, доц.*

*Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ПЛАВНОГО ПУСКА НА ОСНОВЕ ТРАНЗИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

Уменьшение доли ручного труда на производстве является одной из неотъемлемых составляющих научно-технического прогресса. В следствии этого применение грузоподъемного оборудования непосредственно влияет на эффективность производства и на производительность предприятия в целом. При пуске и торможении электропривода, применяемого в данном оборудовании, имеют место процессы, оказывающие негативное влияние на КПД и долговечность установки.

Важнейшим элементом электрооборудования подъемно-транспортных машин является электрический двигатель. Он имеет значительные преимущества перед двигателями других типов: возможность выбора мощности в широком диапазоне; сближение с

механизмом; получение требуемого диапазона частот вращения с плавным регулированием и осуществление автоматизации производственного процесса простыми средствами; быстрота пуска и остановки; большой срок службы; простота в ремонте и эксплуатации.

Основной проблемой в процессе перемещения груза, подвешенного при помощи гибкой или упругой связи, являются колебания при пуске и торможении. Так, например, электропривод крановой тележки должен не только выполнить перемещение груза на определенное расстояние, но и свести к нулю колебания груза, возникающие при данном процессе. В противном случае колебания приводят к уменьшению быстродействия, так как будет необходимо время для их затухания. [1].

В модели системы управления приводом перемещения электрической тали (ЭТ) применяется механическая система, представленная структурной схемой, приведенной на рис. 1.

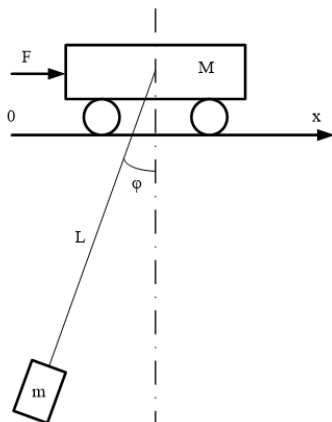


Рис. 1 Механическая система привода перемещения электрической тали

Где  $M$  – масса тележки,  $m$  – масса груза,  $L$  – длина подвеса,  $F$  – сила, приложенная к тележке,  $\phi$  – угол отклонения груза.

Динамика системы описывается системой уравнений

$$\begin{aligned} (M + m)\ddot{x} - mL(\ddot{\phi}\cos\phi - \dot{\phi}^2\sin\phi) + k_{\text{ТР}2}\dot{x} &= F(t, \phi, \dot{\phi}, x, \dot{x}) \\ mL^2\ddot{\phi} - mL\ddot{x}\cos\phi + mgL\sin\phi + k_{\text{ТР}1}^*\dot{\phi} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x(t)$  – закон движения тележки,  $g$  – ускорение силы тяжести,  $k_{\text{ТР}1}^*, k_{\text{ТР}2}$  – коэффициенты трения.

В линейной постановке уравнения динамики системы примут вид

$$\begin{cases} (M + m)\ddot{V} - mL\ddot{\phi} + k_{\text{ТР}2}V = F(t) \\ L\ddot{\phi} - \dot{V} + g\phi + k_{\text{ТР}1}\dot{\phi} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где  $k_{\text{ТР}1} = k_{\text{ТР}1}^* / mL$

Для обеспечения плавного пуска и торможения предлагается использовать устройство плавного пуска на основе транзисторного регулятора напряжения (ТрРН) [2], принципиальная схема которого приведена на рис.2. Входное переменное напряжение поступает с концов статорных обмоток двигателя на трехфазный диодный мост. Выпрямленное напряжение поступает на транзисторы Т1 и Т2, которые подключены к нулевому проводу питающего напряжения.

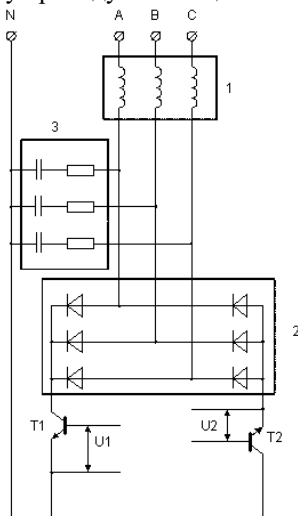


Рис. 2 Схема транзисторного регулятора напряжения

- 1 - статорные обмотки двигателя.
- 2 - трехфазный выпрямитель.
- 3 - RC-цепи.

На транзисторы Т1 и Т2 подается ШИМ-сигнал. При равных по длительности и синхронных импульсах обеспечивается плавный пуск. При неравных по длительности импульсах двигатель переходит в режим динамического торможения. RC цепи необходимы для снижения коммутационных перенапряжений.

Использование предлагаемого устройства плавного пуска на основе транзисторного регулятора напряжения позволяет осуществлять плавный пуск и динамическое торможение асинхронного двигателя, что



приводит к снижению колебаний груза в следствии плавного нарастания и снижения скорости.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Акуленко Л.Д. Управление колебаниями / Б.Н. Соколов, Л.Д. Акуленко, Ф.Л. Черноушко / М.: Наука, 1980.
2. Доманов А.В. Система регулирования в автоматизированных сталеплавильных печах. / В.И. Доманов, А.В. Доманов, И.Ю. Муллин. - Пенза XII МНТК Информационно-вычислительные технологии и их приложения. - 2010.

*УДК 535-15*

*Кузин М.М.*

*Научный руководитель: Никифоров Д.К., канд. физ.-мат. наук, доц.  
Калужский филиал Московского государственного технического  
университета им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия*

## СОЗДАНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕЛИЙ-НЕОНОВЫХ ЛАЗЕРОВ

Создание лазера опирается на использовании процессов, которые происходят в активных средах (рабочих средах лазера). Они определяют механизмы возбуждения и оптимальные выходные параметры этих устройств. Лазеры, в которых активной средой является газ или смесь газов, нашли наиболее широкое применение в различных областях науки и техники. Основным достоинством газов как рабочих веществ лазера является их высокая оптическая однородность. Гелий-неоновый лазер — лазер, рабочим телом которого служит смесь гелия и неона (в пропорции 5:1)

В смеси гелия и неона при протекании газового разряда образуются возбуждённые атомы данных элементов (энергия накачки подаётся от двух электрических разрядников). Среда становится способной к лазерной генерации, когда наступает инверсия заселённости уровней. Известно, что инверсия населённости возникает в активной среде газового лазера в результате последовательности элементарных процессов столкновения, которые приводят к образованию возбуждённых частиц на верхнем уровне и к снятию возбуждения частиц на нижнем уровне лазерного перехода. Физические механизмы, которые являются ответственные за эти процессы определяют условия, при которых формируется инвертированная

заселенность в конкретном типе газового лазера; параметры этих процессов определяют максимальные числовые значения конкретных выходных характеристик реальных лазерных систем.

Важную роль в физической картине явлений, происходящих в активной среде газового лазера, играют процессы переноса, передачи возбуждения между двумя состояниями метастабильным уровнем гелия и излучательным уровнем неона  $2p^55s^2[1/2]$ . Характеристики этих процессов определяют скорость теплопередачи, что, в свою очередь, ограничивает удельную мощность, которая может подаваться на активная среда газоразрядного лазера.

При переходе атома неона из состояния  $2p^55s^2[1/2]$  в состояние  $2p^53s^2[3/2]$  испускается излучение с длиной волны 632,8 нм. Резонатор такого лазера обычно состоит из двух зеркал — полностью непрозрачного с одной стороны колбы и второго, пропускающего через себя около 1 % падающего излучения. Оптическая однородность газов допускает использование в лазерах резонаторов с большим расстоянием между зеркалами, что облегчает получение монохроматичности излучения.

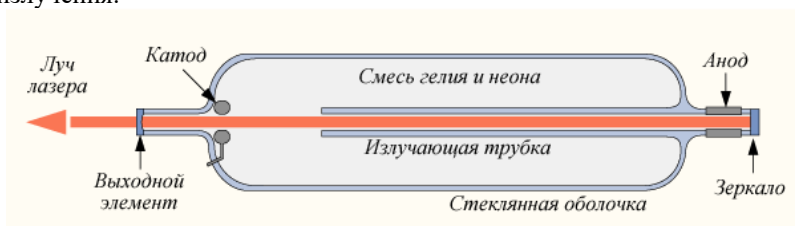


Рис. 1 Устройство гелий-неонового лазера

При правильном выборе зеркал резонатора можно получить лазерную генерацию и на других длинах волн: 543,5 нм (зелёный), 594 нм (жёлтый) или 612 нм (оранжевый).

Газовые лазеры, излучающие в видимом и инфракрасном диапазонах спектра, имеют линию усиления с полосой пропускания схемы, которая значительно превышает полосу пропускания оптического резонатора, так что стабильность частоты лазерного излучения почти полностью определяется стабильностью оптической длины его резонатора. Следовательно, проблема стабилизации частоты лазерных излучений сводится к стабилизации длины резонатора и может быть решена в принципе двумя способами, а именно параметрической или активной стабилизацией.

Первый способ характеризуется применением компенсации, которая уменьшает температурные колебания параметров резонатора и

обеспечивает термо- и баростатическое регулирование его объема. Более того, в этом случае также важно стабилизировать мощность накачки активного элемента, чтобы поддерживать на постоянном значении параметры плазмы внутри него и, в частности, постоянную концентрацию электронов в плазменном разряде, обеспечивая таким образом постоянную длину оптического пути в лазерном резонаторе. Однако существенными недостатками являются низкая воспроизводимость излучаемых длин волн и технические трудности при применении мер, необходимых для пассивной стабилизации.

Активная стабилизация частоты более перспективна. Она состоит в выделении сигнала расстройки лазерного резонатора и применяя его к управляющему устройству. Для стабилизации частоты излучения газовых лазеров используются системы, имеющие элемент, состоящий из частотного дискриминатора, который преобразует отклонение частоты генератора в ошибочный сигнал постоянного тока или модулированный сигнал переменного тока. Амплитуда и полярность (фаза) сигнала ошибки представляют величину и направление отклонения частоты. После усиления и фазовой демодуляции сигнал ошибки используется для возвращения частоты генерации лазера к нулевой частоте дискриминатора. Долговременная стабильность и воспроизводимость частоты излучения полностью определяются стабильностью нулевой частоты дискриминатора. Проектирование и анализ системы автоматического регулирования частоты не представляют особой проблемы и, следовательно, наиболее важны.

Спектральная ширина полосы излучения гелий-неонового лазера довольно мала и составляет около 1,5 ГГц. Её значение определяется главным образом доплеровским уширением излучения атомов неона. Узость спектра генерации делает гелий-неоновые лазеры хорошими источниками излучения для использования в интерферометрии, голографии, спектроскопии.

Гелий - неоновые лазеры имеют много промышленных и научных целей помимо тех, что представлены выше. Они широко используются в лабораторных демонстрациях в области оптики из-за их относительно низкой стоимости и легкости в эксплуатации по сравнению с другими видами лазеров. Также лазер используется в устройствах для чтения оптического диска или считывания штрихкодов.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. - Физические процессы в газовых лазерах, «Журнал советских лазерных исследований», 1986, 207-323.

2. Алякишев С.А., Гордеев Д.В., Остапченко Е.П., Колесова Э.Б., Коронкевич В.П.- Стабилизированный гелий-неоновый лазер, «Методы измерения», с.42-44 (1968).

3. Белоус В.В., Костин В.Н.. Влияние неоднородного высокочастотного электрического поля на параметры гелий-неонового лазера, «Советский физический журнал», 1973, с.1033-1035.

4. Кошеляевский Н.Б., Мухамедгалиева А.Ф., Татаренко В.М., Титов А.Н. Исследования и стабилизация частоты гелий-неонового лазера, «Методы измерения», 1970, с.1170-1173.

*УДК 620.9*

*Купин М.Ю.*

*Научный руководитель: Ванькова Т.Е., доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Электроэнергетика играет важную роль в экономическом росте и состоянии страны в целом. Несмотря на реформы, энергетическая отрасль стабильна и надежна. Однако, на запасах ресурсов, от которых она зависит, начинаются проблемы. С увеличением населения и ростом потребления, истощение ресурсов становится все более значимой проблемой. Это приводит к нехватке доступных по стоимости ресурсов и техногенным изменениям среды, что создает угрозы для будущих поколений и национальной безопасности страны.

Энергия и ее эффективное использование являются одним из важнейших факторов выживания и развития цивилизации. Сегодня энергия является основным индикатором благосостояния нации. В связи с этим, энергетическая безопасность занимает важное место в национальной безопасности страны. Необходимо внедрить новые методы и технологии для более эффективного использования энергии, сокращения потребления и поиска альтернативных источников энергии. Не решение этих проблем станет важным шагом для создания устойчивой и безопасной будущей экономики.

Кроме того, важно заботиться о сохранении окружающей среды при производстве и потреблении энергии. Нарастающая проблема изменения климата требует от нас пересмотра привычных подходов к энергоэффективности и поиска новых, более экологически чистых источников энергии. В этом контексте развитие альтернативной

энергетики, такой как ветро- и солнечная, а также гидроэнергетика, является одним из наиболее перспективных направлений.

Успешное решение проблемы энергетики также требует внедрения инноваций в области управления и технических решений, чтобы улучшить эффективность производства и распределения энергии. Более того, достижение энергетической безопасности требует всеобщего участия и поддержки со стороны правительства, предпринимателей и общественности. Необходимо объединить усилия в борьбе с проблемами энергетики для обеспечения стабильного экономического роста и благосостояния всех слоев населения.

Одной из задач, которую нужно решать в энергетике, является повышение энергоэффективности. Это позволит не только сократить объем потребления энергии, но и значительно уменьшить негативное воздействие производства на окружающую среду. Энергоэффективность включает в себя как введение новых технологий и современных оборудований, так и повышение квалификации сотрудников и оптимизацию процессов производства.

Также следует отметить, что развитие энергетики должно строиться на принципах экономической и экологической устойчивости. Это означает, что необходимо учитывать социальные и экологические аспекты в принятии решений, чтобы обеспечить баланс между экономическими целями и сохранением окружающей среды.

В итоге, повышение эффективности использования энергии, внедрение новых технологий и инновационных решений, создание более устойчивой и экологически чистой производственной базы, а также учет социальных и экологических аспектов в развитии энергетики, станут важными факторами обеспечения энергетической безопасности и устойчивого развития в будущем.

Для достижения энергетической безопасности необходимо также учитывать национальные интересы и внешний контекст, особенно при выработке стратегических решений. Поэтому важна сотрудничество с другими странами, особенно в области энергетики. Страны должны работать совместно для обеспечения устойчивых поставок энергии, поддержки развития альтернативных источников энергии и создания новых международных стандартов в области энергетики.

Также необходимо обратить внимание на интересы регионов и национальных меньшинств при реализации энергетических проектов и решений. Не следует ущемлять права и интересы местных сообществ, а наоборот, обеспечивать их активное участие в процессах принятия решений и распределения выгод от энергетических проектов.

Наконец, важно учитывать возможность кризисов и экстренных ситуаций, связанных с энергетикой. Страны должны готовиться к таким ситуациям заранее, создавая системы экстренного реагирования и зарезервированные запасы энергоресурсов.

В целом, для обеспечения энергетической безопасности требуется комплексный подход и взаимодействие всех заинтересованных сторон, от правительств и предпринимателей до общественности и международных организаций. Все эти усилия должны быть направлены на создание устойчивой, экологически чистой и безопасной энергетической системы.

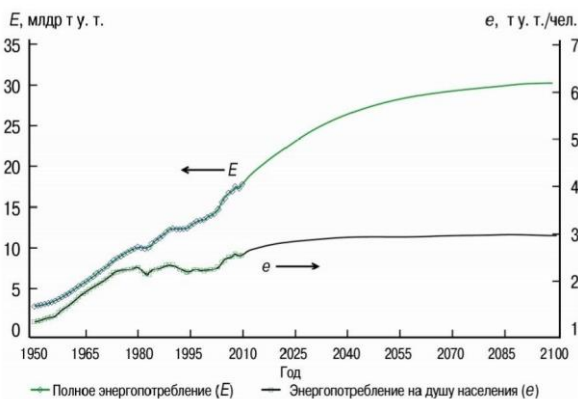


Рис. 1

Интересно, что вторая проблема экологического характера усугубляется с ростом энергетики, которая вносит свой вклад в более 50% техногенных выбросов парниковых газов в атмосферу. Это вызывает проблемы не только с климатом, но и с литосферой и гидросферой, что приводит к нестабильности погоды и увеличению аварий на энергетических объектах. Ещё одна проблема заключается в неравномерном распределении энергоресурсов на Земле, что оставляет людей в наиболее развитых странах без необходимого количества ресурсов. Это делает важным исследование нетрадиционных источников энергии, так как традиционные источники не бесконечны и не всегда можно на них полагаться.

Энергетическая отрасль быстро загрязняет не только атмосферу, но и литосферу и гидросферу. Некоторые территории в России, где проживает половина населения, считаются экологически неблагоприятными. Энергетические потоки соизмеримы или даже превосходят потоки в природных процессах, что негативно отражается

на климате и погоде. Крупномасштабные аварии на энергетических объектах могут привести к техногенным катастрофам, чего недавно стали свидетелями всех. Также существует проблема неравномерного распределения энергоресурсов на Земле, из-за чего многие развитые страны испытывают их дефицит. К сожалению, это создает основу для третьей проблемы, так как лишь четверть населения Земли, проживающая в высокоразвитых странах, использует 80% всех добываемых в мире ресурсов.

Таблица 1 – Сопоставление мощностей потоков энергии природного и антропогенного характера

Параметры	Энергия, ТВт	
	в настоящее время	в середине XXI в.
Антропогенная энергия	12...14	55... 100
Мощность электростанций	4,8	25...40
Тепловой потенциал океанов и суши	2,0...2,5	
Приливы и отливы	5...6	
Ураганы (торнадо)	20...30	
Землетрясения	25...40 и более	

Даже среди ведущих государств, объединённых в "большую восьмёрку", неодинаково обеспечена энергообеспеченность - отношении объёма наличных энергоресурсов к потреблению. Более 65% мировых запасов нефти и 34% природного газа сосредоточены в регионе, простирающемся от Центральной Азии и Каспийского моря до Персидского залива, который характеризуется наибольшей нестабильностью в политическом и социальном плане. Необходимо обратить внимание на нетрадиционные источники энергии, так как запасы традиционных источников не бесконечны, а ГЭС и атомная энергетика не могут быть использованы везде. Это может занять десятилетия из-за капиталоемкости и сложности в реализации проектов. Чтобы сохранить окружающую среду, следует сосредоточиться на развитии "воспроизводимых" и экологически чистых видов энергетике.

Сегодня энергетическая отрасль находится в кризисе, производственные фонды устарели и требуют замены. Мы предлагаем акционирование и привлечение инвестиций в эту отрасль, а также программы по снижению энергоёмкости производства. Со стороны государства требуется разработать меры по снижению издержек и потерь при производстве и распределении электроэнергии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукутин Б. В., Суржикова О. А., Шандарова Е. Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. - М.: Энергоатомиздат, 2008. — 231 с.
2. Безруких П. П. Роль возобновляемой энергетики в энергосбережении в мире и России электрика. — 2004. — № 4. — С. 3–5.
3. Ушаков В. Я. Возобновляемая и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды. Томск: Изд-во «СибГрафикс», 2011. — 137 с.

*УДК 662.767.2; 62-621.2*

*Леонов Е.С.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **КОМБИНИРОВАННОЕ СЖИГАНИЕ БИОГАЗА И ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Органическая фракция различных форм отходов, таких как твердые бытовые и коммунальные отходы (ТБО, ТКО), осадок сточных вод, навоз скота и промышленные сточные воды, может разлагаться в процессе анаэробного сбраживания с образованием биогаза [1]. Биогаз содержит 40...60% метана  $\text{CH}_4$ , поэтому может использоваться как альтернативное топливо [2]. Но так как в биогазе количество метана в два раза меньше, чем в природном газе ( $\text{CH}_4 = 85...95\%$ ), это приводит к тому, что теплота сгорания биогаза существенно ниже, чем у природного газа и для получения аналогичного количества энергии надо сжигать больший объем биогаза, чем природного [3]. Существуют ряд предложений по использованию биогаза в системах газоснабжения населенных пунктов [4]. В системах возможно использования биогаза, полученного в биогазовых установках [4] или выделяемого на полигонах твердых бытовых отходов [5]. Для свалочного газа характерен неравномерный выход с изменением содержания метана [6], а также возможное низкое содержание метана – до 30% [7].

В связи с этим многие исследователи рассматривают вариант совместного сжигания биогаза с природным газом для увеличения теплотворной способности газообразного топлива и стабилизации его состава.



В работе [8] рассматривается два сценария смешивания биогаза и природного газа, при сжигании в газовой турбине. В первом сценарии соотношение смешивания переменная величина, во втором же, это значение было постоянным. Нас интересует смешение 50%, т.е. второй случай, при котором эксергетическая эффективность повышается на 8,7%. Кроме того, общая стоимость системы снижается на 16,42%.

В исследовании [9] определялась возможная доля биогаза в топливной смеси биогаза и природного газа (Рис. 1) при сжигании в микрогазовой турбине.

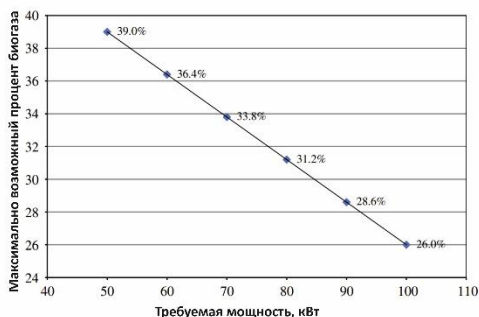


Рис. 1 Максимально возможный процент биогаза в топливной смеси в зависимости от требуемой мощности [9]

Долю смешивания регулировали таким образом, чтобы такие показатели как низшая теплота сгорания топлива и температура факела были примерно равны показателем природного газа, во избежания конструктивных изменений. Это показало, что максимальная доля биогаза увеличивается на 13% при уменьшении мощности со 100 кВт до 50 кВт. Эти результаты представляют рабочее окно, в котором микрогазовой турбине, предназначенный для природного газа в качестве топлива, может работать на смеси биогаза и природного газа без каких-либо модификаций.

В работе [10] авторы рассмотрели экономический аспект совместного использования биогаза и природного газа. Влияние соотношения смешивания на стоимость тепловой энергии представлена на (Рис. 2), а на электроэнергию на (Рис. 3).

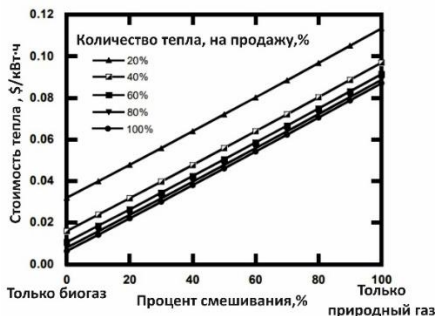


Рис. 2 Влияние процента смешивания и количества тепла на продажу на себестоимость тепла [10]

Как говорит автор, разрыв стоимости тепла по отношению к проценту его продажи тепла почти одинаков для всех соотношений смешивания. Увеличение коэффициента смешивания (т. е. сжигание большего количества природного газа) при фиксированном значении продажи тепла естественным образом увеличивает его стоимость.

В связи с тем, что в природном газе больше метана и его теплотворная способность выше, то чем его больше в составе топлива, тем дороже единица тепловой энергии при сжигании такой смеси, что и объясняет линейную зависимость рисунков.

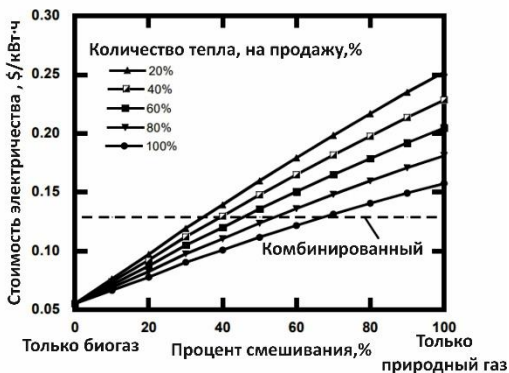


Рис. 3 Влияние процента смешивания и количества тепла на продажу на себестоимость электроэнергии [10]

Благодаря использованию чистого биогаза, стоимость электроэнергии у ТЭЦ намного ниже, чем при других метода, что обеспечивает конкурентоспособность ТЭЦ с точки зрения экономики.

В работе были рассмотрены исследования авторов в использовании смеси природный газ– биогаз, в разных вариациях, в основном в газотурбинных установках, были сделаны выводы, что использования смеси природный газ-биогаз, позволяет повысить качество биогаза без использования дорогостоящих модернизаций, а также позволяет избежать конструкционных изменений горелок и двигателей. Сам же природный газ может выступать в качестве запасного топлива, в связи с переменным составом биогаза.

Отмечена выгода с экономической точки зрения, в дальнейшем будет проанализированы методики производства электроэнергии с использованием биогаза.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кущев, Л.А. Теоретическое описание процесса анаэробной ферментации в биогазовых установках / Л.А. Кущев, Д.Ю. Сулов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – №6. – С. 227–230.

2. Кущев, Л.А., Сулов Д.Ю. Расчет экономической эффективности использования биогазовой установки с барботажным реактором // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – №5. – С. 183–186.

3. Сулов, Д.Ю. Определение энергетических показателей биогазового топлива / Д.Ю. Сулов, Р.С. Рамазанов // Энергетические системы. – 2018. – № 1. – С. 240-247.

4. Сулов, Д.Ю. Применение биометана для газоснабжения населенных пунктов / Д.Ю. Сулов // Энергетические системы. 2017. № 1. С. 385-389.

5. Трубаев, П.А. Оценка энергетического потенциала свалочного газа / П.А. Трубаев // Энергетические системы. – 2021. – № 1. – С. 91-105.

6. Мониторинг выхода биогаза с тела полигона ТКО // П.А. Трубаев, А.С. Клепиков, О.В. Веревкин и др. // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 252-259.

7. Исследование выхода свалочного газа с тела полигона ТБО / П.А. Трубаев, О.В. Веревкин, Б.М. Гришко // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 436-443.

8. Optimization strategies for mixing ratio of biogas and natural gas co-firing in a cogeneration of heat and power cycle / A.D. Zare, R.K. Saray, S.

Mirmasoumi, K. Bahlouli // Energy. Pergamon. – 2019. – Vol. 181. – P. 635–644.

9. Experimental evaluation and ANN modeling of a recuperative micro gas turbine burning mixtures of natural gas and biogas / H. Nikpey, M. Assadi, P. Breuhaus, P.T. Mørkved // Appl Energy. Elsevier. – 2014. – Vol. 117. – P. 30–41.

10. Kang, J.Y. Economic evaluation of biogas and natural gas cofiring in gas turbine combined heat and power systems / J.Y. Kang, T.S. Kim, K.B. Hur // Appl Therm Eng. – 2014. – Vol. 70(1). – P. 723-31.

**УДК 621.438**

**Леонов Е.С.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **СЖИГАНИЕ БИОГАЗА В МИКРОГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ**

Микрогазовая турбина считается одной из перспективных технологий, поскольку она обладает преимуществами высокого отношения мощности к массе, высокой топливной гибкости, низких выбросов и низких затрат на техническое обслуживание. Микрогазовая турбина обычно предназначена для природного газа, керосина и других видов ископаемого топлива, но существует возможность использования других видов топлива, например, биогаз. Который образуется, в результате ферментации органических соединений на свалках твердых коммунальных отходов, средним составом — это 40-60%  $\text{CH}_4$  и 20-40%  $\text{CO}_2$ , 20-40%  $\text{N}_2$ , так же может содержать примеси  $\text{H}_2\text{S}$  [1].

В данной статье рассматривается анализ сжигания биогаза в микрогазотурбинных установках (МТУ).

В работе [2] показано, что существует несколько препятствий, ограничивающих применение биогаза в микрогазовой турбине, поскольку характеристики биогаза отличаются от характеристик природного газа. Утверждается, что перед использованием неочищенного и неподготовленного биогаза в микрогазовой турбине требуется ее модернизация, в связи с отсутствующем инжектором, способным обеспечить адекватное смешивание топлива и воздуха, а

также отсутствие камеры сгорания, отвечающей таким требованиям, как стабильное сгорание, низкие выбросы  $\text{NO}_x$  и высокая эффективность при изменении содержания метана, что характерно для переменного состава свалочного газа.

Использование неочищенного биогаза может привести к неправильной работе турбин или даже к повреждению оборудования из-за различных характеристик топлива. Основная проблема — это низкая теплотворная способность в сравнении с природным газом [3].

При утилизации биогаза в газовой турбине, большое содержание  $\text{CO}_2$  в топливе оказывает большое влияние на структуру пламени и стабильность горения [4]. В работе [4] произведено моделирование горения с различным коэффициентом избытка воздуха со снижением средней температуры (Рис. 1).

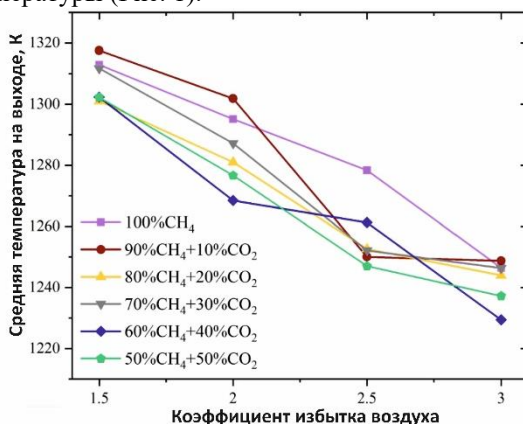


Рис. 1 Средняя температура на выходе при различных коэффициентах избытка воздуха [4]

При этом снижаются выбросы  $\text{CO}$  и  $\text{NO}$ . Минимальными они становятся при коэффициенте избытка воздуха равным 2-2,5.

В работе [5] исследовались характеристики газового потока и смешения топлива и воздуха для определения особенностей процесса горения в камере сгорания. Распределение температуры в камере сгорания может непосредственно отображать характеристики сгорания в камере сгорания. Численный расчет является наиболее распространенным методом изучения распределения температуры в камере сгорания. Анализируя распределение температурного поля при различных условиях работы, можно качественно проанализировать характеристики горения в камере сгорания. Изменение угла закрутки вызовет изменение поля течения в камере сгорания (Рис. 2).

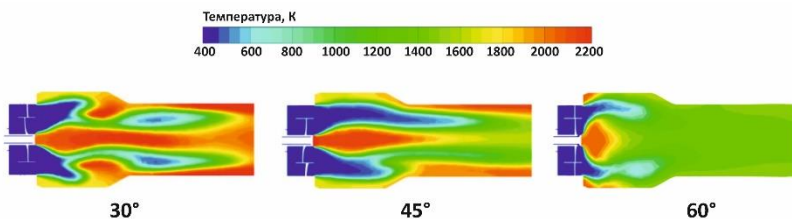


Рис. 2 Распределение температуры по времени для различных углов закрутки [5]

Согласно распределению температуры, приведенному на (Рис. 2), площадь высокотемпературной области в камере сгорания будет увеличиваться с увеличением угла закрутки, а температурное распределение будет становиться равномерным.

При низких мощностях и температурах использование биогаза с большей вероятностью вызовет помпаж. Углекислый газ в составе биогаза также могут влиять на скорость горения биогазового пламени, что может привести к срыву пламени и отрыву пламени от топливного сопла. Однако это может увеличить излучение и теплопередачу камеры сгорания и дымовых газов [6].

В работе [6], так же, как и в [5] говорится, что биогазовое топливо можно стабилизировать с помощью сильных закрученных потоков. За счет сильного завихрения создается эффективная внутренняя рециркуляционная зона и происходит воспламенение несгоревшего биогаза, тем самым стабилизируя биогазовое топливо даже при относительно низкой скорости горения. Применение биогаза в качестве потенциального топлива из-за его низкой теплотворной способности и примесей должно стать возможным благодаря эффективной конструкции камеры сгорания микрогазовой турбины, а именно способность камеры сгорания воспламеняться и выдерживать внезапные изменения нагрузки двигателя, эффективного горения на протяжении всей работы для достижения необходимых показателей [6].

Применение биогаза в качестве местного топлива в МТУ целесообразно в системах автономной и распределенной генерации. Например, вопросы энергообеспечения остро стоят для удаленных объектов из-за высоких затрат подведения энергоресурсов [7]. Одним из возможных видов альтернативного биогазового топлива является биогаз, выделяемый с полигонов ТКО [8]. Данный биогаз, в отличие от получаемого на биогазовых станциях, характеризуется непостоянством состава [9, 10], что вызывает затруднения в его использовании в

газопоршневых электростанциях. Микрогазовые турбины, в которых процесс сгорания выделен в отдельную газовую камеру, позволяют осуществлять большую степень регулировки, чем ГПА.

#### Выводы

В работе была проанализирована утилизация биогаза в микрогазотурбинных установках. Был сделан вывод, влияние на сжигания биогаза в МТУ оказывают следующие факторы:

1) состав биогаза, включаю большое количество  $\text{CO}_2$ , которое как было сказано выше, влияющий на температуру, скорость и стабильность пламени;

2) низкая теплотворная способность;

3) примеси.

При рассмотрении замены природного газа на биогаз в МТУ нужно учитывать эти факторы при моделировании конструктивных особенностей камеры сгорания и регулирования процесса и подачи топ дивно-воздушной смеси.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов, Д.Ю. Разработка системы газоснабжения сельскохозяйственного предприятия с использованием биогаза // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – №4. – С. 183–186.

2. Liu, A. Experimental study of biogas combustion and emissions for a micro gas turbine / A. Liu, Y. Yang, L. Chen, W. Zeng, C. Wang // Fuel. – 2020. – Vol. 267. – P. 117312.

3. Рамазанов, Р.С., Суслов Д.Ю., Куцев Л.А., Семиненко А.С., Уваров В.А. Теоретическое описание процесса подогрева газозоудной смеси в корпусе горелки с тепловым рассекателем // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2021. – №8. – С. 26–34.

4. Chen, X. Numerical analysis of the combustion in micro gas turbine with methane/biogas fuels / Ch. Xiaoyu, Z. Weiguo, J. Yunfei, T. Junying // Arab J Sci Eng, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. – 2021. – Vol. 46. – № 12. – P. 11897–11907.

5. Liu, A. Numerical and experimental study on combustion characteristics of micro-gas turbine biogas combustor / A. Liu, R. Fan, Q. Liu, L. Xi, W. Zeng // Energies. – 2022. – Vol. 15.– № 21. – P. 8302.

6. Bazooyar, B. The design strategy and testing of an efficient microgas turbine combustor for biogas fuel / B. Bazooyar, H. Gohari Darabkhani // Fuel. – 2021. – Vol. 294. – P. 120535.

7. Башмур, К.А. Гидродинамический модуль с рельефом для автономного электроснабжения технологического оборудования / К.А. Башмур, Э.А. Петровский, Ю.Н. Шадчина // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 218-223.

8. Трубаев, П.А. Оценка энергетического потенциала свалочного газа / П.А. Трубаев // Энергетические системы. – 2021. – № 1. – С. 91-105.

9. Мониторинг выхода биогаза с тела полигона ТКО // П.А. Трубаев, А.С. Клепиков, О.В. Вережкин и др. // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 252-259.

10. Исследование выхода свалочного газа с тела полигона ТБО / П.А. Трубаев, О.В. Вережкин, Б.М. Гришко // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 436-443.

**УДК 620.92**

**Лесниченко И.Н.**

*Научный руководитель: Гибадуллин Р.Р., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ**

Возобновляемая энергетика в России в основном состоит из гидроэлектроэнергии. В 2010 году страна была шестым по величине производителем возобновляемой энергии в мире. Около 179 ТВтч энергии, производимой в России, приходится на возобновляемые источники энергии из общего экономически обоснованного потенциала в 1823 ТВтч. 16% электроэнергии в России вырабатывается за счет гидроэнергетики, и менее 1% - за счет всех других возобновляемых источников энергии вместе взятых. Примерно 68% электроэнергии в России вырабатывается за счет тепловой энергии и 16% за счет атомной энергии.

Хотя большинство крупных гидроэлектростанций в России построено еще в советскую эпоху, изобилие ископаемого топлива в Советском Союзе и Российской Федерации привело к тому, что потребность в разработке других возобновляемых источников энергии невелика. К 2020 году на долю ветра и солнца приходится всего 0,2% выработки электроэнергии по сравнению со средним мировым показателем в 10%. [1, 151]

### **История**

Большинство возобновляемых источников энергии в России являются новыми и выросли за последние несколько лет. Однако



гидроэнергетика в России имеет долгую историю, восходящую к советской эпохе. Быстрое развитие гидроэнергетики в Советском Союзе началось в 1930 году, когда общая установленная мощность составила 600 МВтч. В Советском Союзе в 1941 году была построена первая ветряная мельница мощностью 100 кВт. Ко времени распада Советского Союза в 1990 году ее общая установленная мощность составляла 65 ГВтч. Крупнейшие плотины, которые в настоящее время есть в России, включая Саяно-Шушенскую плотину, были построены в 1950-х и 1960-х годах. С 1970 по 2000 годы Советский Союз и Россия сосредоточились главным образом на "традиционных" источниках энергии: тепловой, гидро- и атомной. Однако в 1986 году советское правительство объявило о новых энергетических целях, которые включали дальнейшее строительство гидроэлектростанций, а также начало мелкомасштабного использования солнечной энергии и ветра для производства электроэнергии. В целом, советская энергетическая политика была сосредоточена на ядерной и тепловой энергетике, хотя возобновляемыми источниками энергии не пренебрегали полностью. Распад Советского Союза помешал достижению этих целей.

С образованием Российской Федерации в 1990-х годах большинство крупных плотин, которые были построены в Советском Союзе, прекратили строиться. Кроме того, постсоветский экономический спад привел к разрушению многих объектов инфраструктуры страны. Использование нефти и газа для производства энергии имело приоритет в России, а возобновляемые источники энергии игнорировались. Эта политика продолжалась до 2008 года, когда Медведев объявил о реформировании энергетической политики России в попытке больше сосредоточиться на возобновляемых источниках энергии. С тех пор наблюдается быстрое развитие новых возобновляемых источников энергии.

### **Текущее состояние**

Россия является одним из крупнейших в мире производителей энергии, большую часть которой она получает из нефти, природного газа и угля. Сосредоточенность страны на этих ресурсах для производства и экспорта, которые составляют 80% доходов от внешней торговли, означает, что она уделяет мало внимания возобновляемой энергетике. Из имеющихся в России 203 ГВт генерирующих мощностей 44 ГВт приходится на гидроэлектроэнергию, 307 МВт - на геотермальную энергию, 15 МВт - на ветер и незначительное количество - на другие возобновляемые источники. В 2009 году российская энергетическая отрасль выработала в общей сложности 992 ТВтч электроэнергии, из которых 176 ТВтч было произведено

гидроэлектростанциями. Некоторые гидроэлектростанции России устарели и нуждаются в дополнительных инвестициях, как показала авария на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году.

Президент Дмитрий Медведев объявил в мае 2010 года, что российское правительство настоятельно рассмотрит возможность приобретения электроэнергии, произведенной из возобновляемых источников энергии, в попытке стимулировать развитие возобновляемой энергетики. Правительство планирует, что 4,5% вырабатываемой в России энергии будет поступать из возобновляемых источников, не связанных с гидроэлектростанциями. Кроме того, в ноябре 2010 года правительство одобрило программу стоимостью 300 миллиардов долларов США, направленную на повышение энергоэффективности фабрик и зданий; оно также объявило о планах строительства восьми заводов по производству энергосберегающих ламп, поощрения переработки отходов и поддержки строительства завода по производству гибридных автомобилей. В конце 2009 года Медведев объявил, что хочет сократить потребление энергии в России на 40% к 2020 году. По состоянию на 2011 год развитие замедлялось низкими инвестициями, экономической нестабильностью, низким общественным спросом и низкими тарифами на тепло и электроэнергию. Субсидии на природный газ являются еще одним препятствием на пути развития возобновляемой энергетики. Россия также пока недостаточно сделала для создания надлежащих условий для развития возобновляемой энергетики. [2, 168]

### **Гидроэнергетика**

Гидроэнергетика является наиболее используемой формой возобновляемой энергии в России, и в России существует большой потенциал для более широкого использования гидроэнергетики. В России насчитывается 102 гидроэлектростанции мощностью более 100 МВт, что делает ее пятой в мире по производству гидроэнергии. Она также занимает второе место в мире по гидроэнергетическому потенциалу, однако освоено лишь 20% этого потенциала. В России сосредоточено 9% мировых гидроресурсов, в основном в Сибири и на Дальнем Востоке страны. В конце 2005 года генерирующая мощность гидроэлектростанций в России составляла 45 700 МВт, и еще 5648 МВт находились в стадии строительства. Всемирный энергетический совет считает, что Россия обладает большим потенциалом для использования своих гидроресурсов, с теоретическим потенциалом около 2295 ТВтч в год, при этом 852 ТВтч являются экономически целесообразными.

Крупнейшими плотинами в России являются Саяно-Шушенская плотина, установленная мощность которой составляет 6400 МВт;

Красноярская плотина (6000 МВт); Братская плотина (4500 МВт); Усть-Илимская плотина (4320 МВт) и Зейская плотина (1330 МВт). Одними из самых последних проектов плотин являются Бурейская плотина (2010 МВт) и Ирганайская плотина (800 МВт). В настоящее время строятся плотины Богучаны (1920 МВт), Зеленчукская плотина (320 МВт), Зарамагская плотина (352 МВт) и Нижне-Черекская плотина (60 МВт). РусГидро - крупнейшая гидроэнергетическая компания в России и второй по величине производитель гидроэлектроэнергии в мире. В октябре 2010 года China Yangtze Power, крупнейшая гидроэнергетическая корпорация Китая, и российская энергетическая компания "ЕвроСибЭнерго" подписали соглашение о сотрудничестве с целью расширения производства гидроэлектроэнергии в России и экспорта энергии на северные территории Китая.

### **Геотермальная энергия**

Геотермальная энергия является вторым по распространенности видом возобновляемой энергии в России, но составляет менее 1% от общего объема производства энергии. Первая геотермальная электростанция в России была построена в Паужетке, Камчатка, в 1966 году, мощностью 5 МВт. Общая установленная мощность геотермальной электростанции в 2005 году составляла 79 МВт, при этом 50 МВт поступало от станции в Верхне-Мутновском. В настоящее время Россия разрабатывает электростанцию мощностью 100 МВт в Мутновском районе и электростанцию мощностью 50 МВт в Калининграде. Большая часть геотермальных ресурсов в настоящее время используется для обогрева населенных пунктов на Северном Кавказе и Камчатке. Половина производства геотермальной энергии используется для обогрева жилых домов и промышленных зданий, треть используется для обогрева теплиц и 13% используется для промышленных процессов.

В октябре 2010 года Сергей Шматко, министр энергетики России, заявил, что Россия и Исландия будут работать вместе над освоением геотермальных источников энергии на Камчатке. [3, 174]

### **Солнечная энергия**

До 2016 года солнечной энергетики в России практически не существовало, несмотря на ее большой потенциал в стране. Первая российская солнечная электростанция была открыта в Белгородской области в ноябре 2010 года. В 2007 году было подсчитано, что общий теоретический потенциал солнечной энергии в России составлял 2213 ТВтч в год, при экономически обоснованном объеме в 101 ТВтч. Наибольшим потенциалом солнечной энергии обладают южные районы России, особенно Северный Кавказ.

В 2011 году было объявлено о планах строительства новой солнечной электростанции на Черном море, которая, как ожидается, начнет функционировать к 2012 году. Эта электростанция, которая будет иметь мощность 12,3 МВт, строится Роснано и Реновой. Solar Wind LLC и Роснано строят завод, который будет производить двусторонние солнечные панели, которые смогут собирать солнечную энергию с обеих сторон. Ожидается, что строительство завершится в начале 2011 года, а годовая производственная мощность станции составит 30 МВт. Nitol Solar - крупнейшая российская компания в области научных разработок и производства продуктов, используемых для выработки солнечной энергии. В настоящее время Россия и Индия обсуждают возможность создания совместного предприятия по производству кремниевых пластин для создания фотоэлектрических элементов.

На аукционе в 2013 году были заключены контракты на 399 МВт солнечной энергии, а на аукционе в 2014 году - еще на 505 МВт. На третьем аукционе в 2015 году было заключено 280 МВт солнечной энергии.

В 2015 году Российская ассоциация солнечной энергетики предсказала, что совокупная мощность солнечной энергетики в стране возрастет до 1500 МВт к 2020 году.

В период с 2017 по 2019 год фотоэлектрическая компания ООО «Солнечные кремниевые технологии» (русский: ООО Солар Кремневые Технологии), базирующаяся в Подольске, произвела и построила по меньшей мере 4 солнечных установки общей мощностью 130 МВт. Компания была основана в 2016 году и построена на месте другого завода - Подольского химико-металлургического комбината (ОАО Подольский химико-металлургический завод), используемого для производства монокристаллического кремния с 1957 года.

### **Энергия ветра**

Россия имеет долгую историю внедрения маломасштабных систем генерации энергии ветра, но никогда не развивала крупномасштабное коммерческое производство энергии ветра. В настоящее время большая часть ветроэнергетики производится в сельскохозяйственных районах с низкой плотностью населения, где затруднено подключение к основной энергетической сети. По оценкам, общий потенциал ветроэнергетики в России составляет 80 000 ТВтч в год, из которых 6 218 ТВтч в год экономически целесообразны. Большая часть этого потенциала находится в южных степях и на морских побережьях России. В 2006 году общая установленная мощность ветра в России составляла 15 МВт. Текущие российские ветроэнергетические проекты имеют совокупную

мощность более 1700 МВт. Российская ассоциация ветроэнергетики прогнозирует, что, если Россия достигнет своей цели по получению 4,5% энергии из возобновляемых источников к 2020 году, общая мощность ветра в стране составит 7 ГВт.

В 2010 году было объявлено о планах строительства ветряной электростанции в Ейске, на Азовском море. Ожидается, что первоначально ее мощность составит 50 МВт, которая через год вырастет до 100 МВт. Первая партия ветряных башен и гондол была доставлена в июне 2020 года, и ожидается, что установка будет введена в эксплуатацию к концу 2020 года. Немецкая инжиниринговая компания Siemens объявила в июле 2010 года, после визита в Россию канцлера Ангелы Меркель, что она будет строить ветряные электростанции в России. К 2015 году компания надеется установить в России 1250 МВт мощности.

### **Энергия приливов и отливов**

В распоряжении России много ресурсов приливной энергетики, хотя в настоящее время они также недостаточно развиты. Только приливные электростанции в Кольском заливе и Охотском море могли бы производить 100 ГВт, а энергетический потенциал страны за счет приливной энергии может конкурировать с текущим общим объемом производства энергии. Действующая в настоящее время приливная электростанция в Кислой Губе является крупнейшим приливным энергетическим объектом в России и занимает четвертое место по мощности (1,7 МВт) среди приливных электростанций мира.

О планах строительства приливной электростанции мощностью 800 МВт в Баренцевом море было объявлено в 2008 году. Возможные долгосрочные проекты включают Пенжинскую приливную электростанцию, которая может стать крупнейшей электростанцией в мире с установленной мощностью до 87 ГВт и годовой выработкой 200 ТВтч. [4, 201]

### **Биотопливо**

Российская биотопливная отрасль является новой, но в последние годы она быстро развивается. Россия является одним из крупнейших производителей зерна, имеет хорошо развитую промышленность по производству этилового спирта и растущие объемы производства рапса (часто используемого для производства биодизеля). Российское правительство заявило в 2008 году, что оно будет играть активную роль в развитии биотопливной промышленности путем строительства 30 новых заводов по производству биотоплива и предоставления налоговых льгот и субсидированных процентных ставок для энергетических проектов на биотопливе. Хотя эти планы были

отложены, 13 сентября 2010 года Медведев объявил, что строительство начнется в начале 2011 года. Биобутанол, биотопливо, вырабатываемые этими заводами, будет производиться из побочных продуктов производства древесины, таких как щепа и опилки.

Lada, российский производитель автомобилей, выпустила свой первый автомобиль, работающий на биотопливе, в ноябре 2010 года. Заместитель министра транспорта Валерий Окулов заявил, что российские компании в настоящее время разрабатывают вертолеты, работающие на биотопливе. Биотехнологическая корпорация страны оценивает, что Россия способна экспортировать 40 миллионов тонн биотоплива ежегодно.

Таким образом, в России есть большой потенциал для развития возобновляемой энергетики, однако на пути к этому стоят многие препятствия, такие как отсутствие законодательства, недостаток инвестиций и слабый спрос на этот вид энергетики. Важным шагом в развитии возобновляемой энергетики в России может стать осуществление правительственной программы по повышению энергоэффективности и созданию более благоприятных условий для инвестиций в возобновляемую энергетику.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кравцов Н. Н. Проблемы и перспективы использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии: монография / Н. Н. Кравцов. – Москва: Дрофа, 2011. – 151 с. – Текст: непосредственный
2. Николаев Ю. Н. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии в России: монография / Ю. Н. Николаев. – Москва: Дрофа, 2013. – 168 с. – Текст: непосредственный
3. Савельева И. А. Возобновляемые источники энергии как фактор трансформации глобальной энергетики: монография / И. А. Савельева. – Москва: Наука, 2019. – 174 с. – Текст: непосредственный
4. Грачёв К. Г. Развитие нетрадиционных возобновляемых источников энергии в регионах России: монография / К. Г. Грачёв. – Москва: Фолиум, 2015 – 201 с. – Текст – непосредственный

*УДК 620.92*

*Лесниченко И.Н.*

*Научный руководитель: Гибадуллин Р.Р., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА В ГЕРМАНИИ

Возобновляемая энергетика в Германии в основном основана на энергии ветра и биомассы, а также солнечной и гидроэнергетической. До 2014 года Германия обладала крупнейшей в мире установленной мощностью фотоэлектрических установок, а по состоянию на 2021 год ее мощность превышает 58 ГВт. Это также третья страна в мире по установленной общей мощности ветроэнергетики - 64 ГВт в 2021 году и вторая по мощности морской ветроэнергетики - более 7 ГВт. Германию называют "первой в мире крупной экономикой, работающей на возобновляемых источниках энергии".

Согласно официальным данным, в 2010 году в секторе возобновляемой энергетики было занято около 370 000 человек, особенно в малых и средних компаниях. Это более чем в два раза превышает количество рабочих мест в 2004 году (160 500). Около двух третей этих рабочих мест связаны с Законом о возобновляемых источниках энергии.

Федеральное правительство Германии работает над увеличением коммерциализации возобновляемых источников энергии, уделяя особое внимание морским ветряным электростанциям. Серьезной проблемой является развитие достаточных сетевых мощностей для передачи электроэнергии, вырабатываемой в Северном море, крупным промышленным потребителям в южных частях страны.

### Цели

С момента принятия Директивы о производстве электроэнергии из возобновляемых источников энергии в 1997 году Германия и другие государства Европейского союза работали над достижением целевого показателя в 12% возобновляемой электроэнергии к 2010 году. Германия достигла этой цели в начале 2007 года, когда доля возобновляемых источников энергии в потреблении электроэнергии в Германии достигла 14%.

Правительство Германии сообщило, что в 2011 году возобновляемые источники энергии (в основном ветряные турбины и установки на биомассе) вырабатывали более 123 ТВтч электроэнергии, обеспечивая почти 20% от 603 ТВтч поставляемой электроэнергии. К 2012 году на все возобновляемые источники энергии приходилось 21,9% электроэнергии, при этом ветряные турбины и фотоэлектрические установки обеспечивали 11,9% от общего объема. [1]

По состоянию на 2017 год на возобновляемые источники приходится 38% чистого производства электроэнергии. По сравнению с аналогичным периодом 2016 года производство энергии из

возобновляемых источников энергии увеличилось со 182 ТВтч до 210 ТВтч. Это первый год, когда солнце и ветер стали крупнейшими источниками энергии. Производство электроэнергии на атомных электростанциях сократилось на 10% из-за технического обслуживания. Использование каменного угля сократилось на 16%, в то время как использование бурого угля осталось на аналогичном уровне и использование газа увеличилось на 2,6 ТВтч.

Баланс, составленный в 2017 году, показал, что, хотя выбросы в 2016 году были на 28 процентов ниже, чем в 1990 году, страна, вероятно, не дотянет до своего целевого показателя 2025 года по 40-процентному сокращению уровней выбросов. Целевой показатель сокращения на 40 процентов к 2025 году не будет достигнут, если не будут предприняты дополнительные усилия. Одной из существенных причин, по которой Германия может не достичь своей цели на 2025 год, является то, что экспорт электроэнергии в стране в последние годы сильно рос, превзойдя Францию как крупнейшего экспортера электроэнергии в Европе. Недавнее исследование подсчитало, что Германия экспортирует в эквиваленте годовой выработки 7 ГВт бурого угля, производя при этом 59 миллионов тонн выбросов CO<sub>2</sub>, что составляет примерно половину дефицита выбросов CO<sub>2</sub>, необходимого для достижения целей на 2025 год. Замена базовой мощности ископаемым топливом оказалась более сложной задачей после того, как были остановлены атомные электростанции, хотя доля электроэнергии, вырабатываемой углем для бытовых нужд, из года в год снижается.

В июле 2019 года данные, опубликованные Институтом систем солнечной энергетики Фраунгофера (ISE), сообщают, что возобновляемая энергетика впервые обеспечивает в Германии больше электроэнергии, чем уголь и атомная энергия вместе взятые. Солнечная энергия, энергия ветра, биомасса и гидроэлектроэнергия генерируют почти половину производимой в стране энергии.

Энергия солнца и ветра имеет низкие предельные издержки, а другие источники производства с более высокими затратами на топливо становятся менее конкурентоспособными, когда спрос и цены низкие. Во время пандемии COVID-19 в Германии солнечная энергия в Германии вырабатывала 32 гигаватта (ГВт). В какой-то момент на солнечную энергию, вместе с ветром и другими возобновляемыми источниками, приходилось 78% электроэнергии Германии.

### **Потребление первичной энергии**

По состоянию на 2015 год, потребление первичной энергии в Германии составило 13218 петаджоулей, или 3672 тераватт-часа, что соответствует общему объему энергии, используемой страной.



Конечное потребление возобновляемой энергии с разбивкой по секторам и их относительной долей составляет:

- Сектор электроэнергетики с потреблением возобновляемой энергии 31,5% (187,364 ГВт-ч)
- Сектор отопления с потреблением возобновляемой энергии 13,3% (158,662 ГВт-ч)
- Транспортный сектор с потреблением возобновляемой энергии 5,3% (33,611 ГВт-ч)

По состоянию на конец 2015 года на возобновляемые источники энергии, такие как биомасса, биогаз, биотопливо, гидроэнергетика, ветер и солнце, приходилось 12,4% потребления первичной энергии в стране, что более чем вдвое больше по сравнению с 2004 годом, когда доля возобновляемых источников энергии составляла всего 4,5%.

### **Источники возобновляемой энергии в Германии**

#### **Энергия ветра**

В 2013 году энергия ветра выработала в общей сложности 53,4 ГВтч электроэнергии и в сеть было добавлено более 3,2 ГВт новых мощностей. В 2011 году установленная мощность ветроэнергетики в стране достигла 29075 мегаватт (МВт), что составляет около 8% от общей мощности. По данным EWEA, в обычный ветряной год установленная мощность ветра в Германии будет удовлетворять 10,6% потребностей Германии в электроэнергии на конец 2011 года и 9,3% на конец 2010 года. [2]

В Германии расположено более 21607 ветряных турбин, и в стране планируется построить еще больше. По состоянию на 2011 год федеральное правительство Германии работает над новым планом по увеличению коммерциализации возобновляемых источников энергии, уделяя особое внимание морским ветряным электростанциям. Серьезной проблемой является развитие достаточных сетевых мощностей для передачи электроэнергии, вырабатываемой в Северном море, крупным промышленным потребителям на юге Германии. В 2016 году Германия решила заменить льготные тарифы аукционами с 2017 года.

#### **Биомасса**

Предполагается, что основным поставщиком биомассы в Германии является сельское хозяйство. Более того, 40% древесины, производимой в Германии, также используется в качестве сырья для биомассы. Немецкий федеральный исследовательский центр лесного хозяйства и лесных продуктов утверждает, что существуют также резервы, которые могут помочь в увеличении доли лесного хозяйства в производстве биомассы. Сельское хозяйство является основным источником

рапсового масла, которое используется для производства биодизеля и изготовления субстратов для производства биогаза.

Биомасса, используемая для производства биогаза и биотоплива, является одним из важнейших источников возобновляемой энергии в Германии. В 2010 году на биомассу приходилось 30% выработки электроэнергии из возобновляемых источников и 70% всей возобновляемой энергии (в основном древесины).

Германия обязалась добавлять 6,25% биотоплива в нефть к 2014 году в соответствии с Законом о квотах на биотопливо.

#### Фотоэлектрическая солнечная энергия

Солнечная фотоэлектрическая технология вырабатывает электроэнергию из солнечного света и может использоваться как в подключенных к сети, так и вне ее. Первое массовое производство началось в 2000 году, когда немецким защитникам окружающей среды и Eurosolar удалось добиться государственной поддержки программы строительства 100 000 фотоэлектрических систем. В июле 2012 года совокупная установленная суммарная солнечная фотоэлектрическая мощность составляла 29,7 ГВт. В 2011 году солнечные фотоэлектрические батареи обеспечивали 18 ТВт · ч, что составляет 3% от общего спроса на электроэнергию. Поскольку установки солнечной энергии быстро растут, в первой половине 2012 года около 5,3% общего спроса на электроэнергию было покрыто за счет солнечной энергии. В субботу 25 мая 2012 года солнечная энергия побила новый рекорд, подав в энергосистему 22 ГВт, или целых 20 атомных электростанций. Этот скачок выше уровня в 20 ГВт был обусловлен увеличением мощности и отличными погодными условиями по всей стране и покрывал половину потребности страны в электроэнергии в полдень. Германия также была крупнейшим растущим рынком для солнечных фотоэлектрических систем 2012 года с 7,6 ГВт новых подключенных систем. Некоторые аналитики рынка ожидают, что доля солнечной электроэнергии может достичь 25% к 2050 году. Цена на фотоэлектрические системы снизилась более чем на 50% за 5 лет с 2006 года.

#### Гидроэлектроэнергия

Общая установленная мощность гидроэлектростанций в Германии на конец 2006 года составляла 4,7 ГВт. Гидроэнергетика обеспечивает 3,5% спроса на электроэнергию. По последним оценкам, в 2007 году в Германии в секторе гидроэнергетики было занято около 9 400 человек, общий оборот которого составил 1,23 миллиарда евро.

#### Геотермальная энергия

Ожидается, что геотермальная энергия в Германии будет расти, главным образом из-за закона, который благоприятствует производству геотермальной электроэнергии и гарантирует льготный тариф. Но после того, как в 2019 году вступил в силу закон о возобновляемой энергетике, который ввел тарифную схему в размере 0,15 евро за киловатт-час на электроэнергию, производимую из геотермальных источников, начался строительный бум, и в настоящее время новые электростанции начинают вводиться в эксплуатацию.

### **Промышленность**

Сектор возобновляемой энергетики Германии является одним из самых инновационных и успешных во всем мире. Enercon, Nordex, REpower Systems, Siemens и Fuhrlander - ветроэнергетические компании, базирующиеся в Германии. Каждый третий солнечная панель и каждый второй ветряной двигатель в Германии являются немецкими, а немецкие турбины и генераторы, используемые в гидроэнергетике, являются одними из самых популярных во всем мире. [3]

Исполнительный директор Siemens Петер Лешер считает, что цель Германии по производству 35% электроэнергии из возобновляемых источников к 2025 году достижима - и, скорее всего, прибыльна для крупнейшей инжиниринговой компании Европы. Ее портфель "экологических решений", который полностью сосредоточен на возобновляемых источниках энергии, уже приносит более 27 миллиардов евро в год, что составляет 35 процентов от общего дохода Siemens, и планируется увеличить этот показатель до 40 миллиардов евро к 2015 году. Прекращение ее участия в атомной промышленности повысит авторитет Siemens как поставщика "зеленых технологий".

Основными конкурентами Германии в области солнечной энергетики являются Япония, США и Китай. В ветроэнергетике это Дания, Испания и США.

### **Государственная политика**

Сектор возобновляемой энергетики получил выгоду, когда Партия Зеленых присоединилась к федеральному правительству в период с 1998 по 2005 год. Развитию сектора возобновляемой энергетики первоначально способствовал Закон о возобновляемых источниках энергии, который поощряет возобновляемую энергию главным образом путем установления льготных тарифов, а в последнее время также рыночных надбавок, которые сетевые операторы должны платить за возобновляемую энергию, подаваемую в электросеть.

В 2012 году Siemens подсчитал, что общая стоимость возобновляемых источников энергии составит по меньшей мере 1,4 трлн евро к 2030 году.

На период 2011-2014 годов федеральное правительство Германии выделило 3,5 миллиарда евро на научные исследования в стране. Кроме того, в 2001 году был принят закон, требующий закрытия всех атомных электростанций в течение 32 лет. Новое правительство в 2010 году продлило срок отключения до 2040 года. После инцидента на АЭС "Фукусима" закон был отменен, и конец ядерной энергетики был назначен на 2022 год.

Европейский совет в марте 2007 года в Брюсселе одобрил обязательный энергетический план, который требует сокращения выбросов углекислого газа на 20% до 2020 года и потребления возобновляемых источников энергии на уровне 20% от общего потребления в ЕС (по сравнению с 7% в 2006 году). Соглашение косвенно признало роль ядерной энергии, которая обычно не рассматривается как возобновляемая, но не содержит выбросов, в сокращении выбросов парниковых газов, позволяя каждому государству-члену решать, использовать ли электроэнергию, вырабатываемую на ядерной энергии. Также был достигнут компромисс по достижению минимальной квоты в 10% биотоплива в общем потреблении бензина и дизельного топлива на транспорте в 2020 году. [4]

### **Энергетический переход**

Энергетический переход обозначает значительное изменение в энергетической политике: термин охватывает переориентацию политики со спроса на предложение и переход от централизованной генерации к распределенной (например, производство тепла и электроэнергии в очень маленьких когенерационных установках), что должно заменить перепроизводство и предотвратимое потребление энергии мерами энергосбережения и повышения эффективности. Ключевой политический документ с изложением энергетического перехода был опубликован правительством Германии в сентябре 2010 года, примерно за шесть месяцев до аварии на АЭС "Фукусима".

Эта политика была принята федеральным правительством Германии и привела к огромному расширению использования возобновляемых источников энергии, особенно энергии ветра. Доля Германии в возобновляемых источниках энергии увеличилась примерно с 5% в 1999 году до 22,9% в 2012 году, приблизившись к среднему показателю ОЭСР в 18% использования возобновляемых источников энергии. Производителям был гарантирован фиксированный тариф в течение 20 лет, гарантирующий фиксированный доход. Были созданы энергетические кооперативы, и были предприняты усилия по децентрализации контроля и прибыли.

В мае 2013 года Международное энергетическое агентство похвалило Германию за ее приверженность разработке всеобъемлющей стратегии перехода на возобновляемую энергетику, амбициозные цели в области возобновляемых источников энергии и планы по повышению эффективного использования энергии и поддержало этот подход. Тем не менее, масштаб целей энергетической политики Германии в сочетании с большим размером и энергоемкостью ее экономики и ее центральным расположением в энергетической системе Европы означают, что необходимо разработать дальнейшие меры политики, если амбициозный энергетический переход страны направлен на поддержание работоспособного баланса между устойчивостью, доступностью и конкурентоспособностью.

Субсидии, направленные на стимулирование роста возобновляемых источников энергии, привели к росту потребительских цен на энергию на 12,5% в 2013 году. На сегодняшний день немецкие потребители взяли на себя расходы на энергетический переход, но МЭА говорит, что дебаты о социальных и экономических последствиях нового подхода стали более заметными, поскольку доля возобновляемых источников энергии продолжает расти наряду с ростом цен на электроэнергию. Переход к низкоуглеродному энергетическому сектору требует общественного признания, и, следовательно, розничные цены на электроэнергию должны оставаться на доступном уровне. В настоящее время цены на электроэнергию в Германии одни из самых высоких в Европе, несмотря на относительно низкие оптовые цены. В то же время МЭА заявило, что новая энергетическая политика основана на долгосрочных инвестиционных решениях, и в Германии существует сильный политический консенсус в пользу крупномасштабной коммерциализации возобновляемых источников энергии.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Уэйр А. Д. Возобновляемые источники энергии: монография / А. Д. Уэйр – Москва: Энергоатомиздат, 2016. – 81 с. – Текст: непосредственный
2. Шпильрайн Э. Э. Проблемы и перспективы возобновляемой энергии в Европе: монография / Э. Э. Шпильрайн – Санкт-Петербург: Энергия, 2015. – 37 с. – Текст: непосредственный
3. Панич А. С. Альтернативные источники энергии: монография / А. С. Панич – Москва: Юпитер, 2015. – 388 с. – Текст: непосредственный

4. Симонов Л. В. Виды возобновляемых источников энергии и факторы ориентации на их развитие: монография / Л. В. Симонов – Калининград: Наука, 2014 – 549 с. – Текст – непосредственный

*УДК 621.311*

*Ломоносова А.А., Маслов И.Н.*

*Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПОТЕНЦИАЛ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Современный мир сильно зависит от энергетических ресурсов, которые используются для обеспечения жизненно важных функций, таких как освещение, отопление, транспорт и производство. Однако, с учетом необходимости снижения уровня загрязнения окружающей среды и растущей потребности в энергии, возникает необходимость в развитии новых источников энергии и улучшении существующих. В этой статье мы рассмотрим потенциал развития энергетики в современных условиях.

Несмотря на ограничения, наложенные на энергетический сектор, существует потенциал для развития энергетики. Один из вариантов - это увеличение доли возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе страны [1-3]. В отличие от нефти и газа, возобновляемые источники энергии могут быть более устойчивыми и экологически чистыми источниками энергии. В связи с этим, последние десятилетия наблюдается рост интереса к использованию альтернативных источников энергии. Ветроэнергетика и солнечная энергия, например, являются экологически чистыми источниками энергии, что делает их более привлекательными для инвесторов и государств.

В настоящее время технологии возобновляемой энергии, такие как солнечная, ветровая, гидроэнергетическая и геотермальная энергия, имеют большой потенциал для развития. Солнечная энергия, например, может быть использована как для генерации электроэнергии, так и для обогрева. Ветровая энергия также может быть использована для генерации электроэнергии, а гидроэнергетические системы могут использоваться для генерации энергии на основе течения рек и приливов. Ключевые цифры говорят сами за себя: согласно отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата

(IPCC), доля возобновляемой энергии в глобальном потреблении энергии составляла 11% в 2019 году, при этом ее доля должна увеличиться до 50% к 2030 году, чтобы достичь целей Соглашения Парижской конференции.

Однако, использование возобновляемых источников энергии имеет свои ограничения. Например, солнечная и ветровая энергия являются неустойчивыми и зависят от погодных условий. Поэтому, разработка технологий хранения энергии становится все более важной. Существуют различные технологии хранения энергии, такие как хранение в батареях, аккумуляторах, гидроаккумуляторах и тепловых системах [4]. В настоящее время, наиболее популярным типом технологии хранения энергии являются литий-ионные батареи, которые используются в мобильных устройствах, электромобилях и системах хранения энергии для домашних и коммерческих приложений. Однако, существуют и другие типы батарей, такие как кобальт-свинцовые и никель-кадмиевые, которые также могут использоваться для хранения энергии. Кроме того, существуют и другие технологии хранения энергии, такие как теплоаккумуляторы и системы хранения энергии на основе водорода. Теплоаккумуляторы используются для хранения тепловой энергии, полученной из солнечных коллекторов или геотермальных систем. Системы хранения энергии на основе водорода позволяют хранить энергию, полученную из возобновляемых источников, в виде водорода, который затем может быть использован для генерации электроэнергии или транспортировки.

Еще один вариант - это повышение энергоэффективности. Энергоэффективность и управление энергопотреблением имеют большой потенциал для сокращения потребления энергии и уменьшения зависимости от нефтепродуктов. Одним из примеров является использование энергоэффективных систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (ОВК), которые позволяют сократить потребление энергии на обогрев и охлаждение зданий.

Управление энергопотреблением также играет важную роль в сокращении потребления энергии [5, 6]. Существуют различные технологии, такие как системы "умного дома", которые позволяют автоматически управлять энергопотреблением в доме, и системы управления энергопотреблением в коммерческих зданиях, которые могут помочь сократить энергопотребление и уменьшить затраты на энергию [5, 6].

Кроме того, энергосберегающие технологии также могут содействовать улучшению качества жизни, в том числе путем снижения загрязнения окружающей среды и улучшения здоровья людей.

Таким образом, в настоящее время существует большой потенциал для развития энергетики на основе возобновляемых источников энергии, хранения энергии и энергоэффективности. Несмотря на ряд препятствий, таких как высокие затраты на установку и развитие технологий, медленный темп перехода на возобновляемые источники энергии во многих регионах мира и сложность интеграции возобновляемой энергии в существующую систему электроснабжения, все большее число правительств и компаний по всему миру признают необходимость перехода к более устойчивой, экологически чистой и экономически эффективной системе энергетики. Поэтому, для достижения более устойчивой энергетической системы, необходимо продолжать инвестировать в развитие технологий возобновляемых источников энергии, хранения энергии и энергоэффективности, а также улучшать инфраструктуру для их интеграции в существующую систему электроснабжения. Кроме того, необходимо продолжать обучать и информировать население о необходимости перехода к более устойчивой и экологически чистой системе энергетики, чтобы создать более осведомленное и поддерживающее общественное мнение по этому вопросу.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. EDN ZZEXPK.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26.



5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28.

6. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71.

**УДК 621.039**

***Миниханова А.Р.***

***Научный руководитель: Саитов С.Р., канд. техн. наук, доц.***  
*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПРОБЛЕМЫ НИЗКИХ ТЕМПОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Большинство стран столкнулось с экологическим кризисом, в связи с этим возникла необходимость углеродной нейтральности и энергетической безопасности. Следовательно, возникает цель об увеличении возможности использования источников энергии с нулевым выбросом углерода, таких как возобновляемые, ядерные, водородные, аммиачные и т.д. Так, атомная энергетика имеет оптимальное сочетание мощности и стабильности. Атомные электростанции способны работать 24 часа в сутки, 7 дней в неделю и оставляют минимальное воздействие на окружающую среду по сравнению с традиционными видами производства электроэнергии (табл.1).

В 2021 году с общей мощностью 5,3 ГВт было введено в эксплуатацию шесть атомных энергоблоков в Китае, в Индии, в Пакистане и в ОАЭ. Однако при этом десять блоков с суммарной мощностью 8,7 ГВт остановили свою работу в таких странах как Великобритания, Германия, Пакистан, Россия, Тайвань, США. Причинами их вывода из эксплуатации стали технические и политические мотивы. У некоторых энергоблоков АЭС истек срок полезного использования. Так, установленная мировая мощность, получаемая от атомных электростанций на начало 2022 года, составила 411,324 ГВт.

В 2021 году было начато строительство новых блоков атомных электростанций с общей установленной мощностью 8,8 ГВт: 5 блоков в Китае, 2 блока в Индии, по 1 блоку в России и Турции. При этом пять из девяти — это блоки ВВЭР-1200 российского производства, а три — китайские Hualong One. На стадии строительства находится 54 блока в 19 странах.

В России правительство поставило задачу довести долю АЭС в общем энергобалансе до 25 % к 2045 году, а также по генеральному плану до 2035 года планируется построить 16 новых атомных энергоблоков АЭС [2]. Выполнение задачи стоит параллельно с выводом реакторов РБМК. На сегодняшний день в России работает 37 блоков на 11 атомных электростанциях с общей брутто-мощностью (общая мощность блока, без учета затрат на собственные нужды) около 29,5 ГВт.

Не смотря на стабильный ежегодный прирост атомных энергоблоков во всем мире, существуют факторы, замедляющие бурное развитие атомной энергетики[6].

Строительство атомных электростанций относится к масштабным инвестиционно-строительным проектам, требующим привлечения большого объема средств и высококвалифицированного персонала, который сможет реализовать работу по вводу и выводу, размещению, сооружению, проектированию, конструированию установок, систем и элементов АЭС.

Задержки строительства объектов атомной энергетики приводят, как правило, к значительному росту капитальных затрат и более к позднему получению дохода, что значительно снижает эффективность инвестиций.

Таблица 1 – Сравнение химических выбросов от ТЭС и АЭС на 1 ГВт·ч, выработанной энергии [4]

Химический загрязнитель	Концентрация выбросов, отн. ед.	
	ТЭС	АЭС
SO <sub>2</sub>	$1,18 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-7}$
Твердые частицы	$3,33 \cdot 10^{-4}$	$2,08 \cdot 10^{-8}$
NO <sub>x</sub>	$1,28 \cdot 10^{-4}$	$1,92 \cdot 10^{-8}$
CO <sub>2</sub>	$1,09 \cdot 10^{-5}$	$1,82 \cdot 10^{-8}$

Помимо риска масштабных аварий на АЭС, существуют проблема утилизации отработанного ядерного топлива. Объемы выработки ядерного топлива, накопленные за время эксплуатации атомных реакторов с 50-х годов прошлого века по всему миру к 2022 году по данным МАГАТЭ, составили более 400 тысяч тонн. Однако объем золошлаковых отходов от угольной энергетики в России к этому же времени составил приблизительно 1,8 млрд. тонн, в которых также содержатся опасные радиоактивные элементы. Следовательно, проблема утилизации токсичных отходов не является актуальной исключительно для атомной энергетики. Нельзя утверждать, что все отработавшее топливо является ядерными отходами. В настоящее время

часть отработанного топлива (приблизительно 32%) повторно используется в виде МОКС-топлива (англ. Mixed-Oxide fuel). Весь данный процесс происходит в замкнутом цикле, а именно на реакторах, работающих на быстрых нейтронах. Данный ядерно-топливный цикл открывает новые возможности с точки зрения экологии и не только.

Таким образом, можно подвести итог и сформировать следующие действия для развития атомной энергии и строительства новых объектов АЭС [1]:

- снизить удельные расходы на строительство объектов атомной энергетики;

- внедрять на АЭС новые усовершенствованные установки типа ВВЭР, работающих в замкнутом цикле на быстрых нейтронах и следственно создать ряд предприятий, которые будут работать с ОЯТ;

- увеличивать экспортную возможность России со стороны ядерных технологий;

- развивать топливные ядерные ресурсы путем увеличения и нахождения новых урановых месторождений, как на территории РФ, так и за рубежом;

- продолжать поддерживать производственные мощности атомного машиностроения и строительно-монтажных организаций для обеспечения необходимого объема вводов энергоблоков на территории нашего государства;

- совершенствовать технологии вывода из эксплуатации энергоблоков, установок и других элементов АЭС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. "Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года" от 09.06.2020 №1523-р

2. "Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года" от 09.06.2017 № 1209-р

3. МОКС-топливо // Википедия URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/МОКС-топливо> (дата обращения: 14.10.2022).

4. Гордиенко В. А. и др. Атомная энергетика: за или против? Сравнительный анализ радиоактивного загрязнения, создаваемого АЭС и ТЭС, работающими на угле // Вестник МЭИ. Серия 3: Физика, астрономия. – 2012. – №. 1. – С. 123.

5. Сайтов С.Р., Чичирова Н.Д., Чичиров А.А. Баромембранные технологии в схеме водоподготовки Уфимской ТЭЦ-1 // Вестник КГЭУ. – 2017. - №2(34). – С. 58-67.

6. Измайлова А.Р., Миниханова А.Р. Перспективы развития атомной энергетики // XXV Всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика. - Казань: КГЭУ, 2022. - С. 33-36.

*УДК 620.92*

*Молчанова Е.С.*

*Научный руководитель: Беловодская И.И., ст. преп.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **USE OF GEOTHERMAL ENERGY RESOURCES IN ELECTRICITY PRODUCTION**

Alternative energy sources are renewable resources. They also replace traditional energy sources, the combustion of which releases carbon dioxide into the atmosphere, contributing to the growth of the greenhouse effect and global warming. In our current state of the world, the development of alternative energy sources is critical to mitigating the effects of global warming and saving humanity from vast disruptive events in the future.

Currently, the largest sources of world energy production are oil, coal and gas. The burning of fossil fuels releases harmful greenhouse gases, which in turn contributes to climate change and its severe adverse effects. Therefore, the transition from conventional to alternative energy sources is critical to the development of humanity and ensuring a viable future for future generations.

Scientists around the world are exploring the possibilities of developing and discovering new alternative energy sources so that it is easier, safer and more efficient to meet the growing energy needs of the population. The list of alternative energy sources that will help us maintain the natural balance without causing much harm to nature compared to traditional energy sources is quite large: wind energy, solar energy, alternative hydropower, geothermal energy, space energy, tidal energy, hydrogen and hydrogen sulfide energy, biofuels and distributed electric power industry [1].

The temperature at the Earth's core is approximately 7200°F. This is due to the decay of radioactive materials millions of years ago. The heat below the earth's surface can produce enormous amounts of energy, which can produce several gigawatts of electricity. From a technical point of view, geothermal energy is a renewable energy source that can produce energy as long as the Earth exists. The depth of location of geothermal energy sources varies from a few meters to tens of kilometers from the surface of the planet,

they can be found much deeper in the bowels of the Earth, as there is an extremely high temperature and pressure of molten rock.

The internal thermal energy of the Earth is brought to the surface due to heat conduction at a rate of 44.2 TW, and is replenished by radioactive decay of minerals at a rate of 30 TW. In terms of electricity, this is more than double the current energy consumption of mankind from all primary sources, but most of this energy flow is not recoverable.

In addition to internal heat flows, the upper surface layer at a depth of up to 10 m is heated in summer due to solar energy, releasing this energy. Outside of seasonal fluctuations, the geothermal temperature gradient in the earth's crust is 25 to 30 °C (77 to 86 °F) per kilometer of depth in most of the world. The conductive heat flux averages 0.1 MW/km<sup>2</sup>. These values are much higher near tectonic plate boundaries, where the crust is thinner. They can be further enhanced by circulation of fluids through magma vents, hot springs, hydrothermal circulation, or a combination of these [2].

Geothermal heat can be accessed almost anywhere in the world and immediately used as a heat source. This thermal energy is called low temperature geothermal energy. Low temperature geothermal energy is obtained from heat pockets around 150°C (302°F). Most low-temperature geothermal energy sources are only a few meters underground. It can be used to heat greenhouses, houses and industrial processes. This energy is most efficient when used for heating, although it can sometimes be used to generate electricity.

Co-produced geothermal energy uses water that is heated as a by-product in oil and gas wells. Russia produces about 25 billion barrels of hot water annually as a by-product. Previously, this hot water was simply thrown away [3]. However, for some time now, it has been recognized as a potential source of a large amount of energy, since these steam and water can be used to generate electricity, which will be immediately used or sold to the network.

Geothermal heat pumps (GHP) use the heat of the Earth and can be used almost anywhere in the world. The depth of the well's ranges from 3 to 90 meters, which is much less than most oil and gas wells. GTNs do not require cracks in bedrock to reach their power source. The pipe connected to the pump forms a continuous loop called a "narrow loop" that runs underground and above ground, usually throughout a building. The loop can also be placed completely underground to heat a parking lot or landscaped area. In this system, water or other liquids (such as glycerin, similar to car antifreeze) move through the pipe. During the cold season, the liquid absorbs underground geothermal heat. The HHP carries heat up the building and releases heat through the duct system. These heated pipes can also run through hot water tanks and offset heating costs.

To get enough energy to generate electricity, geothermal power plants use heat that is located several kilometers from the Earth's surface. However, in some areas, heat can naturally reside below the surface in the form of steam or hot water. Dry steam power plants use natural underground sources of steam. The steam is fed directly to the power plant, where it is used to power turbines that generate electricity. The oldest power plants producing electricity using geothermal energy worked on dry steam. The first dry steam power plant was built in Larderello, Italy in 1911. Today, dry steam power plants in Larderello continue to provide electricity to more than a million inhabitants of the area [6].

Steam power plants use natural sources of underground hot water and steam. Water above 182°C (360°F) is pumped into the low-pressure zone. Some of the water "flashes" or quickly evaporates into steam and is sent to a turbine to generate electricity. The remaining water can be drained into a separate tank to extract the remaining heat. Instantaneous steam power plants are the most common type of geothermal power plants. For example, Iceland, where there is active volcanic activity, provides almost all of its electricity needs with the help of geothermal power plants operating on flash evaporation of steam. The steam and excess warm water generated by the flash evaporation process heats icy sidewalks and parking lots during the cold Arctic winter.

Dual cycle power plants use a unique process to save water and generate heat. The water underground heats up to about 107...182 °C (225...360 °F). Hot water is in a pipe that circulates above the ground. Then she heats a liquid organic compound whose boiling point is lower than hers. The organic fluid creates steam, which passes through a turbine and drives a generator that generates electricity. The only release in this process is steam. The water in the pipe returns back to the ground to be heated by the Earth again and provide heat to the organic coolant [5...7].

The earth has an almost infinite amount of energy and heat below its surface. However, it cannot be used as energy unless the underground areas are "hydrothermal". This means that underground cavities are not only hot, but also contain fluid and are permeable. Many areas do not have all three of these components.

The Enhanced Geothermal System (EGS) uses drilling, fracturing and injection to provide fluid and permeability in areas of hot but dry subterranean formations. For UGS operation, an "injection well" is drilled vertically into the ground. Depending on the type of rock, its length can be from 1 to 4.5 kilometers. High-pressure cold water is injected into the drilled space, which causes the rock to create new fractures, widen existing fractures, or dissolve. This creates a reservoir of underground fluid. Water is pumped through an

injection well and absorbs heat from the rocks as it passes through the formation. This hot water, called brine, is then returned to the Earth's surface through a "production well". The heated brine is in the pipe. It heats a secondary liquid with a low boiling point, which evaporates into steam and drives a turbine. The brine cools down and passes through the injection well again to absorb the underground heat again. Except for the water vapor of the evaporated liquid, gaseous emissions do not occur [4...8]. However, pumping water into the ground for UGS can cause seismic activity or small earthquakes. In Basel, Switzerland, the pumping process caused hundreds of tiny earthquakes, which escalated into more significant seismic activity even after the water injection was stopped. This led to the cancellation of the geothermal project in 2009.

Geothermal energy is a promising alternative energy source as it is suitable for base load power supply. It can also replace fossil fuel power generation and be combined with other renewable energy sources such as solar thermal. To bring geothermal energy to a level where it can be truly integrated into the country's energy palette, more research is needed in geotechnical engineering, natural sciences and socioeconomics. Geothermal Energy focuses on the basic and applied research needed to introduce technologies for the development and integration of geothermal energy as one of the key elements of the future energy profile.

## BIBLIOGRAPHIC LIST

1. Безруких П.П. Экономические проблемы нетрадиционной энергетики / Энергия: Экон., техн., экол. 1995. №8. С. 72-83.
2. Шейдлин А.Е. Новая энергетика / М.: Наука, 1987. 463 с.
3. Амерханов Р. А., Ададунов Е. А., Денисова А. Е. Анализ системы теплоснабжения с комплексным использованием альтернативных источников энергии / Изв. вузов. Электромеханика. 2004. № 1. С. 61-63.
4. Баренблатт Г. И., Ентов В. М., Рыжик В. И. Движение жидкостей и газов в природных пластах / М.: Недра. 1984. 214 с.
5. Пleshка М.С., Вырлан П.М., Стратан Ф.И. и др. Теплонасосные гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения зданий / Кишинев: Штиинца. 1990. 122 с.
6. Берман Э. Геотермальная энергия / М.: Мир, 1978. 416 с.
7. Амерханов Р. А. Тепловые насосы / М.: Энергоатомиздат. 2005. 160 с.
8. Трубаев П.А., Гришко Б.М. Тепловые насосы. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 142 с.

УДК 620.92

*Молчанова Е.С.*

*Научный руководитель: Губарева В.В., доц.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТЕПЛОЭНЕРГИИ**

Нефть и продукты ее естественного выхода на земную поверхность давно известны человечеству. Их использовали в Вавилоне и Византии как зажигательную смесь. В древнем Египте, Риме и междуречье Тигра и Евфрата их применяли как вяжущие гидроизоляционные материалы при строительстве дорог, акведуков и других сооружений. С конца 18 века продукт керосин стал использоваться для освещения жилищ и улиц, а с 19 века, с изобретением двигателя внутреннего сгорания нефтепродукты стали основным видом топлива для различных транспортных средств. Нефтяная промышленность сегодня — это крупный народнохозяйственный комплекс, который живет и развивается по своим закономерностям

По мнению экспертов Kelcas Oil Corporation, нефть и газ в настоящее время переживают огромные изменения из-за развития технологий. Технологии внесли большой вклад в эскалацию роста добычи нефти и газа. Появились новые цифровые технологии, которые произвели революцию в отрасли и были приняты игроками отрасли для сокращения затрат и повышения прибыли и эффективности. Не только это, но и ряд новых технологий также открыли двери к новым источникам нефти и природного газа, достигли отдаленных мест и даже получили доступ к самым сложным запасам нефти и газа, добыча которых раньше была дорогой. Внедрение этих новых технологий, несомненно, позволит компаниям удовлетворить растущий спрос на энергию во всем мире [1].

Добыча нефти и газа — это общий процесс добычи нефти и природного газа из скважин и превращения их в конечные нефтепродукты, которые могут использовать потребители. Добыча нефти и газа включает в себя систематические шаги, начиная с разведки



месторождений, заканчивая фактической добычей и даже до распределения продукции среди предприятий и населения.

Нефтегазовая промышленность является одним из крупнейших секторов в мире и играет огромную роль в мировой экономике. Но, как и любая другая отрасль, она может быть очень хрупкой и подверженной волатильности. Учитывая все, что в последнее время происходит между двумя крупными производителями нефти, возникает необходимость нарастить добычу нефти и газа, чтобы избежать дефицита и предотвратить дальнейший рост цен.

Процесс добычи нефти и газа делится на три основных этапа: вверх по течению, в середине и вниз по течению. Каждый этап регулируется, и законы могут различаться в зависимости от местности или штата. Существуют также международные соглашения, которые необходимо соблюдать и соблюдать [2].

Восходящий поток относится к основному процессу добычи нефти и газа, который включает в себя разведку, бурение и добычу. Это начальная часть, где геологи и другие отраслевые эксперты ищут горные породы или районы, где обычно находятся нефть и газ. После того, как площадка выбрана, она будет подготовлена и разработана для фактического производственного процесса. Процесс и сроки бурения скважины могут варьироваться в зависимости от методов и оборудования, используемых в процедуре. Обычно это занимает от двух до четырех недель, но бурение морской скважины может длиться несколько месяцев.

Нефть и газ обычно бурят вертикально, но использование более новых технологий дает различные преимущества, такие как возможности экономии времени, меньшие эксплуатационные расходы и меньшее негативное воздействие на окружающую среду. К новым методам бурения относятся: горизонтальное бурение, многоствольное бурение, бурение с увеличенным отходом от вертикали и бурение по сложной траектории.

Добыча нефти и газа обычно включает фактический процесс извлечения обычной нефти и природного газа из подземных резервуаров и скважин. Это также этап, на котором осуществляется гидроразрыв и рециркуляция жидкости для гидроразрыва [3].

Как вторичный этап, мидстрим в основном относится к переработке, хранению и транспортировке нефтегазовых продуктов.

Это средний этап, на котором нефть и природный газ разделяются, а затем передаются на газоперерабатывающие заводы, где удаляются ненужные продукты и неуглеводородные газы.

Надлежащее хранение продуктов необходимо для удовлетворения внутреннего и международного спроса, предотвращения нехватки и несоответствий в поставках, а также для обеспечения безопасности всех рабочих и людей, вовлеченных в отрасль. Природные газы обычно хранятся в подземных пространствах, таких как истощенные резервуары, в то время как готовые нефтепродукты, сырая нефть и очищенная нефть обычно используются в качестве хранилища надземных резервуаров.

Транспортировка является всеобъемлющим процессом для отрасли. Он начинается с того момента, когда нефть и газ добываются и доставляются на перерабатывающие заводы, передаются компаниям и предприятиям по всей стране и в другие страны и, наконец, населению или первичным потребителям.

Неочищенная нефть транспортируется танкерами и трубопроводами, а конечные нефтепродукты поступают на рынок грузовиками, железнодорожными вагонами, цистернами и другими трубопроводами.

Нисходящий поток относится к третьему этапу и заключительному процессу очистки и распределения нефтепродуктов. Переработка — это процесс преобразования нефти и природного газа в готовые нефтепродукты, которые можно использовать по разным причинам, например, в качестве топлива для транспорта и электричества, асфальта и дорожных масел, керосина или в качестве сырья для производства пластмасс и синтетических материалов [4].

Переработка нефти также включает несколько процессов в зависимости от желаемого конечного продукта. Этот процесс обычно включает в себя следующие этапы: дистилляция, крекинг, коксование, риформинг и постобработка.

Как следует из названия, дистрибуция является последним этапом, на котором готовые нефтепродукты транспортируются и распределяются между предприятиями, государственными учреждениями и широкой общественностью, состоящей, среди прочего, из промышленных потребителей, поставщиков электроэнергии и отопления жилых и коммерческих помещений.

Распределение является последним этапом, на котором готовые нефтепродукты транспортируются и распределяются между предприятиями, государственными учреждениями и широкой общественностью, состоящей, среди прочего, из промышленных потребителей, поставщиков электроэнергии и отопления жилых и коммерческих помещений [5].

Добыча нефти и газа сложна и включает в себя несколько процессов, которые далее разбиваются на более мелкие этапы. Эта отрасль также включает в себя различные предприятия, которые играют свои роли на этапах апстрима, мидстрима и даунстрима. Для обеспечения эффективной процедуры от начала до конца используется значительное количество оборудования для добычи нефти и газа. К основному промышленному оборудованию относятся: танкеры; теплообменники – кожухотрубные, пластинчатые, регенеративные и адиабатические колесные теплообменники; испарители – с естественной/принудительной циркуляцией, с восходящей/ниспадающей пленкой, с поднимающейся и падающей пластиной, многоступенчатые и тонкопленочные испарители с перемешиванием; воздухоохладители; башни; стальные трубы; геофизическое разведочное оборудование; буровое и добычное оборудование; нефтеперерабатывающее и химическое оборудование; лесозаготовительное оборудование [6].

В настоящее время человечество переживает углеводородную эру. Нефтяная отрасль является главной для мировой экономики. В нашей стране эта зависимость особенно высока. Если продолжать хищническую эксплуатацию месторождений вкупе с большими потерями при транспортировке и нерациональной нефтепереработкой, то будущее нефтяной промышленности представляется весьма мрачным. Уже сегодня сокращение темпов производства составляет в среднем 12 - 15% в год, что чревато полным развалом стратегически важной для державы отрасли. Дальнейшее экстенсивное развитие нефтяной промышленности уже невозможно. Однако основными проблемами остаются: высокая степень износа основных фондов, недостаток инвестиционных вложений, высокая степень зависимости нефтегазового сектора России от состояния и конъюнктуры мирового энергетического рынка, влияние кризиса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шейдлин А.Е. Новая энергетика. - М.: Наука, 1987. 463 с.
2. Щелкачев В.Н. Отечественная и мировая нефтедобыча. Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2002. 132 с.
3. Муравьев В.М.; Середа Н.Г. Основы нефтяного и газового дела. "Недра", М.: 1980. 287с.
4. Молчанов Г.В., Молчанов А.Г. Машины и оборудование для добычи нефти и газа. Учебник для вузов. – М.: Недра. 1984. 464 с.

5. Мстиславская Л.П. Основы нефтегазового производства. М:Нефть и газ. 2003. 267 с.

6. Трубаев П.А., Гришко Б.М. Тепловые насосы. Белгород: Изд-во БГТУ. 2010. 142 с.

*УДК 62-192*

*Муженко А.С., Миляков В.Г.*

*Научный руководитель: Соломенцев К.Ю., канд. техн. наук, доц.  
Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия*

### **О КОНТРОЛЕ СОСТОЯНИЯ И УРОВНЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ В ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ**

В современном мире информационно-измерительные и управляющие системы (ИИУС), представляющие собой совокупность средств измерения и дополнительных устройств, объединённых и обменивающихся информацией между собой каналами связи, используются повсеместно для получения, передачи и обработки информации от ряда её источников [1]. Примерами подобных ИИУС могут быть система автоматики автомобиля или автоматизированная система управления (АСУ) трансформаторной подстанции. Источниками стартового или резервного питания подобных систем могут выступать аккумуляторные батареи (АКБ), необходимость контроля состояния и заряда которых имеет большое значение.

Задача усложняется, когда АКБ представляет собой массив из нескольких аккумуляторов, и необходимо определить, какой именно аккумулятор вышел из строя или выдает не соответствующие норме значения параметров.

Предположим, имеется система бесперебойного питания с цепочкой последовательно подключённых аккумуляторов. Во время работы, выясняется, что система стартового или резервного питания работает не корректно, одной из причин может быть неисправная батарея аккумуляторов. Необходимо определить, какой именно аккумулятор в батарее неисправен.

Средствами измерения можно выяснить несколько параметров – напряжение, силу тока. Так же в обслуживаемых аккумуляторах можно замерить уровень электролита. Остальные же характеристики и параметры не измерить напрямую, необходимо придерживаться методик изготовителя, которые разнятся в зависимости от изготовителя. Для того что бы измерить емкость аккумулятора достоверно, необходимо цикл полного разряда – заряда, с тщательной фиксацией параметров, что при большом количестве аккумуляторов займет много времени.

Основные методы оценки состояния АКБ приведены в Таблице.

Таблица – Основные методы оценки состояния АКБ

Способ определения состояния АКБ	Преимущества	Недостатки
Подключение нагрузки	Достаточно реалистичные результаты без использования специализированного оборудования	Время-затратность при многократных измерениях  Измеренные параметры документируются вручную
Нагрузочная вилка, специализированные анализаторы и тестеры	Портативность устройств Простота использования Быстрое проведение измерений, особенно многократных Некоторые модели способны проводить измерения без выведения АКБ из режима эксплуатации Специализированные модели позволяют сохранять результаты и переносить их на компьютер для подготовки отчетов	Часть параметров АКБ определяется по косвенным методикам Оценочная точность измерений
Полный разряд/заряд	Единственный достоверный способ оценки емкости АКБ	Очень продолжительная процедура – многие часы, иногда сутки
Измерение плотности электролита $\rho$	Непосредственное определение состояния батареи по концентрации электролита	Способ применяется только для обслуживаемых батарей

Существует масса тестеров для измерения емкости аккумуляторов, но основная их проблема в том, что получаемые данные могут с большой вероятностью оказаться ошибочными, либо иметь большую погрешность. Так же тестеры емкости имеют достаточно высокую цену, что приводит к нерентабельности их покупки.

Для проверки емкости аккумулятора предлагаем использовать формулу (1)[3].

$$C = \frac{P * t}{(U * \mu)} \quad (1)$$

где С – емкость аккумулятора, Ач; U – напряжение в сети, В; P – мощность подключаемого оборудования для аккумулятора, Вт;  $\mu$  – КПД; t – время работы до полной разрядки, ч.

Данная формула имеет погрешности, но является наиболее приемлемым вариантом измерения емкости аккумулятора в рабочих условиях при комнатной температуре.

Если же необходимо измерить емкость блока батарей, предлагаем использовать формулу (2).

$$C_{\text{бл}} = C_{\text{бат}} * N_{\text{б}} \quad (2)$$

где  $C_{\text{бат}}$  – номинальная емкость батареи в ампер-часах, Ач;  $N_{\text{б}}$  – количество групп соединенных последовательно батарей, соединенных параллельно.

Предлагается использовать данные формулы для создания собственного тестера состояния АКБ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плотников, Д.А. Оценка времени отклика элементов в модульных информационно-измерительных и управляющих системах, использующих интерфейс CAN / Д.А. Плотников // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2017. – № 1. – С. 13-18.

2. Бровка, Н. Система контроля литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов батарей. / Н. Бровка // Компоненты и Технологии. – 2006. №10 – С.17-21

3. Клейман, Э.М. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту стартерных аккумуляторных батарей. / Э.М. Клейман // Министерство транспорта РФ. – 1994.

*УДК 621*

*Наумов А.Д.*

## **СОЗДАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА**

В настоящее время электрический транспорт становится все более популярным во всем мире. Это связано с рядом преимуществ, которые он предоставляет. Электротранспорт – наиболее экологически чистый вид транспорта. Современный общественный электротранспорт привлекателен для пассажиров: бесшумность и отсутствие вибраций при движении, плавность хода, высокая провозная способность. Среди преимуществ электротранспорта в городской среде – простота, ремонтпригодность и более долгий срок службы подвижного состава, движение без заторов и максимальная скорость на обособленном полотне. Электрический транспорт наиболее актуален для холодных погодных условий.[1] Развитие индустрии электромобилей на накопителях энергии (батареях), как в части потребления, так и в части производства, позволит внести значительный вклад в декарбонизацию экономики и повышение качества жизни в крупных городах. Электромобили на водородных топливных ячейках смогут усилить этот вклад только через 10-15 лет, когда будут получены экономически эффективные и экологические чистые методы выделения водорода. Следует иметь в виду, что внедрение электротранспорта не означает радикального перехода и отказа от ДВС. По расчетам Bloomberg, к 2040 г. более 60 % километров в мире всё еще будут преодолеваться на транспорте с ДВС. Поэтому речь идет не о радикальной замене одних технологий другими, а о параллельном создании и развитии новых рынков, новой инфраструктуры, новых технологий. Тем самым в условиях мирового экономического кризиса данная инициатива становится одним из ключевых инструментов обеспечения экономического роста: как глобально, так и для стран, активно участвующих в этом процессе.[5] Поэтому, для того чтобы электромобили стали настоящей альтернативой обычным автомобилям, необходимо создать соответствующую инфраструктуру.

Также важно создать систему поддержки и поощрения использования электротранспорта. Для этого можно проводить кампании информирования населения о преимуществах использования электромобилей, а также предоставлять льготы и субсидии на покупку и эксплуатацию электротранспорта. В некоторых городах уже существуют программы поощрения использования электромобилей,

например, предоставление бесплатной парковки или снижение стоимости проезда по платным дорогам.[4]

Создание инфраструктуры для развития электрического транспорта имеет множество преимуществ. Во-первых, это снижает выбросы вредных веществ в атмосферу, что положительно сказывается на экологии города. Сегодня экологическая проблема становится все более актуальной, и создание инфраструктуры для развития электрического транспорта – это один из способов решения этой проблемы.

Во-вторых, создание инфраструктуры для электротранспорта повышает уровень комфорта и безопасности для пассажиров и водителей электромобилей. Электромобили более тихие и экономичные, что снижает уровень шума и загрязнения в городе. Кроме того, электромобили обладают более высокой степенью безопасности, поскольку они имеют более низкий центр тяжести и более быструю реакцию на управление.[3]

В-третьих, создание инфраструктуры для развития электрического транспорта способствует развитию новых технологий и инноваций в области электротранспорта. Сегодня научно-технический прогресс делает большие шаги в области электротранспорта, и создание инфраструктуры для его развития – это один из способов стимулирования этого процесса.

В заключение, хотелось бы подчеркнуть, что создание инфраструктуры для развития электрического транспорта является важным шагом в направлении устойчивого развития городов и улучшения качества жизни людей. В этом вопросе необходимо действовать комплексно, инфраструктуру и проводя кампании по информированию населения. Создание инфраструктуры для развития электрического транспорта имеет множество преимуществ, которые сказываются на экологии города, комфорте и безопасности пассажиров и водителей электромобилей, а также способствуют развитию новых технологий и инноваций в области электротранспорта.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Камбулатов Д. Ю., Васильевский А. Б., Лысенко М. В. Организация инфраструктуры для электротранспорта //Научно-аналитический экономический журнал. – 2018. – №. 4. – С. 17-17.
2. Килина Е. Ф., Кукина И. В., Липовка А. Ю. Принципы создания модели развития системы электрического транспорта в городской среде (на примере города Красноярск) //Известия Казанского



государственного архитектурно-строительного университета. – 2019. – №. 1 (47). – С. 109-120.

3. Мошков В. Б. и др. Предпосылки и тенденции развития электромобилей //Технологии гражданской безопасности. – 2021. – Т. 18. – №. 2 (68). – С. 14-19.

4. Ратнер С. В. Эволюция транспортной инфраструктуры в целях охраны климата: развитие инновационных технологий автомобильного транспорта в России и мире //Инновации. – 2019. – №. 5 (247). – С. 28-34.

5. Титов В. В., Юрлов Ф. Ф. Повышение уровня экономической безопасности предприятий автокомпонентов через развитие электрического транспорта в России //Экономическая безопасность России: проблемы и перспективы. – 2022. – С. 190.

*УДК 621.311.2*

*Наумова С.И.*

*Научный руководитель: Хамидуллина М.С., асс.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПОРШНЕВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЛОГО МИКРОРАЙОНА**

В настоящее время энергетический вопрос является одним из ключевых предметов на международном уровне. Существует ряд факторов, включая изменение климата, нестабильность цен на нефть и природный газ, которые заставляют многих лидеров мирового сообщества и научные институты искать новые способы повышения эффективности и использования альтернативных источников энергии. Одним из наиболее эффективных решений для энергообеспечения жилого микрорайона является применение газопоршневых установок.

Газопоршневые установки (ГПУ) – портативные электростанции (ЭС) на базе газопоршневых двигателей внутреннего сгорания, на сегодняшний день являются достойным конкурентом дизельных и бензиновых генераторов.

ГПУ могут работать как в простом (только производство ЭЭ), так и в когенерационном (совместная выработка электрической и тепловой энергии) или тригенерационном цикле (совместная выработка ЭЭ и хладагента) [1, 2]. Они используют природный газ в качестве чистого и экологически безопасного источника энергии. При этом производится удивительно мало отходов, что позволяет уменьшить затраты на их переработку.

Принцип действия ГПУ. Горючий газ необходимых параметров поступает на газопоршневой двигатель. В процессе сжигания топлива образуется механическая энергия, которая передается через единый вал на генератор и преобразуется в электрическую энергию стандартных параметров качества. Вырабатываемая электроэнергия через кабельные линии передается на генераторное распределительное устройство необходимого уровня напряжения (генераторная ячейка) с последующим распределением до существующего распределительного устройства энергосистемы предприятия заказчика.

Во время работы установки высвобождается большое количество тепла (рубашка охлаждения двигателя, отработавшие дымовые газы, нагретое масло), которое снимается с помощью теплообменников и котлов-утилизаторов (система утилизации попутного тепла). Вырабатываемая тепловая энергия направляется в существующую тепловую сеть предприятия. Если не использовать тепло, полученное в процессе производства электроэнергии, то тепловая энергия сбрасывается в атмосферу [3].

Двигатель выделяет тепло, нагревающее воду, которая в дальнейшем используется для различных целей, таких как отопление объекта [4].

Использование газопоршневых установок для энергообеспечения жилого микрорайона имеет несколько преимуществ по сравнению с более традиционными источниками энергии. Вот некоторые из них:

1. Экономическая эффективность. ГПУ работает на газовом топливе, которое обычно стоит гораздо дешевле, чем другие виды топлива. Это позволяет снизить затраты на электроэнергию для жителей микрорайона.

2. Надежность. ГПУ может работать длительное время без перерыва и обеспечивать непрерывную подачу электроэнергии, даже в случае отключения центральной электросети.

3. Экологическая безопасность. Газ, используемый в качестве топлива, является более экологически безопасным, чем другие виды топлива, такие как уголь или нефть. При этом газопоршневые установки имеют более низкий уровень выбросов вредных веществ, что способствует более чистой окружающей среде и уменьшает воздействие на здоровье людей.

4. Гибкость в адаптации к изменяющейся нагрузке. ГПУ может работать с различной мощностью, в зависимости от потребности в электроэнергии микрорайона. За счет этого гибкость настройки и эффективного использования ресурсов позволяет наименее затратным образом подобрать индивидуальный режим работы.

5. Автономность. ГПУ - это автономный источник энергии, который позволяет работать микрорайону в автономном режиме, при отключении от центральной электросети.

6. КПД. Коэффициент полезного действия газопоршневых установок на порядок выше, чем у традиционных энергетических систем, таких как угольные, нефтяные и дизельные электростанции. Обычно он составляет от 35% до 50%. Некоторые современные модели газопоршневых установок способны достигать КПД до 53%.

Благодаря использованию газопоршневой установки удастся:

1. Стать независимым от централизованного энергоснабжения, которое не всегда стабильно и часто поставляет некачественную электроэнергию.

2. Обеспечить без прерывания потребление энергии в достаточном количестве и стабильную работу энергозависимого оборудования, даже если отсутствует возможность подключения предприятия к городским электрическим сетям или электролинию нужно слишком далеко тянуть.

3. Сэкономить, потому что не придется выполнять подключение к централизованным электро- и теплосетям, а также не нужно будет строить подвод к таким коммуникациям.

4. Уменьшить ежемесячную плату, так как себестоимость автономно произведенного электричества ниже, чем в сетевых компаниях [5].

Также газопоршневой генератор имеет преимущество в возможности работы в когенерационном и тригенерационном режимах. В зависимости от комплектации, установка может использовать попутное тепло с экономической выгодой, что позволяет избежать затрат на приобретение тепловой энергии у сторонней организации.

Применение ГПУ для энергообеспечения жилого микрорайона может быть реализовано несколькими способами. Один из способов - это установка ГПУ на территории микрорайона. Это позволит микрорайону быть независимым и производить энергию на месте без необходимости покупки энергии у внешних поставщиков. Также установка ГПУ на территории микрорайона обеспечит бесперебойную подачу электричества и тепла жителям микрорайона.

Другим способом может быть подключение ГПУ к сети энергоснабжения. Это позволит использовать ГПУ в качестве резервной генерации, что обеспечит безопасность и надежность работы системы

энергоснабжения микрорайона в случае возникновения аварийных ситуаций и обрыва питания.

Также газопоршневые установки могут использоваться для совместного производства электроэнергии и тепловой энергии. Например, ГПУ может использоваться для производства электричества, а тепловая энергия, выделяемая при этом процессе, может быть использована для отопления и горячего водоснабжения жилых домов в микрорайоне.

В целом, использование газопоршневых установок для энергообеспечения жилого микрорайона является одним из самых эффективных и экологически чистых решений в наши дни. Это позволяет перейти от использования обычных тепловых электростанций к более устойчивому и экономичному источнику энергии. Разработка этой технологии - это важный шаг к обеспечению более эффективного и экологически чистого будущего для микрорайонов, где удастся использовать данные технологии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Костюков В.Д., Разработка методики расчёта окупаемости собственных источников генерации промышленных предприятий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://dpspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/19827/1/Костюков%20В.Д.\\_ЭТМ-1901a.pdf](https://dpspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/19827/1/Костюков%20В.Д._ЭТМ-1901a.pdf).

2. Juan Pablo Jimenez Navarro, Sylvain Quoilin, Andreas Zucker The joint effect of centralized cogeneration plants and thermal storage on the efficiency and cost of the power system [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218302536/>.

3. Что такое газопоршневые электростанции [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://mks-group.ru/a/gazoporshnevye-elektrostantsii>.

4. Газопоршневая установка принцип действия [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://powerlinkworld.ru/informatsionnye-statii/kak-rabotayut-gpu-i-kak-oni-ustroeny/>.

5. Газопоршневые электростанции: основное понятие, устройство и принцип работы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://enpowertech.ru/blog/gazoporshnevye-elektrostantsii-dlya-polucheniya-nedorogoj-energii#item-10>.

*УДК 796.085*

*Палиенко Н.И., Беловодский Е.А., Чесняк А.В.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ**

В настоящее время развитие экономики в значительной степени определяется тем, насколько эффективно развивается энергетический сектор. С учетом этого в статье показано, что развитие возобновляемой энергетики и цифровая трансформация выступают важными векторами развития энергетического сектора. Определено более детальное содержание каждого из указанных приоритетов и показана их взаимосвязь и взаимообусловленность. Определено, что современное наполнение вектора цифровой трансформации в энергетической сфере отражает не просто применение информационно-коммуникационных или аналитических технологий, а фокусировку на интеллектуальных цифровых решениях и создание умных энергетических систем. В работе показано, что устойчивость и интеллектуализация как важные компоненты указанных векторов развития энергетики сопряжены с инкорпорированием отдельных энергетических систем в более крупные умные экономикотехнологические системы отраслевого или территориального типа.

В настоящее время энергетический сектор фактически представляет собой ту отраслевую группу, функционирование и развитие которой в значительной степени определяет результативность и эффективность перехода к новому технологическому укладу российской экономики, задает спектр возможностей и ограничений для реализации стратегии Индустрии 4.0. Такая ситуация определяется амбивалентной ролью энергетических компаний, которые одновременно производят и потребляют энергию, влияют на спрос и предложение на энергетическом рынке, воздействуют на инфраструктурные и технологические составляющие конкурентоспособности хозяйствующих субъектов в промышленности, в том числе, проецируя на них свой уровень энергетической эффективности и безопасности. Для отечественной экономики усиление перечисленных позиций происходит в силу значительного места топливно-энергетического комплекса, занимаемого им в национальной хозяйственной системе. Это вызывает особенный исследовательский интерес к вопросу поиска ключевых векторов развития энергетического сектора в новых социально-экономических и технологических реалиях. На определение и содержательное наполнение таких векторов влияет

целая совокупность факторов, часть из которых относится к достаточно универсальным императивам развития энергетики и применима для большого количества стран мира, тогда как другая часть связана с эволюционной спецификой формирования и модернизации отечественного топливно-энергетического комплекса. К первой группе факторов можно отнести направленность на достижение целей устойчивого развития, решение проблем энергетической безопасности, реализацию актуальной климатической повестки (во многом связанной с сокращением выбросов CO<sub>2</sub>), цифровую трансформацию мировой экономики, стабилизацию положения на мировых рынках энергоносителей. В свою очередь, вторая группа факторов сопряжена с высоким уровнем энергопотребления и относительно низким уровнем энергоэффективности российской промышленности, доминирующим положением топливно-энергетического сектора в экономике, наличием достаточно развитой энергетической инфраструктуры и существенными запасами энергоносителей.

Комплексный анализ теоретических исследований и эмпирических данных по развитию энергетического сектора, профильных национальных стратегий и программ, аналитических материалов консалтинговых компаний, международных общественных организаций сферы энергетики, а также собственно стратегий и отчетов крупных энергетических компаний позволяет выделить в качестве ключевых два взаимосопреженных вектора развития энергетического сектора. На исследование содержательного наполнения указанных векторов и перспектив их реализации в современных экономических условиях направлена данная работа. Анализ показателей эффективности использования энергии в Российской Федерации позволяет заключить, что, несмотря на положительную динамику энергоемкости (в 2019 году энергоемкость ВВП была зафиксирована на рекордно низком уровне за пятилетний период), темпы повышения энергоэффективности экономики страны находятся ниже среднемировых показателей. Результативные кейсы ресурсосбережения и повышения энергоэффективности в рамках технологического фактора, характеризующие указанный временной период, в значительной степени связаны с цифровыми решениями [1].

Следует, однако, отметить, что промежуточные показатели практически всех профильных стратегий развития в стране в части энергосбережения и повышения энергоэффективности не были достигнуты [2]. Динамика доли электрической энергии, производимой с использованием возобновляемых источников энергии, в общем объеме производства электрической энергии, характеризуется

разнонаправленными трендами, в целом не позволяющими сделать вывод об однозначно положительной ситуации в данной сфере во всех федеральных округах (внутри которых присутствует также существенная региональная дифференциация). Тренд на все более активное использование возобновляемых источников энергии является одним из ключевых в развитии энергетики развитых и развивающихся стран, причем в условиях экономики пандемии COVID19 он только усилился. Только на солнечную фотоэлектрическую энергию приходится более половины всего расширения возобновляемых источников энергии в 2021 году, второе и третье место занимают ветер и гидроэнергетика. [3]

По прогнозам экспертов Международного энергетического агентства, рост возобновляемых мощностей ускорится в ближайшие пять лет, составив почти 95 % прироста мировых энергетических мощностей к 2026 году. Ключевыми драйверами успешной реализации данного тренда на практике являются: политическая поддержка со стороны государств и надгосударственных институтов, заключение большего числа контрактов на возобновляемую электроэнергию корпорациями, а также расширение установки солнечных батарей потребителями [4]. Кроме того, нужно отметить рост конкурентоспособности возобновляемых источников энергии и технологий их генерации.

Генерация тепла характеризует крупнейшее в мире конечное потребление энергии (в 2021 года - практически половина мирового конечного потребления энергии). На производственные процессы приходится 51 % энергии, потребляемой для получения тепла, 46 % потребляется в зданиях для обогрева помещений и воды и, в меньшей степени, для приготовления пищи. [5] Остальная часть используется в сельском хозяйстве, в первую очередь, для обогрева теплиц. По прогнозам спроса на тепло будет расти в среднесрочной перспективе. Здесь важно отметить, что политические инициативы в данной области не являются достаточными для успешного перехода к использованию энергии из возобновляемых источников. Более того, именно в части потребления энергии требуется обратить особенное внимание на сопряжение двух трендов – перехода к возобновляемой энергетике и цифровой трансформации экономики. Цифровые технологии выступают в данном случае как технологии-интеграторы для внедрения сквозных технологий новой индустриализации. В качестве примера сквозных технологий в энергетическом секторе можно привести централизованное теплоснабжение и охлаждение с циркулярными экономическими моделями, решения для хранения тепловой энергии,

гибридные системы генерации возобновляемой энергии [6]. Современное наполнение вектора цифровой трансформации в энергетической сфере отражает не просто применение информационно-коммуникационных или аналитических технологий, а фокусировку на интеллектуальных цифровых решениях и создание умных энергетических систем. Нужно отметить, что создание систем умной энергетики на основе использования интеллектуальных цифровых технологий встраивается в общий вектор перехода к формированию вертикально и горизонтально взаимосвязанных сетей создания стоимости в условиях новой индустриализации, что изменит, как отмечают Акбердина В.В. и Пьянкова С.Г., не только отраслевые рынки, но и структуру цепочек добавленной стоимости, так как технологические и экономические эффекты Индустрии 4.0 позволяют преобразовать отрасли промышленности в промышленные цифровые платформы [7]. И цифровизация, и увеличение роли возобновляемой энергетики при этом трансформируют цепочки создания стоимости и требуют создания новых бизнес-моделей на основе усиления взаимодействия самых различных экономических агентов в рамках экосистем, базирующихся, в том числе, на принципах и моделях циркулярной экономики. Одной из характерных особенностей работы промышленных предприятий является то, что в отработанных газах, которые выбрасываются в окружающую среду, может содержаться достаточно большое количество вредных примесей. [8]. Различные возобновляемые источники, стратегии ценообразования и управления нагрузкой предполагают использование интернета вещей в производстве энергии. Выходя на более высокий уровень интеграции предлагают комплексную методологию планирования и оценки создания интеллектуальных энергетических систем, приводящих к созданию сложных сетей технологий энергоснабжения с использованием разнообразных локальных и внешних ресурсов в более общей системе умных городов, концентрируя внимание на принятии эффективных решений по распределению энергетических ресурсов.

Таким образом, содержательно ключевые тренды развития энергетического сектора, связанные с усилением роли возобновляемой энергетики и цифровых технологий для повышения энергетической эффективности тесно связаны между собой и во многом взаимообусловлены. В значительной степени это определяется тем, что устойчивость и интеллектуализация как важные компоненты указанных трендов развития сопряжены с интеграцией и инкорпорированием отдельных энергетических систем в более крупные умные экономикотехнологические системы отраслевого или территориального



типа. Для успешной реализации выделенных векторов и получения связанных с этим преимуществ в российской экономике требуется большее внимание уделять как созданию соответствующих институциональных условий и финансовых стимулов на макроуровне, так и выработке новых проактивных стратегий энергетическими компаниями для интеллектуальной цифровой трансформации энергосектора с акцентом на устойчивую зеленую энергетику.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации. Изд-во Министерство экономического развития Российской Федерации. Москва. 2020. С. 5

2. Технологическое развитие отраслей экономики. Изд-во Федеральная служба государственной статистики. 2018. С. 59

3. Цыбаев В. А. Экономический рост как важнейший фактор снижения энергоёмкости валового регионального продукта // Экономика региона. 2020. Т. 16, вып. 3. С. 739-753.

4. Анализ возобновляемых источников энергии на 2021 год и прогноз до 2026 года. Международное энергетическое агентство. 2021 год. С. 233

5. Новые энергетические перспективы на 2021 год. Блумберген, 2021 год. С. 34

6. Стратегические приоритеты исследований в области сквозных технологий возобновляемого отопления и охлаждения. Европейская технологическая платформа по Возобновляемые источники отопления и охлаждения. 2012. С. 111

7. Акбердина В.В., Пьянкова С.Г. Методологические аспекты цифровой трансформации промышленности// Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. №1. С. 292-313.

8. Губарева В.В. Утилизация твердых бытовых отходов - одна из актуальных проблем современности // Научные технологии и инновации: эл. сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – Ч. 8. – С. 7-11.

УДК 697.3

*Панищева Ю.С.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет*

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМЕШАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Понятие, «комбинированное отопление» подразумевает под собой различные комбинации отопительных приборов. При этом используются различные типы топлива, устройства отопления или котлы отопления.

Собственникам частных домовладений, не имеющим возможности провести газовое отопление, подойдёт такой вариант системы отопления для дома. При помощи этой эффективной системы можно обеспечить качественный обогрев помещения и создать в нём уютную домашнюю обстановку (Рис. 1).

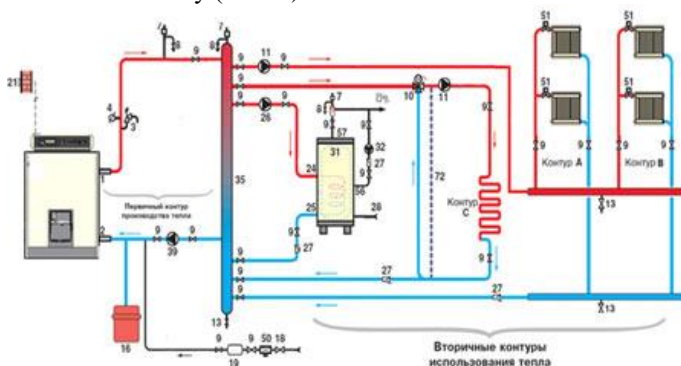


Рис. 1 Схема комбинированного отопления частного дома

Приобретая многопливную конструкцию котла, являющуюся элементом комбинированного отопления, нужно ознакомиться с универсальной мощностью устройства котла [1]. Площадь здания, отопительные потребности здесь тоже учитываются. Рассматривают наиболее эффективные и актуальные комбинации отопления, которые строятся на трёх принципах:

1. энергия добывается из всевозможных известных источников;
2. энергия образуется, сберегается и аккумулируется, с последующим её рациональным использованием;
3. система создаётся как в период строительства, так и в построенном доме.

Комбинированное отопление частного дома является широко применяемым видом обогрева, потому как очень удобно переключиться

с одного топлива на другое при помощи смены горелки, включённой в общий набор.

При этом не происходят какие-либо значимые изменения в настройках, все вопросы решаются при помощи инструкции. Камера сгорания одна для двух видов топлива, поэтому процесс переключения бывает недолгим. Технически этот вариант считается успешным, несмотря на разные цены топлива.

При этом не происходят какие-либо значимые изменения в настройках, все вопросы решаются при помощи инструкции. Камера сгорания одна для двух видов топлива, поэтому процесс переключения бывает недолгим. Технически этот вариант считается успешным, несмотря на разные цены топлива (Рис. 2).

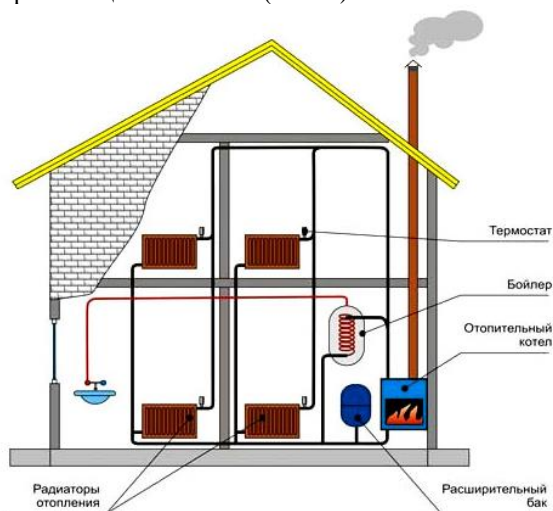


Рис. 2 Схема комбинированного отопления двухэтажного дома

В последних разработанных представителях имеются встроенные ТЭНы для работы на существующих энергоносителях, а также присутствуют горелки, позволяющие употреблять как газ, так и солянку, просто переводя переключатель в нужный режим. В целях экономии и получения нужного эффекта обогрева большой площади, стоит использовать теплоаккумулятор, актуальнее всего это в котлах с применением угля [2]. Во время использования твёрдого топлива не происходит регулировка мощности котельной системы и в комнате становится чрезвычайно жарко. Присутствующий же теплоаккумулятор:

1. отводит избыток тепла, происходит его консервация;

2. при недостатке тепла горячая вода передаётся на ГВС или в систему.

При такой конструкции можно включать котёл не так часто.

Виды комбинированных систем отопления:

1. Газовый и дизельный котёл.

От показателей теплообменника зависит функционирование и эксплуатация настоящего сочетания. Такой представитель бывает изготовлен из чугуна и стали в отдельности, либо в совмещении. Потребители, пользующиеся комбинированным котлом для частного дома, убедились, что при расположенном поблизости газопроводе, возможно применение как водяного отопления, так и комбинированной системы в виде сочетания солярки и газа. Это очень экономная версия приобретения и дальнейшей эксплуатации конструкции.

2. Газ и твердое топливо.

Подобная система представляет собой самостоятельное соединение газа и твёрдого топлива. Сюда подойдёт многоотопливное устройство, функционирующее на дровах и угле (Рис. 3).

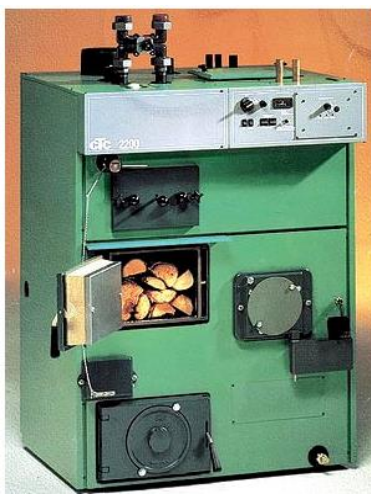


Рис. 3 Котел для комбинированного отопления газ, дизель и твердое топливо

Такое сочетание не всегда эффективно, в котле необходимо присутствие специальной автоматической технологии, контролирующей безопасность [3]. Отнестись к этой ситуации нужно чётко и под присмотром специалиста, тогда будет отдача. Несмотря на непростую конструкцию, данные аппараты популярны по причине недорогой стоимости.

### 3. Твёрдое топливо и электричество.

Комбинированные котлы для отопления частного дома с подобным сочетанием довольно часто используются на практике, преимущественно в дачном варианте (Рис. 4). Объём электричества здесь от 220 до 380 вольт, мощность – 4...9 киловатт [4]. В потенциале имеется трёхфазовое переключение. Присутствуя в помещении, владельцы могут применять твёрдое топливо, а во время отъезда включается автоматика, и в здании будет поддерживаться необходимый температурный режим.



Рис. 4 Котел для комбинированного отопления твёрдое топливо и электричество

### 4. Газ и твердотопливные материалы и электричество.

Потребители, ценящие предельную мощность, выбирают только эту систему отопления, функционирующую с помощью некоторых источников топлива. Сюда применяют уголь, древесину, кокс, брикеты пиломатериалов.

Смешанная система обогрева подойдёт для разных местностей, расположенных вдали от города, но с присутствием газопровода. В случае образования недостатка газа или электричества, всегда существует выход – применять древесину или иное твёрдое топливо.

### 5. Пиролиз и электроды.

Данное приспособление подойдёт для отопления двухэтажного дома или обогрева дачного помещения. Комбинация действия пиролизного и электродного котла позволят поддерживать необходимую температуру, даже когда нет хозяев (Рис. 5).

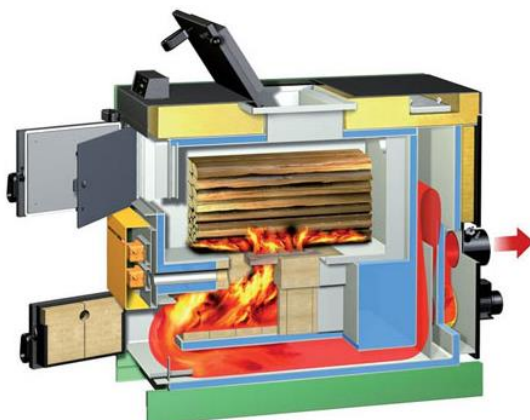


Рис. 5 Котел для комбинированного отопления пиролиз и электроды

Схема представляет собой не один многотопливный механизм, а два агрегата, и уже успела завоевать популярность.

Однозначно, комбинированная система отопления частного дома – это замечательное открытие для владельцев, у которых имеются проблемы с ресурсами тепла. В современных котлах могут применяться разнообразные виды топлива – это уже зависит от индивидуальных решений. У каждого из видов свои недостатки, но при удачных комбинируемых решениях можно достигнуть желаемых результатов и установить подходящую и действенную систему отопления собственного дома.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гашо, Е.Г. О прогнозировании трендов изменения удельных смешанных нагрузок электропотребителей микрорайонов и городов в условиях недостаточности данных / Е.Г. Гашо, С.В. Гужов, А.А. Кролин // Энергетические системы. – 2018. – № 1. – С. 87–94.
2. Гашо, Е.Г. Практика внедрения гибридных систем теплоэнергоснабжения в России / Е.Г. Гашо, А.И. Киселева, А.В. Темеров // Энергетические системы. – 2020. – № 1. – С. 13–18.

3. Буланин, В.А. Алгоритм анализа энергоэффективности источника теплоснабжения / В.А. Буланин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова. – 2019. – №9. – С.54-62.

4. Кулешов, М.И. Модернизация конструкции топливосберегающего газового водонагревателя, направленная на повышение его технико-экономических и экологических показателей / М.И. Кулешов, А.В. Губарев // Промышленная энергетика. – 2016. – № 6. – С. 24–28.

**УДК 620.92**

***Панищева Ю.С.***

***Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.***  
*Белгородский государственный технологический университет*  
*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Ядерная энергия была предложена в качестве ответа на потребность в экологически чистом источнике энергии в отличие от установок, вырабатывающих CO<sub>2</sub>. Ядерная энергия не обязательно является чистым источником энергии. Воздействие ядерной энергии на окружающую среду вызывает серьезные опасения, которые необходимо учитывать, особенно до принятия решения о строительстве дополнительных атомных электростанций [1].

Двуокись углерода.

Ядерную энергетику называют чистым источником энергии, потому что электростанции не выделяют углекислый газ. Хотя, это обманчиво. Атомные электростанции могут не выделять углекислый газ во время работы, но большое количество углекислого газа выделяется при деятельности, связанной со строительством и эксплуатацией станций. Атомные электростанции используют уран в качестве топлива. В процессе добычи урана в окружающую среду выделяется большое количество углекислого газа. Углекислый газ также выделяется в окружающую среду при строительстве новых атомных электростанций. Наконец, транспортировка радиоактивных отходов также вызывает выбросы углекислого газа.

Низкий уровень радиации.

Атомные электростанции постоянно выбрасывают низкие уровни радиации в окружающую среду. Среди ученых существуют разные мнения по поводу последствий, вызванных постоянными низкими уровнями радиации. Различные научные исследования показали повышенный уровень заболеваемости раком среди людей, которые живут вблизи атомных электростанций. Было доказано, что длительное воздействие низкоуровневой радиации повреждает ДНК. Степень ущерба, который низкие уровни радиации наносят дикой природе, растениям и озоновому слою, до конца не изучена. Проводятся дополнительные исследования для определения масштабов последствий, вызванных низкими уровнями радиации в окружающей среде.

Радиоактивные отходы.

Радиоактивные отходы вызывают огромную озабоченность. Отходы атомных электростанций могут оставаться активными в течение сотен тысяч лет. В настоящее время большая часть радиоактивных отходов атомных электростанций хранится на электростанциях. Из-за нехватки места, в конечном счете, радиоактивные отходы необходимо будет переместить. Были предложены планы захоронения радиоактивных отходов, содержащихся в бочках [2].

Существует несколько проблем с захоронением радиоактивных отходов. Отходы будут перевозиться в больших грузовиках. В случае аварии возможна утечка радиоактивных отходов. Другой проблемой является неопределенность в отношении того, будут ли бочки протекать после захоронения отходов.

В настоящее время не существует решения проблемы радиоактивных отходов. Некоторые ученые считают, что идея строить больше атомных электростанций и беспокоиться о том, как потом обращаться с отходами, потенциально может привести к опасным последствиям.

Система охлаждения воды.

Системы охлаждения используются для предотвращения перегрева атомных электростанций. Существуют две основные экологические проблемы, связанные с системами охлаждения атомных электростанций. Во-первых, система охлаждения забирает воду из океана или речного источника. Рыба случайно попадает во впускное отверстие системы охлаждения и погибает. Во-вторых, после того, как вода используется для охлаждения электростанции, она возвращается в океан или реку. Возвращаемая вода примерно на 25 градусов теплее,



чем была первоначально. Более теплая вода убивает некоторые виды рыб и растений [3].

Аварии на атомных электростанциях и терроризм.

По данным Союза заинтересованных ученых, не соблюдаются регламентированные процедуры безопасности для обеспечения безопасности атомных электростанций. Даже при соблюдении всех мер предосторожности это не является гарантией того, что авария на атомной электростанции не произойдет. В случае аварии на атомной электростанции окружающая среда и окружающие ее люди могут подвергнуться воздействию высоких уровней радиации. Авария 2011 года на атомной электростанции в Фукусиме, Япония, является одной из худших ядерных катастроф в истории; реакторы были разрушены цунами после крупного землетрясения.

Угрозы терроризма - это еще одна проблема, которую необходимо решать. Удовлетворительного плана по защите атомных электростанций от терроризма не существует.

Нет никаких разногласий в том, что чистые источники энергии жизненно важны для окружающей среды. Разногласия заключаются в том, в какой форме должна быть эта чистая энергия. Сторонники ядерной энергии утверждают, что это эффективный источник энергии, который легко реализовать. Люди, выступающие против ядерной энергии, предлагают использовать комбинированные методы использования солнечной, ветровой и геотермальной энергии. Солнечная, ветровая и геотермальная энергия по-прежнему имеют экологические проблемы, но они не так велики, как атомные станции или электростанции, работающие на угле.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гашо, Е.Г., Кондрахов В.А. Повышение эффективности и безопасности энергосистемы Калининградской области за счёт возобновляемых источников энергии / Е.Г. Гашо, В.А. Кондрахов // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 224–230.

2. Енговатов, И.А. Минимизация радиоактивных отходов при выводе из эксплуатации атомных станций новых поколений / И.А. Енговатов, Д.К. Синюшин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова. – 2017. – №10. – С.45-51.

3. Белобородов, С.С., Гашо Е.Г., Ненашев А.В. Возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества / С.С. Белобородов, Е. Г. Гашо, А. В. Ненашев. – СПб.: Изд-во Научно-технологические технологии, 2021. – 151 с.

УДК 620.92

*Панищева Ю.С.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Хотя гидроэнергетика является чистой и возобновляемой, у технологии есть уникальные побочные эффекты для окружающей среды. Воздействие гидроэлектрогенерации на окружающую среду является сложным и требует изучения жизненного цикла гидроэлектростанции. По мере продолжения разработки новых и усовершенствованных гидроэнергетических технологий гидроэлектроэнергия имеет шанс стать еще более чистым источником энергии [1].

Гидроэнергетика - это чистый источник электроэнергии.

Прежде всего, гидроэнергетика является источником чистой и возобновляемой электроэнергии. Для выработки гидроэлектроэнергии не нужно сжигать ископаемое топливо, а круговорот воды постоянно протекает естественным путем, что означает, что у нас не закончится гидроэнергетика. Однако производство гидроэлектроэнергии не безгранично, поскольку на Земле имеется ограниченное количество воды, которое можно использовать (особенно учитывая, сколько рек уже перекрыто плотинами).

Негативное экологическое воздействие гидроэнергетики.

Гидроэлектроэнергия технически является “чистым” источником энергии, но ее использование для получения больших объемов энергии имеет экологические последствия. Вот несколько последствий, которые возникают при развитии гидроэнергетических систем:

1. Ущерб местам обитания диких животных и путям миграции.

Строительство крупных гидроаккумулирующих гидроэлектростанций включает блокирование, отклонение или изменение естественного течения речных систем.

Одна из проблем, которая возникает при блокировании естественного стока реки, заключается в одновременном блокировании важных путей миграции рыбы. Размножение многих видов рыб зависит от внутренних рек; перекрывая речной сток плотинами, рыба не может добраться до мест своего размножения. Со временем перекрытие рек плотинами приводит к резкому сокращению популяции рыб, что имеет негативные последствия для здоровья речных экосистем, а также для запасов продовольствия для человека. На некоторых гидроэнергетических установках используются рыболов-трапы, чтобы помочь рыбным популяциям преодолевать запруженные реки, но эти устройства редко бывают достаточно большими, чтобы поддерживать массовую миграцию [2].

Кроме того, перекрытие рек плотинами также часто снижает сток воды и наносов до опасных уровней, что сказывается на популяциях дикой природы ниже по течению. Низкий расход воды ниже по течению, а также низкий приток питательных веществ могут привести к потере среды обитания и здоровой воды для животных.

## 2. Землепользование.

Аналогичным образом, многие крупные гидроэнергетические сооружения приводят к изменению окружающего ландшафта, особенно вокруг водохранилищ, созданных в результате перекрытия рек. Точно так же, как уменьшение расхода воды ниже по течению может привести к потере среды обитания, создание водохранилищ для выработки электроэнергии в системах хранения и гидроаккумулирования часто вызывает наводнения выше по течению, которые разрушают места обитания диких животных, живописные районы и первоклассные сельскохозяйственные угодья. В некоторых случаях это наводнение может даже вынудить население к переселению.

## 3. Выбросы парниковых газов из водохранилищ.

В то время как выработка энергии путем вращения турбин на воде напрямую не использует ископаемое топливо и не выделяет никаких парниковых газов, несколько недавних исследований показали, что водохранилища, созданные в результате перекрытия рек, вносят значительный вклад в выбросы парниковых газов в атмосферу. Это происходит потому, что органические материалы, попавшие в резервуары, такие как мертвые растения, разлагаются и выделяют газы, такие как диоксид углерода и метан, в воду резервуара.

К счастью, есть способы улучшить гидроэнергетические системы, чтобы они были более экологичными. Одной из таких стратегий является лучшее планирование землепользования вокруг речных бассейнов выше по течению от плотин. Защищая природную среду в

бассейне реки, можно лучше сдерживать эрозию, что затем может помочь уменьшить загрязнение воздуха парниковыми газами из водохранилищ, поскольку в воде будет меньше разлагающегося органического материала [3].

Также достигнут прогресс в снижении воздействия гидроэнергетики на места обитания и миграции рыб. Некоторые гидроэлектростанции используют программы отлова рыбы, транспортировки ее через плотину и выпуска. Министерство энергетики (DOE) недавно даже спонсировало исследования и разработку "лососевых пушек", которые запускают мигрирующую рыбу через плотину. Более устойчивым долгосрочным решением для многих мест является более тщательное планирование размещения плотин, чтобы не нарушались наиболее важные пути миграции. В некоторых случаях демонтаж старых плотин и возвращение речного стока ближе к его естественному состоянию приводит к восстановлению среды обитания для видов рыб.

Кроме того, продолжают разрабатываться новые способы использования энергии из воды, такие как энергия приливов и волн, которые, как правило, оказывают меньшее воздействие на окружающую среду, чем традиционные гидроаккумулирующие системы.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гашо, Е.Г., Кондрахов В.А. Повышение эффективности и безопасности энергосистемы Калининградской области за счёт возобновляемых источников энергии / Е.Г. Гашо, В.А. Кондрахов // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 224–230.

2. Опыт строительства Россией гидроэлектростанций во Вьетнаме. / М.А. Гордеев-Бурговиц, Ю.Л. Беккер, М.В. Минаева, Ю.М. Гордеева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им.В.Г. Шухова. – 2015. – №1. – С.48-49.

3. Белобородов, С.С., Гашо Е.Г., Ненашев А.В. Возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества / С.С. Белобородов, Е. Г. Гашо, А. В. Ненашев. – СПб.: Изд-во Научоемкие технологии, 2021. – 151 с.

*УДК 621.311*

*Печенкин Я.О., Маслов И.Н.*

*Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСЕТИ КОТТЕДЖНОГО ПОСЁЛКА НА ОСНОВАНИИ ФАКТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

В данной статье рассматривается, как спроектировать электрическую сеть коттеджного поселка, благодаря расчетным и фактическим нагрузкам. Также даны рекомендации по повышению энергоэффективности и снижению “запертой мощности” [1-3].

Проектирование электросети коттеджного поселка с учетом фактических нагрузок является важнейшим аспектом создания устойчивого жилого массива. Электрическая сеть должна быть спроектирована с учетом различных нагрузок и потребностей жителей, обеспечивая при этом качество электроэнергии, безопасность и экономичность [4, 5].

Первым шагом при проектировании электрической сети является понимание фактических нагрузок, которые будут присутствовать в коттеджном поселке. Это требует тщательного анализа ожидаемого энергопотребления каждого домохозяйства, а также любых дополнительных нагрузок, которые могут присутствовать, таких как станции зарядки электромобилей или общественные объекты, такие как бассейны или игровые площадки [6, 7].

Для определения ожидаемого энергопотребления необходима оценка размера и характера использования каждого жилища. Чтобы рассчитать требуемую мощность можно воспользоваться техническим регламентом по расчету нагрузок жилых домов. При этом будут учитываться такие факторы как: суммарное количество коттеджей, количество аппаратов на газовом и электрическом оборудовании, тип системы отопления и т.д. [1-3].

Как только ожидаемые нагрузки будут определены, следующим шагом будет оценка фактических нагрузок электрической сети. Это требует подробного анализа различных устройств и приборов, которые будут использоваться в каждом доме, а также ожидаемых моделей использования этих устройств. Это можно сделать, используя исторические данные, опросы или консультируясь с экспертами в этой области.

Исходя из фактических нагрузок следует учитывать фактор энергоэффективности. Анализируя фактическую нагрузку сообщества, проектировщики могут определить потребности каждого дома в энергии и реализовать стратегии по снижению потребления энергии.

Например, здания могут быть ориентированы на максимальное использование естественного света и снижение потребности в искусственном освещении, а теплоизоляция может быть

оптимизирована для снижения потерь тепла зимой и предотвращения перегрева летом. Кроме того, системы возобновляемой энергии, такие как солнечные панели, могут быть установлены для выработки электроэнергии для населения, что снижает зависимость от невозобновляемых источников энергии.

Также между фактическими и подаваемыми мощностями имеется разница в несколько раз, из-за чего возникает неиспользуемая или же “запертая мощность”, которая характеризуется ежегодными издержками [2, 3].

Для избежание ее возникновения должен быть произведен перерасчет удельных электрических нагрузок. При помощи интеллектуальных систем учета электроэнергии, подобный расчет может быть сделан для каждого дома в отдельности. Это позволит снизить потери и, следовательно, уменьшить цену за электроэнергию в коттеджных поселках [4, 5].

Таким образом, проектирование электрической сети коттеджного поселка с учетом фактических нагрузок представляет собой сложный процесс, требующий глубокого понимания ожидаемых потребностей населения в электроэнергии. Это включает в себя оценку ожидаемого энергопотребления каждого домохозяйства, а также любых дополнительных нагрузок. Тщательно спроектировав электрическую сеть на основе фактических нагрузок и соображений безопасности, можно создать устойчивое и рентабельное жилое сообщество.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

2. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. EDN RRSRRX.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.

4. Федотов А.И. Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных

сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

5. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66. EDN SAWUQX.

6. Солюянов, Ю.И. Ахметшин А.Р., Солюянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. EDN LANQDE.

7. Солюянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. EDN MBYUSE.

**УДК 66.045.53**

**Печенкин Я.О.**

**Научный руководитель: Хамидулина М.С., асс.**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ГРАДИРНИ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Градирни являются важным компонентом многих промышленных процессов, в которых в качестве побочного продукта выделяется тепло. Эти башни предназначены для отвода тепла от поглотившей его воды, что позволяет повторно использовать воду и безопасно выбрасывать избыточное тепло в атмосферу.

Градирни являются важным компонентом многих промышленных процессов, но они также могут создавать некоторые проблемы. Эти проблемы могут варьироваться от неэффективности работы до проблем с техническим обслуживанием. Однако при правильном подходе эти проблемы можно частично или полностью устранить.

К основным проблемам относится эксплуатация градирен в зимний период. В связи с низкой температурой окружающего воздуха появляется вероятность образования льда на поверхности теплообменника градирни, что может привести к повреждению конструкции. Частично это проблема решена специальными правилами

эксплуатации при температурах обледенения, специальными конструкциями [1] и установками.

Еще одной проблемой, которая разрушает градирни, а именно железобетонный каркас, является коррозия. Это происходит в результате химической обработки циркуляционной воды, которая впоследствии вымывает гидроксид кальция из бетона, понижая тем самым pH и подвергая арматуру коррозии. Эту проблему пытаются решить изменением состава бетона [2].

Поскольку технологии продолжают совершенствоваться, перспективы разработки более эффективных и экологически безопасных градирен выглядят многообещающе.

Все больше распространяются новые конструкции градирен, а именно сухой и гибридной. Сухие градирни используют воздух для рассеивания тепла, что устраняет необходимость в воде, а гибридные градирни сочетают в себе технологии водяного и воздушного охлаждения, обеспечивая энергоэффективное решение [3]. Недавно была разработана гибридная градирня с V – образным каскадом. В отличие от аналогов подобных градирен она проста в обслуживании, имеет повышенную производительность и интенсивность охлаждения жидкости [4]. По мере того, как нормативы становятся все более строгими, все больше компаний обращаются к сухим и гибридным градирням как к устойчивой альтернативе традиционным методам охлаждения.

Помимо этого, среди новых конструкций можно отметить малогабаритные градирни, в которых увеличено время контакта воздушного охлаждающего и охлаждаемого потока, что позволяет повысить эффективность тепломассообменного процесса [5].

Не стоит забывать и о безопасности градирен. Была разработана вентиляторная градирня, преимуществом которой является обеспечение пожаробезопасной эксплуатации благодаря устранению сети электроснабжения автоматизированного вентилятора [6].

Так же есть концепция совмещения градирни и теплового насоса. Модернизация заключается в установке теплового насоса в накопительный бассейн градирни, с помощью него планируется использовать низкопотенциальное тепло для собственных нужд [7], например, для дистилляции воды [8].

В заключение, градирни создают несколько проблем для промышленных процессов, но эти проблемы можно решить при правильном подходе. Более того, постоянное совершенствование технологий и конструкции градирен открывает еще большие перспективы для повышения эффективности и сохранения окружающей



среды, гарантируя, что градирни останутся важнейшим компонентом многих промышленных процессов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент на полезную модель № 121046 U1 Российская Федерация, МПК F28C 1/12. Градирня башенная с естественной тягой: № 2012115810/06: заявл. 19.04.2012: опубл. 10.10.2012 / Н.Н. Случанинов, В.В. Смирнов, Е.Г. Коршунов; заявитель ФГБОУ ВПО "КНАГТУ". – EDN JPRJOB.

2. Синькевич, А.Н. Проблемы эксплуатации башенных градирен из монолитного железобетона / А.Н. Синькевич, А.В. Мучинская // . – 2013. – № 9. – С. 172-176. – EDN RPEHZB.

3. Мильман, О.О. Сухие градирни и воздушно-конденсационные установки (обзор) / О.О. Мильман, П.А. Ананьев // Теплоэнергетика. – 2016. – № 3. – С. 3-14. – DOI 10.1134/S0040363616030061. – EDN VPYBLR.

4. Патент № 2787445 C1 Российская Федерация, МПК F28C 1/00. радиаторная градирня гибридного типа: № 2022116448: заявл. 20.06.2022: опубл. 09.01.2023 / В. В. Харьков, О. С. Дмитриева, И. Н. Мадышев; заявитель ФГБОУ ВО "Казанский национальный исследовательский технологический университет". – EDN WELANX.

5. Патент на полезную модель № 201790 U1 Российская Федерация, МПК F28C 1/00. малогабаритная градирня: № 2020120068: заявл. 10.06.2020: опубл. 13.01.2021 / К. Е. Бондарь, Н. С. Шулаев, С. П. Иванов; заявитель ФГБОУ ВО "Уфимский государственный нефтяной технический университет". – EDN SEPTVC.

6. Патент № 2722624 C1 Российская Федерация, МПК F28C 1/00. Вентиляторная градирня: № 2019130095: заявл. 25.09.2019: опубл. 02.06.2020 / Н. С. Кобелев, С.Г. Емельянов, В.Н. Кобелев [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Юго-Западный государственный университет" (ЮЗГУ). – EDN GWXXAS.

7. Сорокин, К.С. Внедрение теплового насоса в схему охлаждения технической воды / К.С. Сорокин, В.В. Гаврилин // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: Международная научно-техническая конференция. Том 1. – Казань: КГЭУ, 2023. – С. 115-119. – EDN ABTLBQ.

8. Альмохаммед, О.А.М. Применение теплового насоса для дистилляции воды / О.А.М. Альмохаммед, Н.Ф. Тимербаев, И.Ю. Мазаров // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11, № 3(43). – С. 57-66. – EDN JRXGQE.

*УДК 662.769.21*

*Попова А.Ю., Попов С.А.*

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ**

Водородная энергетика – это одно из наиболее перспективных направлений развития энергетической отрасли в мире. Это связано с тем, что водород является чистым источником энергии, который не выделяет углекислый газ и не загрязняет окружающую среду [1, 2].

В настоящее время многих странах мира проводятся исследования и разработки в области производства, хранения и транспортировки водорода. Водород может использоваться для генерации электроэнергии, привода автомобилей и других транспортных средств [2, 3].

В зависимости от способа получения водорода и его чистоты в Европейском союзе существует следующая классификация. Зеленого цвета водород производится из возобновляемых источников энергии методом электролиза воды, а также риформинга биогаза. Электролиз ВИЭ является наиболее простым и экологически чистым способом получения водорода. Водород голубого цвета получается путем газификации угля и риформинга метана. Желтый – при помощи атомной энергии. Серый водород получают путем газификации угля, риформинга метана и пиролиза природного газа или угля. Последние несколько методов при производстве выделяют парниковые газы, из-за чего являются менее перспективными, чем электролиз воды [4].

Однако, несмотря на все преимущества водородной энергетики, ее развитие сталкивается с рядом проблем. В частности, высокая стоимость производства водорода и необходимость развития инфраструктуры для его транспортировки и хранения. Расходы на топливо, являются крупнейшим компонентом затрат, составляя от 45%

до 75% производственных затрат. Низкие цены на газ на Ближнем Востоке, в России и Северной Америке порождают одни из самых низких затрат на производство водорода. Импортеры газа, такие как Япония, Корея, Китай и Индия, вынуждены бороться с высокими импортными ценами, что приводит к увеличению затрат на производство водорода [5].

Тем не менее, многие страны уже начали инвестировать в развитие водородной энергетики. В Японии, например, уже создана сеть заправочных станций для водородных автомобилей, а также проводятся исследования и разработки в области производства, хранения и транспортировки водорода [6]. В 2019 году там было построено первое в мире судно для перевозки сжиженного водорода, поддерживаемого при чрезвычайно низкой температуре, равной 253 °С.

Германия также активно инвестирует в развитие водородной энергетики. В 2020 году был запущен проект по производству водорода из энергии ветра, а также запущена программа по созданию сети заправочных станций для водородных автомобилей. Кроме того, в 2022 году Германия заявила о новом проекте по строительству первой в мире водородной электростанции с использованием энергии ветра. К 2025 г. Германия планирует произвести порядка 14 ТВт·ч водорода [6].

В 2022 году австралийские исследователи предложили способ хранения и транспортировки водорода в виде порошка.

Китай также показывает интерес к водородной энергетике. В 2020 году было запущено несколько проектов по производству водорода, а также созданы планы по развитию инфраструктуры для его транспортировки и хранения. В 2021 году Китай был одним из крупнейших производителей водорода в мире с объемом производства около 33 млн. т. в год. В марте 2022 года Китаем был представлен план по развитию их водородной энергетики на период до 2035 г., в котором акцент сделан на низкоуглеродный водород. В отличие от стратегии Германии, в которой приоритет отдается зеленому водороду, стратегия Китая не зависит от цвета и предполагает, что зеленый водород вытеснит серый и голубой только после 2030 г. По оценкам китайских экспертов, Китаю потребуется не менее 5 лет, прежде чем отечественные технологии догонят мировых лидеров отрасли промышленности. Кроме того, к 2025 году Китай планирует создать полную систему развития водородной энергетики, довести количество автомобилей на водородном топливе до 50 тыс. ед., а также увеличить производство водорода за счет ВИЭ до 100-200 тыс. т. в год (6,7 ТВт·ч) [6, 7].

Южная Корея является одной из стран, которая активно применяет водород в транспорте, из-за проблем с загрязнением воздуха. В стране уже существует несколько водородных заправок и производственных предприятий. США также активно развивают водородную энергетику. В 2021 году был запущен проект по созданию сети заправочных станций для водородных автомобилей, а также проводятся исследования и разработки в области производства и хранения водорода. Данные разработки нацелены на снижение стоимости водорода, благодаря чему он станет конкурентоспособным и это обеспечит дополнительное сокращение выбросов углекислого газа на 16% к 2050 году, а также 140 млрд. долларов прибыли и около 700 тыс. новых высокотехнологичных рабочих мест к 2030 году [6, 7].

Перспективы развития водородной энергетики в мире охватывают следующие направления:

1. Развитие технологий производства водорода: для производства водорода могут использоваться различные источники энергии, в том числе ветровые турбины, солнечные батареи, гидроэлектростанции, ядерные реакторы и другие источники. Технологии производства водорода с каждым годом совершенствуются, что дает надежду на снижение стоимости этого процесса и увеличения эффективности.

2. Развитие топливных элементов: топливные элементы преобразуют водород в электрическую энергию, не выделяя при этом вредных выбросов в атмосферу. Эта технология уже находится в производстве, и ее использование активно расширяется во всем мире. Применение топливных элементов может позволить снизить загрязнение окружающей среды и стать одним из решений проблемы изменения климата.

3. Развитие инфраструктуры: для полноценного использования водородной энергии в повседневной жизни необходимо создавать специальные заправочные станции для автомобилей, оборудовать здания и промышленные объекты, а также развивать логистическую и складскую инфраструктуру для хранения и транспортировки водорода.

4. Поддержка государства: для ускорения развития водородной энергетики необходима поддержка со стороны государственных органов, в том числе поддержка научных исследований, льгот для производителей оборудования и транспорта, а также субсидии на создание инфраструктуры.

В целом, перспективы развития водородной энергетики в мире довольно многообещающие: увеличение производства водорода, развитие топливных элементов, создание инфраструктуры и поддержка

государства должны привести к созданию наиболее экологически безопасной и эффективной системы водородной энергетики.

Проблемами при использовании водорода являются [8]:

– высокая стоимость при получении из углеводородного сырья из-за необходимости улавливания  $\text{CO}_2$  и из-за высоких энергозатрат на электролиз при получении из воды (например, физики Б. Марцинкевич, проект «Геоэнергетика», считает, что «Глобальный переход на водород – это убийство природы и рост себестоимости электроэнергии в 60–70 раз, ... удар по основам нашей цивилизации» [9]);

– широкий концентрационный предел воспламенения водорода воздухом, равный от 4% до 75% (для метана границы составляют 4,4–17%);

– низкая плотность и в связи с этим в 20 раз больший объем по сравнению с природным газом ( $0,546 \text{ м}^3/\text{МДж}$  для водорода и  $0,03 \text{ м}^3/\text{МДж}$  для метана), а также высокие утечки;

– более высокая температура горения (жаропроизводительность водорода составляет  $2249^\circ\text{C}$ , а метана –  $2009^\circ\text{C}$ ), что требует более жаропрочного оборудования, чем для природного газа.

Поэтому применение водорода в настоящее время не выходит за рамки лабораторных испытаний и экспериментальных аппаратов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов, Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии / Н. Н. Баранов. – М.: МЭИ, 2012. – 384 с.

2. Мероприятия по повышению экологической безопасности территорий в условиях плотной городской застройки / М.В. Графкина, Б.Н. Нюнин, Е.Ю. Свиридова, Е.П. Теряева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 2. – С. 212-216.

3. Гашо, Е. Г. Повышение эффективности и безопасности энергосистемы Калининградской области за счёт возобновляемых источников энергии / Е. Г. Гашо, В. А. Кондрахов // Энергетические системы. – 2019. – № 1. – С. 224-230.

4. Развитие водородной энергетики в России: новая энергополитика [Сайт]: delprof.ru. – URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/razvitie-vodorodnoy-energetiki-v-rossii-novaya-energo-politika/> (дата обращения: 28.04.2023). – Режим доступа: свободный.

5. Свалова, В. Б. Альтернативная энергетика: проблемы и перспективы / В. Б. Свалова // Мониторинг. Наука и технологии. – 2015. – №3. – С. 82-97.

6. Hydrogen – Fuels & Technologies [Сайт]: IEA. – URL: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydrogen> (дата обращения: 27.04.2023). – Режим доступа: свободный.

7. Мировые энергетические балансы [Сайт]: IEA. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances> (дата обращения: 26.04.2023). – Режим доступа: свободный.

8. Бессель, В.В. Водородная энергетика - Критический взгляд / В.В. Бессель // Арматуростроение. – 2022. – № 5 – (140). – С. 24-28.

9. Марцинкевич, Б. Здравствуй, дивный водородный мир! [Электронный ресурс] / Б. Марцинкевич. (дата обращения: 27.04.2023). URL: <https://zavtra.ru/blogs/vodorod>.

**УДК 621.311.243**

***Попова А.Ю., Попов С.А.***

***Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЕВРОПЕ**

В настоящее время Европа активно использует солнечные коллекторы и панели для производства электроэнергии и обогрева жилых и коммерческих помещений. Наиболее развитые солнечные рынки находятся в Германии, Испании, Франции и Италии.

В Германии солнечные коллекторы широко используются для обогрева жилых домов и коммерческих зданий. В некоторых районах страны солнечные коллекторы составляют до 50% общей энергетической потребности. Германия также является одним из крупнейших производителей солнечных панелей в мире. Так, например, летом 2022 около 6,3% электрической энергии в Германии было произведено с помощью солнечных панелей. На (Рис. 1) представлена выработка электроэнергии в Германии в апреле 2023 года. На данной диаграмме видно, что за апрель 2023 года при помощи солнечной энергии было выработано достаточно большое количество электроэнергии, а именно 5406,7 ГВт·ч [1].

Испания является одной из первых стран, внедривших крупномасштабную солнечную фотовольтаику, а также является

мировым лидером в производстве концентрированной солнечной энергии. Испания использует солнечные коллекторы и панели, в основном, для производства электроэнергии. В 2022 году Испания запустила крупнейшую солнечную электростанцию в Европе, которая получила название Francisco Pizarro. Данная станция обладает мощностью равной 580 МВт и способна обеспечить электроэнергией приблизительно 335 тысяч домов и снизить выбросы углекислого газа на 140 тысяч тонн в год. Кроме классических способов преобразования солнечной энергии в 2007 году в Испании была открыта первая в Европе коммерческая установка по концентрированию солнечной энергии в башнях. Данная электростанция получила название PS10 solar power tower (Рис. 2). Она вырабатывает электроэнергию за счет 624 больших зеркал имеет поверхность площадью 120 м<sup>2</sup>, которая концентрирует солнечные лучи на вершине башни высотой 115 м, где расположены приемник солнечной энергии и паровая турбина. Турбина необходима для того, чтобы привести в действие генератор, который и будет вырабатывать электроэнергию [2].

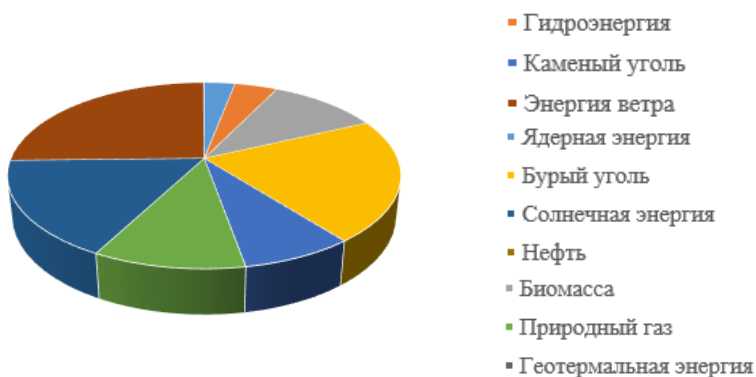


Рис. 1 Выработка электроэнергии в Германии в апреле 2023 года



Рис. 2 Солнечная электростанция PS10 solar power tower

Франция использует солнечные коллекторы для обогрева жилых домов и коммерческих зданий, а также для производства электроэнергии. В некоторых регионах Франции солнечные коллекторы покрывают до 30% общей энергетической потребности. В 2015 году во Франции была построена солнечная электростанция Cestas, с установленной мощностью 300 МВт. Данная электростанция является самой крупной во Франции и в состоянии удовлетворить годовые потребности в электроэнергии города с населением 300 тысяч жителей.

Италия активно использует солнечные коллекторы, как для производства электроэнергии, так и для обогрева жилых домов и коммерческих зданий. Италия также известна своей солнечной энергетической технологией, которая использует солнечные панели с высокой эффективностью. В 2021 году мощность производства солнечной энергии в Италии выросла до 22,56 ГВт, что почти на 1 ГВт больше, чем в 2020 г. [1, 2].

Применение солнечных коллекторов в Европе имеет большие перспективы. Солнечная энергия является бесплатным источником энергии, который не загрязняет окружающую среду и не имеет негативного влияния на климат. Кроме того, использование солнечных коллекторов позволяет сократить зависимость от импорта энергии и повысить энергетическую независимость стран.

В настоящее время в Европе активно развиваются проекты по строительству крупных солнечных электростанций, которые будут производить электроэнергию на мегаваттном уровне. Такие проекты



могут стать ключевыми для обеспечения Европы чистой источниками энергии в ближайшем будущем.

Кроме того, солнечные коллекторы могут быть использованы для производства энергии в удаленных и труднодоступных районах, где нет возможности подключения к централизованной тепло или электросети. Это может быть особенно актуально для развивающихся стран, где отсутствует доступ к электроэнергии [3].

Солнечные коллекторы могут быть установлены на крышах зданий, на земле и на фасадах зданий с целью получения электрической и тепловой энергии [4]. Солнечные коллекторы уже представляют для Европы значительную долю производства энергии, и основываясь на программах стратегических политик европейских стран по развитию энергетики и статистическим данным о совокупной мощности солнечных фотоэлектрических систем в Европейском союзе эксперты прогнозируют, что эта доля будет только расти (Рис. 3) [5].

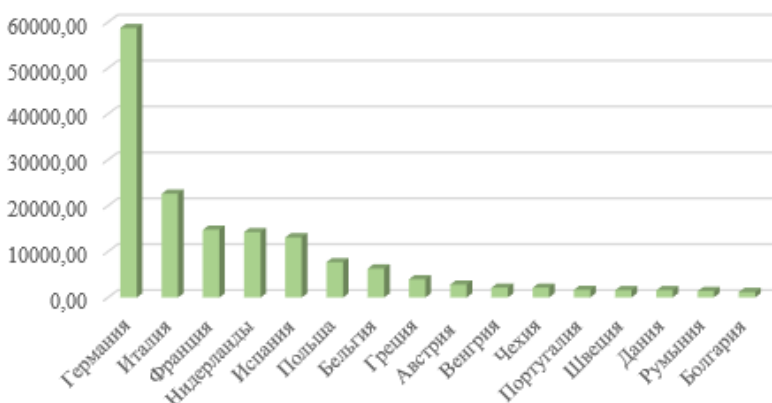


Рис. 3 Совокупная мощность солнечных фотоэлектрических систем в Европейском Союзе в 2021 г., МВт

Несмотря на то, что возможность использования солнечной энергии в Европе сильно зависит от климатических условий, даже при относительно низкой солнечной активности, такие страны, как Германия, уже эксплуатируют солнечную энергию на промышленной основе. Вместе с тем, последние исследования показывают, что улучшения в технологии солнечных коллекторов и поддержка со стороны правительств и бизнеса могут сделать возобновляемые источники энергии еще более экономически выгодными и доступными для большинства стран Европы.

Наиболее перспективной областью применения солнечных коллекторов может стать производство электроэнергии, особенно с учетом того, что солнечная энергия может превратиться в дешевую и надежную замену ископаемых топлив в будущем. Кроме того, солнечные коллекторы могут быть использованы в качестве дополнительного источника тепловой энергии для многоквартирных домов и офисных зданий, а также для обеспечения теплом и горячей водой частных жилых домов [6,7]. Имеется большой опыт использования ВИЭ на сельхозпредприятиях, в том числе и в России [8]. Повышение эффективности теплоснабжения и отопления с использованием солнечной энергии возможно с применением энергосберегающих тепловых насосов, которые могут применяться для повышения температуры воды после солнечных коллекторов или увеличения количества теплоты, получаемой в системах электроотопления.

Следует отметить, что не все страны Европы одинаково готовы к внедрению солнечной энергетики в свою инфраструктуру. Одни страны уже активно инвестируют в солнечные коллекторы и производство тепла и электроэнергии, в то время как другие предпочитают использовать другие возобновляемые источники энергии или сохранять свою зависимость от ископаемых топлив. Однако, в целом, применение солнечных коллекторов и панелей в Европе имеет хорошие перспективы, особенно учитывая стремление к уменьшению выбросов углекислого газа и обеспечения более стабильного источника энергии в будущем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Energy-Charts [Сайт]: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE. – URL: <https://www.energy-charts.info> (дата обращения: 25.04.2023). – Режим доступа: свободный.
2. World Energy Balances [Сайт]: IEA. – URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-balances> (дата обращения: 26.04.2023). – Режим доступа: свободный.
3. Кравченко, Е.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Е. А. Кравченко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 214 с.
4. Баранов, Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии / Н. Н. Баранов. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 384 с.
5. Совокупная мощность солнечных фотоэлектрических систем в Европейском Союзе по странам [Сайт]: Topic.ru. – URL:

<https://topic.ru/statistics/energy/energy/sovokupnaya-moshchnost-solnechnykh-fotoelektricheskikh-sistem-v-evropeyskom-soyuze-rostanam/> (дата обращения: 26.04.2023) . – Режим доступа: свободный.

6. Свалова, В. Б. Альтернативная энергетика: проблемы и перспективы / В. Б. Свалова // Мониторинг. Наука и технологии. – 2015. – № 3. – С. 82-97.

7. Рычков, В.В. Оценка величины вырабатываемой электроэнергии солнечными электростанциями в Белгородской области / В. В. Рычков, Е. И. Солдатенкова, П. А. Трубаев // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С. 138-141.

8. Соснина, Е.Н. Выбор энергоустановок на ВИЭ для электроснабжения сельскохозяйственных предприятий / Е.Н. Соснина, Д.А. Филатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 4. – С. 156-159.

**УДК 621.531**

**Попова А.Ю.**

**Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ**

Программное обеспечение в теплоэнергетике играет большую роль в управлении и контроле за производством тепла и электроэнергии. Это связано с тем, что в настоящее время любая область деятельности человека движется по пути цифровизации, что способствует улучшению и упрощению их функционирования. Цифровизация не обошла стороной и теплоэнергетику, она в значительной степени поспособствовала её развитию [1-4]. Далее рассмотрим разновидности программного обеспечения в теплоэнергетике [3,4]:

1. Системы автоматизации и управления тепловыми сетями: программы, которые позволяют управлять работой тепловых сетей, включая контроль за температурой, давлением, расходом теплоносителя и др.

2. Системы диспетчеризации и мониторинга: программы, которые предоставляют операторам и инженерам информацию о работе тепловых сетей, состоянии оборудования, а также позволяют управлять работой сети и задавать параметры работы систем.

3. Программное обеспечение расчета и проектирования тепловых сетей: программы, которые используются для проектирования новых тепловых сетей, оптимизации работы существующих сетей и расчета экономических показателей.

4. Программное обеспечение для управления затратами: программы, которые позволяют оптимизировать затраты на предоставление тепла, учитывая стоимость топлива, энергоэффективность и др.

5. Системы документирования и архивирования: программы, которые используются для хранения и обработки данных о работе тепловых сетей, отчетности, проектной документации и др.

Ниже приведены некоторые примеры программного обеспечения, используемого в теплоэнергетике:

#### 1. SCADA-системы (системы сбора и передачи данных)

SCADA-системы используются для контроля и управления технологическими процессами в тепловых сетях и энергообъектах. Они собирают данные с различных устройств в реальном времени и визуализируют их для операторов, позволяя им принимать решения по управлению системой [5].

В России одними из самых популярных зарубежных SCADA-систем являются InTouch, RSView32, Genesis64, WinCC, Vijeo Citect.

А наиболее популярными среди отечественных моделей SCADA-систем являются MasterSCADA, TRACE MODE, Круг2000.

В отличие от большинства западных SCADA-систем все российские содержат встроенные средства программирования контроллеров с использованием языков стандарта МЭК61131-3, в том числе языка функциональных блоков (FBD).

#### 2. EMS (системы эксплуатации энергетических объектов)

Системы EMS используются для управления энергетическими объектами, например, тепловыми электростанциями и подстанциями. Они позволяют операторам контролировать производство электроэнергии и управлять им, уменьшая затраты на производство и обслуживание оборудования.

#### 3. Программное обеспечение для моделирования

Моделирование технологических процессов является важной частью проектирования и оптимизации теплоэнергетических систем. Программное обеспечение для моделирования позволяет инженерам прогнозировать поведение системы при различных условиях и определять оптимальные параметры для обеспечения эффективной работы системы.

Одними из самых распространенных зарубежных программ для моделирования в теплоэнергетике являются ANSYS и COMSOL Multiphysics [6]. В зависимости от необходимого функционала существует несколько отечественных аналогов. Например, для анализа течения жидкости и газов, а также моделирования процессов теплопередачи могут быть применены следующие отечественные программы: APM FGA, APM Multiphysics.

Для наилучшего понимания возможностей программного обеспечения, предназначенного для моделирования технологических процессов, в качестве примера рассмотрим гидравлический расчет смесителя с учетом процессов теплообмена в программе ANSYS. При помощи данного программного обеспечения было произведено построение расчетной сетки смесителя, смоделировано распределение статической температуры на границе симметрии модели (рис. 1), а также была определена средняя температура потока (рис. 2) и произведен подбор граничных условий, обеспечивающих это значение температуры на выходе. Кроме того, при помощи функционала ANSYS был построен график невязок (Residuals) по количеству решаемых уравнений (рис.3).

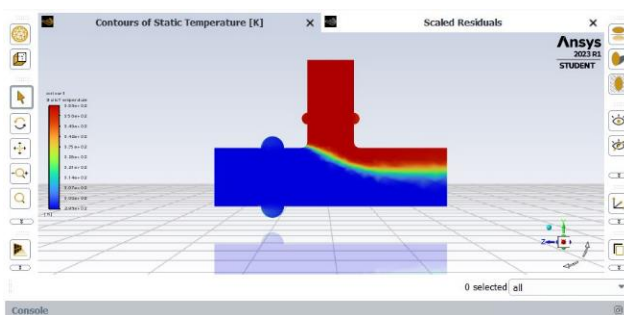


Рис. 1 Распределение температуры

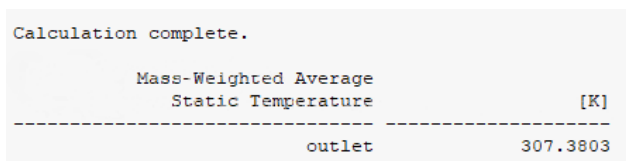


Рис. 2 Средняя температура потока

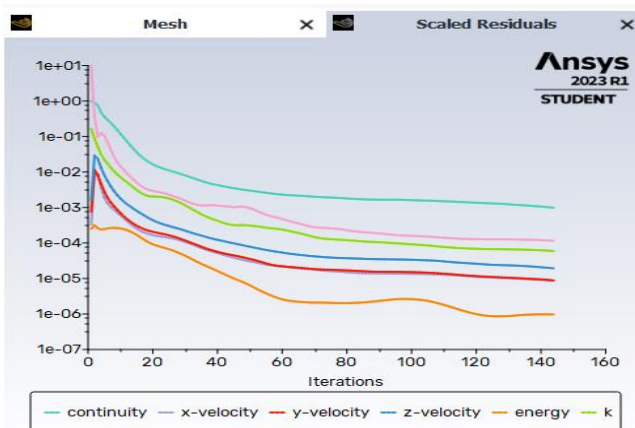


Рис. 3 График невязок (Residuals) по количеству решаемых уравнений

#### 4. Аналитические системы

Аналитические системы используются для анализа данных, полученных от различных устройств системы. Они обрабатывают данные и находят связи и закономерности между различными параметрами, позволяя операторам принимать решения по управлению системой и оптимизации ее работы.

Эти и другие виды программного обеспечения широко применяются в теплоэнергетике для обеспечения эффективной работы системы и уменьшения затрат на производство и обслуживание оборудования.

С развитием цифровых технологий и Интернета вещей (IoT), программное обеспечение становится все более важным в теплоэнергетике. Есть несколько трендов, которые влияют на перспективы развития программного обеспечения в этой области:

Во-первых, автоматизация: с использованием программного обеспечения можно автоматизировать многие процессы в теплоэнергетике, такие как мониторинг и управление. Например, можно создать систему управления, которая будет в реальном времени отслеживать температуру, давление и другие параметры в системе теплоснабжения и автоматически корректировать настройки, чтобы обеспечивать оптимальную работу системы.

Во-вторых, использование алгоритмов машинного обучения: анализ данных из различных датчиков и сенсоров в системах теплоэнергетики может помочь определить и предотвратить различные неполадки, такие как утечки газа, повреждения труб и т.д. Это может

быть достигнуто с использованием алгоритмов машинного обучения, которые позволяют обрабатывать большие объемы данных и делать выводы на основе этой информации.

В-третьих, развитие "умных" теплосетей: одним из ключевых трендов в теплоэнергетике является создание "умных" теплосетей, которые включают в себя многочисленные датчики и сенсоры для сбора данных о системе. С использованием программного обеспечения можно обработать эту информацию и оптимизировать работу системы.

В-четвертых, использование геоданных: геоданные могут быть использованы для оптимизации дизайна и управления системами теплоэнергетики, так как они позволяют анализировать климатические условия, топографию и другие факторы, которые могут повлиять на работу системы.

Таким образом, можем сделать вывод, что перспективы развития программного обеспечения в теплоэнергетике довольно неплохие, так как это позволяет создавать более эффективные и экономичные системы, которые могут значительно снизить расходы на энергию и повысить качество обслуживания пользователей [1, 2].

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гашо, Е. Г. Энергетическая стратегия предприятия / Е. Г. Гашо, О. Чехранова // Энергетические системы. – 2021. – № 1. – С. 9-18.
2. Петкевич, А. П. О потенциале энергосбережения 2015-2020 г. / А. П. Петкевич, Т. И. Тихомирова // Энергетические, управляющие и информационные системы. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 128-132.
3. Трубаев, П.А. Особенности исполнения программного компонента по управлению энергетическими ресурсами Белгородской области / П.А. Трубаев, А.В. Буланин, К.Ж. Ширриме, Ю.А. Кошлич // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 350-356.
4. Бондаренко, А.Н. Реализация программы энергосбережения в Белгородской области / А.Н. Бондаренко, Т.И. Тихомирова // Энергетические, управляющие и информационные системы. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 45-50.
5. Кангин, В. В. Разработка SCADA-систем / В. В. Кангин, Д. Н. Ямолдинов, М. В. Кингин. – Вологда: Изд-во Инфра-Инженерия, 2019. – 564 с.
6. Мансурова, А. Р. Применение программного комплекса ANSYS в компьютерном моделировании / А. Р. Мансурова // Молодой ученый. – 2018. – № 39. – С. 31-33.

УДК 620.92

*Попова А.Ю.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

В настоящее время традиционные источники энергии, основанные на угле, газе и нефти, играют важную роль в экономике страны. Но негативные последствия этих ресурсов для окружающей среды заставляют искать наиболее рациональные способы получения энергии, например, с помощью возобновляемых источников энергии. Социальные, экологические и экономические проблемы могут быть устранены при использовании возобновляемых источников энергии, потому что эти ресурсы считаются экологически чистыми. В них отсутствуют или незначительно выделяются выхлопные газы и ядовитые газы, такие как диоксид углерода, монооксид углерода, диоксид серы и т.д. Возобновляемая энергия имеет все шансы стать одним из самых важных источников для выработки электроэнергии в ближайшем будущем [1,2].

Например, ветроэнергетика обеспечивает наименьшее потребление воды, наименьший относительный выброс парниковых газов и наиболее благоприятные социальные последствия. Благодаря чему считается одним из наиболее устойчивых возобновляемых источников энергии, за которым следуют гидроэнергетика, фотоэлектрическая энергия, а затем геотермальная.

Поскольку эти ресурсы считаются экологически чистыми, они могут быть полезны для смягчения парникового эффекта и глобального потепления. Занятость на местном уровне, улучшение здоровья, создание рабочих мест, повышение уровня жизни, рост доходов, демографические последствия, создание социальных связей и развитие сообщества могут быть достигнуты путем надлежащего использования системы возобновляемых источников энергии. Наряду с выдающимися преимуществами этих ресурсов, также существуют некоторые недостатки, такие как изменение мощности из-за сезонных изменений, что является обычным явлением для ветряных и гидроэлектростанций. Следовательно, требуется особый учет, который выполняется



аппаратным и программным обеспечением благодаря совершенствованию компьютерных технологий [3-5].

Основные возобновляемые источники энергии с их использованием в различных формах классифицированы в таблице 1 [3,4].

Таблица 1 – Классификация ВИЭ и их применение

Энергетический ресурс	Вариант преобразования и использования энергии
Биомасса	Производство тепла и электроэнергии, пиролиз, газификация
Геотермальная энергия	Городское отопление, выработка электроэнергии
Солнечная энергия	Фотоэлектрические установки, производство тепловой энергии, водонагреватели
Ветряная энергия	Производство электроэнергии, ветряные генераторы и мельницы
Гидроэнергия	Производство электроэнергии

Ожидается, что возобновляемая энергия станет одним из важных источников в будущем. Предполагаемый сценарий использования возобновляемых источников энергии в мире к 2040 году представлен в таблице 2 [3,4].

Таблица 2 – Глобальный сценарий использования ВИЭ в мире к 2040 году

Источник энергии	2000	2010	2020	2030	2040
Общее потребление, млн. т. экв.	10038	10549	11425	12352	13310
Биомасса	1080	1313	1791	2483	3271
Крупные гидроэлектростанции	22,7	266	309	341	358
Геотермальная энергия	43,7	86	186	333	493
Малые гидроэлектростанции	9,5	19	49	106	189
Ветряная энергия	4,7	44	266	542	688
Солнечная энергия (тепловая, фотоэлектрическая)	4,3	17,4	27,4	240	872
Морская энергия (приливная, волновая, океанская)	0,05	0,1	0,4	3	20
Всего ВИЭ	1365,5	1745,5	2964,4	4289	6351
Вклад ВИЭ, %	13,6	16,6	23,6	34,7	47,7

Кроме того, реализация проектов с применением возобновляемых источников энергии в значительной степени влияет на социально-политические стороны. Например, солнечные панели обычно устанавливаются на крышах зданий, что увеличивает возможность

трудоустройства при изготовлении и установке фотоэлектрических систем. Это ускоряет региональное развитие и сокращает потребление невозобновляемых источников энергии. Установка этих панелей особо перспективна в регионах, где нет доступа к электричеству. Основной проблемой солнечной системы является высокая стоимость инвестиций и обслуживания. К тому же проекты по использованию энергии биомассы вносят большой вклад в создание рабочих мест на местном уровне и развитие сельских районов. Основными недостатками установок, работающих на биомассе, является шум и неприятный запах [5,6].

Таким образом, можно сделать вывод, что проекты в области возобновляемых источников энергии в значительной степени способствуют благоприятному воздействию на окружающую среду, а также на социальные аспекты. К таким как сокращение выбросов вредных газов (CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, парниковые газы) и вредных химических веществ (ртуть, кадмий и др.), а также привело к улучшению качества воды и уменьшению эрозии почвы.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гашо, Е. Г. Энергетическая стратегия предприятия / Е. Г. Гашо, О. Чехранова // Энергетические системы. – 2021. – № 1. – С. 9-18.
2. Петкевич, А. П. О потенциале энергосбережения 2015-2020 г. / А. П. Петкевич, Т. И. Тихомирова // Энергетические, управляющие и информационные системы. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 128-132.
3. Кравченко, Е.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии / Е. А. Кравченко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 214 с.
4. Баранов, Н.Н. Нетрадиционные источники и методы преобразования энергии / Н. Н. Баранов. – М.: МЭИ, 2012. – 384 с.
5. Свалова, В.Б. Альтернативная энергетика: проблемы и перспективы / В. Б. Свалова // Мониторинг. Наука и технологии. – 2015. – №3. – С. 82-97.
6. Бухмиров, В.В. Биоэнергетическая станция "Эковольтагро" для переработки органических отходов / В.В. Бухмиров, Ю.С. Солнышкова, М. А. Савельева // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 1. – С. 60-69.

*УДК 621.182*

*Попова А.Ю.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Одной из актуальных проблем в теплоэнергетике является совершенствование оборудования. Основными причинами модернизации котельной установки являются повышение себестоимости вырабатываемого тепла, появление сбоя в температурных графиках теплодачи, сильный износ оборудования, отсутствие возможности строительства нового котла.

На данный момент основными направлениями в эволюции современных котельных установок являются: повышение надежности работы котла, сокращение вредных выбросов, уменьшение габаритных размеров котельных аппаратов за счет увеличения интенсивности процесса сжигания топлива и теплообмена в топке и поверхностях нагрева, повышение энергоэффективности [1].

Повышение эффективности котла происходит за счет создания условий, при которых образуется минимум дымовых газов при наименьшей температуре. Например, достичь этого можно за счет установки экономайзера, использующего тепловую энергию горячих дымовых газов для нагрева питательной воды котла, благодаря чему происходит экономия топлива и уменьшается вероятность негативного влияния от подачи холодной воды в горячий котел [2-5].

Также повысить эффективность котла можно благодаря понижению температуры дымовых газов. Реализация этого возможна благодаря правильному регулированию режимов потребления нагрузки день/ночь, что способствует понижению давления в паровых котлах или рабочей температуры на водогрейных котлах при работе на холостом ходу ночью. Кроме того, улучшения можно достичь за счет установки частотных приводов на электродвигатели котельного оборудования, которые позволяют управлять потоком через изменение частоты оборотов, что приведет к увеличению энергоэффективности всей системы.

Одним из важных аспектов является регулярное обслуживание горелок, за счет чего будет решена проблема недостаточной подачи воздуха, поступающего в горелку для сжигания топлива. Кроме того, большую роль играет чистота топки котла и поверхностей со стороны воды. При несвоевременной очистки котельного агрегата происходит накапливание на стороне огня на поверхности нагрева сажи, которая обладает изолирующим эффектом. Из-за чего происходит снижение скорости теплопередачи и возрастание расхода топлива [6].

Наиболее распространенными способами повышения эффективности котла является уменьшение избытка воздуха, контроль скорости продувки и возврат конденсата в тракт котла. Большой избыток воздуха приводит к падению эффективности, но и его недостаток приводит к образованию сажи и окиси углерода, поэтому изобретены специальные автоматические системы управления сгоранием, способные интеллектуально контролировать необходимое количество воздуха для сгорания [7].

Для обеспечения безопасной и результативной работы котельных применяются различные автоматизированные системы управления и регулирования.

В большинстве случаев автоматизация котельных установок способствует уменьшению количества аварийных ситуаций, снижению количества поломок оборудования, а также регулированию расход топлива.

К основным задачам автоматизации котельной относят: регулирование мощности котлов, каскадное управление работой котлов, автоматическое регулирование параметров теплоносителя на выходе из котельной, автоматическая подпитка котловых контуров и контуров теплоснабжения, автоматическое управление работой насосных агрегатов котельной, реализация энергосберегающих алгоритмов работы котельной.

Рассмотрим подробнее автоматизацию для блочно-модульной котельной. Данная автоматизированная система управления основана на базе программно-технического комплекса Контар и предназначена для управления технологическими процессами блочно-модульной котельной в соответствии с требованиями ПБ 12-529-03 и СНиП II-35-76. Данная система включает в себя шкаф автоматики, комплекты датчиков аппаратуры с приводами регулирующих клапанов, а также рабочее место оператора при условии необходимости диспетчеризации. Функции, предусмотренные данной системой автоматизации, приведены в таблице [8].

Таблица – Функции, предусмотренные системой автоматизации

1. Контроль состояния оборудования и технологических параметров котельной	
Показания датчиков	Температуры наружного воздуха
	Температуры и давления подающей сетевой воды отопления
	Температуры и давления обратной сетевой воды отопления
	Температуры и давления воды за котлами

	Температуры подающей воды отопления
	Температуры и давления обратной воды отопления
	Давление воды на вводе водоснабжения
	Давление газа
	Температура воздуха в котельной
	Состояние датчиков перепада давления на циркуляционных и подпиточных насосах
Состояние оборудования	Работу котлов
	Режим работы котлов (автоматический / ручной)
	Работу насосов (включен / выключен)
	Режим работы насосов (автоматический / ручной)
	Режим исполнительных механизмов систем регулирования, их конечные состояния (открыт / закрыт)
2. Управление основным оборудованием	Циркуляционными и подпиточными насосами
	Клапанами контура отопления и подпиточными клапанами
3. Пуск и остановка котлов	Автоматический пуск и штатный останов котлов: каскадное регулирование на температуре подачи воды в котловом контуре
	Пуск котлов с подогревом котлового контура до температуры установки
	Аварийный останов котлов
4. Автоматическое регулирование	Температуры воды котлового контура
	Температуры воды контура отопления

Актуальность автоматизированных систем котельных подтверждается наличием большого количества патентов в данной области. Рассмотрев различные способы повышения эффективности котлов и автоматизированные системы, можно сделать вывод, что для эффективной и безопасной работы котельной установки внедрение автоматики является необходимой мерой.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Соколова, Б. А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности / Б. А. Соколова. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 128 с.
2. Гашо, Е. Г. Энергетическая стратегия предприятия / Е. Г. Гашо, О. Чеханова // Энергетические системы. – 2021. – № 1. – С. 9-18.
3. Трубаев, П.А. Особенности исполнения программного компонента по управлению энергетическими ресурсами Белгородской

области / П.А. Трубаев, А.В. Буланин, К.Ж. Ширриме, Ю.А. Кошлич // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 350-356.

4. Бондаренко, А.Н. Реализация программы энергосбережения в Белгородской области / А.Н. Бондаренко, Т.И. Тихомирова // Энергетические, управляющие и информационные системы. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 45-50.

5. Петкевич, А. П. О потенциале энергосбережения 2015-2020 г. / А. П. Петкевич, Т. И. Тихомирова // Энергетические, управляющие и информационные системы. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 128-132.

6. Соколов, Б. А. Котельные установки и их эксплуатация / Б.А. Соколов. – М.: Academia, 2010. – 432 с.

7. Губарев, А.В. Паротеплогенерирующие установки промышленных предприятий / А.В. Губарев. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2013. – 240 с.

8. Котельная с пиковой мощностью 2МВт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mzta.ru/resheniya/avtomatizirovannye-obekty/kotel'naya-s-pikovoij-moshchnostyu2mvt> (дата обращения: 22.04.2023).

**УДК 661.971.9**

**Рамазанова Н.Т.**

**Научный руководитель: Нигматзянова Л.Р., ст. преп.**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ЗАТРАТЫ НА УЛАВЛИВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ УГЛЕРОДА: ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

Вопросы глобального потепления обсуждаются в мировом масштабе. Исследуются различные способы сокращения выбросов CO<sub>2</sub>. В данной статье рассматривается технология улавливания и хранения углекислого газа, которая не используется масштабно из-за ее высокой стоимости.

Улавливание и хранение CO<sub>2</sub>, электроэнергетика, выбросы углекислого газа, изменение климата, транспортировка CO<sub>2</sub>, затраты, технологии, стоимость, транспорт.

Электроэнергетика является одним из крупнейших источников выбросов углекислого и парникового газов, который оказывает значительное влияние на изменение климата. В последние годы наблюдается повышенный интерес к улавливанию и хранению углерода

(CCS) как потенциальному решению для сокращения выбросов в энергетике и других промышленных объектах. Однако технология все еще находится на ранних стадиях разработки, и затраты на её внедрение могут быть существенными

CCS – это трехэтапный процесс, который включает улавливание выбросов  $\text{CO}_2$ , транспортировку к месту хранения и само хранение газа в специализированных местах (рис.1) [1]. Стоимость каждого этапа процесса может варьироваться в зависимости от конкретной используемой технологии и местоположения предприятия.



Рис. 1 Схема технологии

Стоимость этапа улавливания углерода варьируется в зависимости от типа используемой технологии.

Существует три основных типа:

- после сжигания;
- до сжигания;
- кислородное сжигание.

Улавливание после сжигания является наиболее распространенным методом, используемым на электростанциях. Включает в себя удаление  $\text{CO}_2$  из дымовых газов после сжигания угля, метана и нефтепродуктов. Улавливание до сжигания - удаление из топлива углерода, с помощью взаимодействия топлива с паром или воздухом, а также реакцией смещения. Кислородно-топливное сжигание – сжигание топлива в чистом кислороде, что обеспечивает высокую концентрацию  $\text{CO}_2$  для более легкого улавливания. Каждый из этих методов имеет свой собственный профиль затрат, причем тип «до сжигания» является самым дорогостоящим [2].

Этап транспортировки.

Транспортировка  $\text{CO}_2$  к месту хранения также может иметь значительные затраты. Расстояние между местом улавливания и местом хранения, объем транспортируемого  $\text{CO}_2$  и вид транспорта – все это

влияет на стоимость транспортировки. На основе исследований сделан вывод о том, что морской транспорт, по экономической оценке, превосходит трубопроводный транспорт при передачах  $\text{CO}_2$  на большие расстояния.[3] Существует два способа подготовки  $\text{CO}_2$  к дальнейшей транспортировке: сжатие и охлаждение до жидкой фазы. Эти действия так же имеют дополнительные затраты.

Этап хранения.

Хранение можно разделить на 3 вида:

- хранение в геологических формациях;
- закачка в нефтяные месторождения для повышения отдачи;
- превращение в углеродосодержащие соединения и последующего использования в виде сырья [4].

Для хранения  $\text{CO}_2$  под землей требуются специализированные геологические формации, которые могут содержать  $\text{CO}_2$  в течение длительных периодов времени. Стоимость хранения может варьироваться в зависимости от вида хранения, местоположения и качества места хранения.

Высокая стоимость CCS имеет последствия для электроэнергетики, ее внедрение может увеличить стоимость производства электроэнергии, сделав ее менее конкурентоспособной по сравнению с другими источниками энергии, таких как возобновляемые источники энергии. Кроме того, затраты на внедрение технологии лягут на плечи потребителей, что приведет к повышению цен на электроэнергию.

Чтобы решить эти проблемы, правительства и промышленность должны работать сообща над разработкой политики и стимулов, поощряющих использование данной технологии. Это может включать установление цен на выбросы углерода, налоговые льготы или субсидии для проектов CCS. Правительства могли бы также инвестировать в исследования и разработки, чтобы снизить стоимость технологий улавливания и повысить их эффективность.

В заключение следует отметить, что затраты на улавливание и хранение углерода являются важнейшей проблемой для электроэнергетики. Хотя CCS обладает потенциалом сокращения выбросов парниковых газов, высокая стоимость может ограничить ее внедрение. Правительства и промышленность должны работать сообща над разработкой политики и стимулов, которые поощряют использование CCS и снижают его стоимость.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**



1. Череповицына А.А., Дорожжина И.П., Костылева В.М. Секвестрация и использование углекислого газа: сущность технологий и подходы к классификации проектов. Экономика промышленности / Russian Journal of Industrial Economics. 2022;15(4):473-487.

2. Грушевенко Е.В., Капитонов С.А., Ляшик Ю.А., Гайда И.В., Осипцов А.А. Анализ конкурентоспособности технологий CCUS: технологическая готовность и экономика. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2023;8(1):158-176

3. Гарифуллина Ч. А. и др. Оценка себестоимости потенциальной технологии утилизации CO<sub>2</sub> с генерацией экологически чистых энергоносителей в сравнении с существующими технологиями утилизации. – 2022.

4. Оценка себестоимости потенциальной технологии утилизации CO<sub>2</sub> с генерацией экологически чистых энергоносителей в сравнении с существующими технологиями утилизации / Ч. А. Гарифуллина, И. М. Индрупский, И. И. Ибрагимов, А. Н. Дроздов // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2022. – № S2. – С. 1-12. – DOI 10.5510/OGP2022SI200741. – EDN ZFIU00.

**УДК 620.92**

**Ревин Д.В.**

**Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **НЕСТАБИЛЬНОСТЬ РАБОТЫ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ЕЁ ПОСЛЕДСТВИЯ**

Ряд коммунальных предприятий пытаются на 100% избавиться от выбросов углерода при производстве электроэнергии, полагаясь на возобновляемые источники энергии.

Часто единственными источниками возобновляемой электроэнергии являются ветряные турбины и солнечные фотоэлектрические панели и, в гораздо меньшей степени, геотермальные.

Как ветровая, так и солнечная энергия страдают от нестабильности, потому что ветра имеют неприятный аспект в виде внезапного затихания или возникновения, в то время как солнце скрывается за облаками и ночью не обеспечивает электроэнергией [1]. В течение этих периодов, иногда лишь короткими очередями в несколько

секунд, в сеть может поступать слишком много, слишком мало или вообще не поступать электроэнергии.

### **Три варианта резервного копирования.**

В это время необходимо иметь резервные ресурсы, способные практически мгновенно реагировать на изменения в доступности электроэнергии от ветровых и / или солнечных источников.

Существует только три практически применимых источника такого резервного питания. Первые два представляют собой резервные устройства для выработки энергии: турбины на природном газе (или дизельном топливе) открытого цикла и гидроагрегаты (гидроэнергетика). Они работают, по сути, как автомобиль: при нажатии на педаль газа турбины вырабатывают больше электроэнергии; при отпускании педали в сеть поступает меньше энергии.

Третий вариант - это резервное устройство накопления энергии, которое лучше всего рассматривать как аккумулятор. Существует много других типов резервных источников, таких как маховики и сжатый газ, но они либо слишком малы, чтобы использоваться на уровне сети, либо требуют специальных геологических формаций.

### **Инфраструктура, работающая на газе, в опасности.**

Газовые установки с открытым циклом (пиковые) являются наиболее распространенным методом, используемым для предотвращения непостоянства ветра и солнечной энергии [2]. Однако по мере увеличения мощности ветра и солнца стимул для частной компании инвестировать в такие активы снижается до такой степени, что оператор электрической системы должен предоставлять субсидии на строительство газовых электростанций, способных обеспечить электроэнергией в очень короткие сроки.

Эта субсидия представляет собой стоимость, которая должна быть отнесена к непостоянному возобновляемому источнику. Конечно, плательщику тарифов в конечном итоге придется покрывать эти расходы в виде более высоких цен на электроэнергию.

Конечно, легко продемонстрировать, что энергия ветра и солнца снижает оптовую цену, поскольку стоимость субсидирования резервных мощностей является фиксированной стоимостью, которая не отражается в цене на этом уровне. Но это, безусловно, проявляется в долгосрочной перспективе, поскольку необходимо покрывать субсидии на мощности для обеспечения пикового потребления газа. Эти субсидии превышают субсидии, которые правительства выплачивают ветровой и солнечной энергии, которые также попадают в руки налогоплательщиков [3].

### **Где уголь по-прежнему является в приоритете?**

За исключением биомассы, возобновляемые источники солнечной и ветровой энергии неспособны обеспечить недорогую базовую мощность. Наименее затратная базовая энергия вырабатывается за счет угля в важных регионах мира, вот почему Китай и Индия активно расширяют свои генерирующие мощности, работающие на угле.

Да, эти страны являются лидерами в обеспечении ветровой и солнечной энергией, большая часть которой финансировалась западными странами через Киотский механизм чистого развития, посредством которого богатые страны смогли претендовать на кредиты, компенсирующие выбросы углерода, для достижения целей Киотского протокола. Но ветер и солнечная энергия ненадежны, в то время как уголь - да.

Самые большие проблемы, с которыми сталкивается Китай, например, заключаются в обеспечении непрерывного экономического роста, который требует недорогого, надежного энергоснабжения и улучшения состояния окружающей среды, особенно качества воздуха. Такое улучшение достигается за счет более эффективных, более чистых угольных электростанций, в дымовых трубах которых установлены "скрубберы", способные удалять почти все загрязняющие вещества, кроме двух: водяного пара и  $\text{CO}_2$ , ни одно из которых не оказывает негативного влияния на качество воздуха.

Учитывая, что сетевой оператор, будь то в Китае или США, должен иметь источник надежной базовой мощности, в его системе должен быть один из следующих источников: уголь, турбины на природном газе комбинированного цикла (где тепло, теряемое через дымовую трубу на пиковой газовой установке, используется для обогрева котла так же, как на угольной станции), крупные плотины гидроэлектростанций и водохранилища или атомная энергия.

В противном случае оператор должен импортировать электроэнергию из другой сети. Общество сейчас сторонится всех этих источников энергии: уголь и газ в немилости, потому что они выделяют  $\text{CO}_2$ . Защитники окружающей среды выступают против водохранилищ. И, конечно, ядерная энергия - величайшее табу!

### **Биомасса.**

Казалось бы, сжигание биомассы является единственной экологически чистой альтернативой традиционным источникам энергии. Она считается углеродно-нейтральной, по крайней мере, согласно законодательству многих стран, но некоторые исследования показали, что биомасса хуже даже угля. Просто требуется слишком много времени, чтобы возместить задолженность по  $\text{CO}_2$ , которую создает биомасса по сравнению с ископаемым топливом.

Если изменение климата является неотложным вопросом, защитникам окружающей среды необходимо пересмотреть свои расчеты.

### **Вариант с батареями.**

Наконец, есть аккумулятор. Избыток энергии ветра и солнца может храниться в аккумуляторе, который при необходимости можно использовать в качестве резервного источника возобновляемой энергии с переборами.

Размер батареи, необходимой для работы в таком качестве, должен быть огромным. Тесла установил аккумулятор для поддержки энергии ветра в Австралии. Номинальная мощность составляет 100 МВт мощности (то, что может быть подано в любой момент времени) и 129 МВт энергии (общая запасенная энергия).

То есть для сети, которая может иметь базовую нагрузку, скажем, 8000 МВт, австралийская батарея сможет обеспечивать только 1,25 процента необходимой мощности и всего около 78 минут. Эта огромная батарея была бы неспособна предотвратить отключение электроэнергии, если бы в системе не было генераторов на ископаемом топливе, крупных гидроэлектростанций или атомной электростанции мощностью более 8000 МВт.

### **Заключение.**

Это правда, что стоимость строительства ветряных и солнечных электростанций снизилась настолько, что они конкурируют с углем и газом, и гораздо более конкурентоспособны, чем ядерная энергетика на Западе. Стоимость ядерной энергетики в Китае, например, намного ниже, потому что инженеры там извлекают выгоду из экономии масштаба, поскольку строится все больше электростанций, и потому что экологические нормы не превышают затраты, основанные на нереалистичных опасениях по поводу безопасности.

Что касается заявленных низких затрат на возобновляемые источники энергии, они игнорируют косвенные затраты, которые солнечная энергия и ветер налагают на другие, более надежные активы в системе. Достаточно взглянуть на то, что произошло в Германии и других странах, которые полагаются на все большее количество энергии солнца и ветра, чтобы определить тщетность попыток стать на 100% углеродно-нейтральными.

Исследования показывают, что стоимость электроэнергии возрастает по мере увеличения проникновения ветра и солнца в систему. И часто мало пользы с точки зрения сокращения выбросов CO<sub>2</sub>. Последние данные по энергосистеме Германии показывают, что общая мощность, производимая немецкими электростанциями,

превышает то, что потребляется внутри страны, на то, что примерно производится солнечной энергией и ветром.

Эту разницу часто приходится экспортировать по низким ценам, тем самым еще больше увеличивая стоимость всей системы. Можно только заключить, что затраты на электроэнергию будут расти, поскольку оператор электрической системы стремится больше полагаться на возобновляемую энергию ветра и солнца.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Якупова Н.А. Исследование солнечной энергии. Потенциал солнечной энергии / Н.А. Якупова // Студенческий. – 2020. – №27–2. – С. 15–17.
2. Горлов А.С. Математическое и имитационное моделирование вихревого потока в коротких вихревых камерах / А.С. Горлов, А.В. Губарев, К.А. Горлов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 137–142.
3. Корнилова Н.В. Анализ температуры горения ТБО в водогрейном котле малой мощности / Н.В. Корнилова, П.А. Трубаев // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 368–373.

*УДК 621.311.24*

*Ревин Д.В.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В отличие от большинства других отраслей, лесным производствам повезло, что они могут использовать свои отходы для удовлетворения своих энергетических потребностей. При механической обработке древесины большая часть потребностей в тепловой энергии может быть удовлетворена за счет имеющихся отходов, фактически, лесопильная промышленность обладает потенциалом для производства, как избыточного количества тепла, так и электроэнергии и, следовательно, может поддерживать другие

процессы преобразования с дефицитом энергии в интегрированном комплексе, производящем, например, пиломатериалы, фанеру и ДСП или, в сельской местности, для обеспечения энергией нужд окружающего сообщества [1].

На протяжении многих лет многие заводы рассматривали древесные отходы как неприятный побочный продукт лесопильного производства, в результате чего они выбрасывались на свалку или сжигались в горелках для вигвамов или тому подобном. Однако и то, и другое в последнее время стало спорной экологической проблемой, и в сочетании с растущими затратами на энергию владельцы заводов были вынуждены серьезно рассмотреть преимущества использования отходов в качестве альтернативного источника топлива. Это также совпало с увеличением спроса на отходы в качестве сырья для производства целлюлозы и щитовых плит из-за роста стоимости и усиления конкуренции за твердую древесину [2].

Отходы, образующиеся в лесной промышленности, можно разделить на две части:

отходы, образующиеся в результате заготовки и извлечения бревен из леса и, как правило, считающиеся не имеющими экономического применения для дальнейшей переработки;

отходы, образующиеся в самих лесных отраслях в процессе производства древесины, фанеры, древесностружечных плит и т.п. (Табл. 1).

Таблица 1 - Отходы, образующиеся в лесной промышленности.

<b>Источник</b>	<b>Тип отходов</b>
Лесохозяйственные операции	Ветки, хвоя, листья, пни, корни, низкосортная и гнилая древесина, обрезки и опилки;
Лесопилка	Кора, опилки, обрезки, колотая древесина, строгальная стружка, наждачная пыль;
Производство фанеры	Кора, сердцевина, опилки, подушечки лилий, обрезки шпона и отходы, отделка панелей, наждачная пыль;
Производство древесностружечных плит	Кора, мелкие частицы отсева, отделка панелей, опилки, наждачная пыль.

В целом можно сказать, что из обычного дерева менее двух третей вывозится из леса для дальнейшей переработки, остальное либо оставляется, сжигается, либо собирается в качестве дров местными

жителями [3]. После переработки только 28 процентов исходного дерева превращается в пиломатериалы, остальное - в отходы (Табл. 2).

Таблица 2 – Разделение типичного дерева, заготавливаемого на пиломатериалы.

Часть дерева или продукт	Часть
	(%)
<b>Оставленные в лесу:</b>	
Верхушка, ветви и листва	23.0
Пень (исключая корни)	10.0
Опилки	5.0
<b>Лесопилка:</b>	
Плиты, обрезки и обрезки	17.0
Опилки и мелкие частицы	7.5
Различные потери	4.0
Кора	5.5
Пиломатериалы	28.0
Всего	100.0

Только в последние несколько лет из-за быстро растущих затрат на топливо и древесину промышленность развитых стран инвестировала средства в способы извлечения максимального количества древесины, пригодной для переработки во время лесозаготовительных работ. Хотя в этом документе основное внимание уделяется энергетической ценности отходов, образующихся в ходе производственных операций, следует рассмотреть потенциальное промышленное использование отходов, оставшихся в лесу.

При оценке свойств горючего материала с точки зрения его использования в качестве топлива теплотворная способность, выраженная в этом документе в виде общей теплотворной способности или более высоких теплотворных способностей, является одним из наиболее важных факторов, который указывает количество тепловой энергии, которое может быть получено при сжигании одной единицы массы материала [4].

Теплотворная способность древесины очень сильно зависит от породы и части используемого дерева и варьируется от 17 до 23 МДж / кг сухой древесины; как правило, хвойные породы имеют более высокие теплотворные показатели, чем лиственные породы, со средним значением 21 МДж / кг для смолистых пород и 19,8 МДж / кг для других используемых пород древесины. На самом деле, теплотворная способность самого древесного вещества отличается очень незначительно и составляет около 19 МДж / кг, как и, по сути,

изменение содержания смолы при теплотворной способности 40 МДж / кг, что объясняет различия в значениях между породами. Именно по этой причине кора с высоким содержанием камеди и смолы, как правило, имеет более высокую ценность, чем древесина.

Однако, хотя ценность топлива для костяной древесины может быть довольно постоянной, теплотворная способность зависит от нескольких факторов, а именно от содержания влаги, размера частиц, типа и эффективности используемого оборудования для сжигания, а также уровня его эксплуатации и технического обслуживания. Следовательно, чтобы оценить теплотворные способности различных древесных отходов в перспективе, необходимо учитывать теплосодержание на единицу отходов в зависимости от их влажности, а также эффективность процесса преобразования энергии, который, обеспечивает сравнительный анализ, который необходимо провести с другими альтернативными видами топлива.

Хотя технически возможно использовать древесные отходы в качестве топлива для выработки электроэнергии, именно экономические соображения неизменно оказываются ограничивающим фактором в большинстве случаев. Хотя сжигание древесных отходов дает очевидные преимущества для снижения затрат производителя на мазут и электроэнергию, они могут быть сведены на нет высокими капитальными затратами, низкой эффективностью установки и увеличением численности персонала. Конечно, экономика производства энергии из древесных отходов становится более привлекательной по мере роста цен на традиционное топливо, хотя реальная ценность древесных отходов как источника топлива должна учитывать их доступное теплосодержание, инвестиции и эксплуатационные расходы завода, необходимые для обработки и преобразования их в полезную энергию, прежде чем можно будет провести какие-либо стоящие сравнительные исследования.

Следует отметить, что мощность большинства электростанций, доступных в промышленности, особенно для когенерации, превышает ту, которая может быть экономически использована большинством мельниц и интегрированных установок. Кроме того, ограниченное финансирование, доступное мелким и средним предприятиям, как правило, является основным сдерживающим фактором при рассмотрении когенерации в качестве варианта, заслуживающего рассмотрения, независимо от возможных долгосрочных выгод.

Следовательно, именно по этим причинам, несмотря на их самодостаточность в топливо собственного производства, как правило, не считается экономически оправданным для отдельной лесопилки или



фанерного завода с производительностью бревен менее 150 000 м<sup>3</sup>/год вырабатывать собственную электроэнергию, если только они не являются частью интегрированного производственного подразделения, состоящего из лесопилки, производства фанеры и ДСП и т.д.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вострикова Г.Ю. Перспектива применения олигомера из побочных продуктов нефтехимии, модифицированного вторичным пенополистиролом для защиты древесных материалов / Г.Ю. Вострикова, Н. С. Никулина, С.С. Никулин // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. – №4. – С. 132–137.

2. Корнилова Н.В. Теплотехнические испытания твердотопливных отопительных котлов малой мощности при сжигании брикетированных RDF-топлив / Н.В. Корнилова, П.А. Трубаев // Энергетические системы. – 2018. – № 1. – С. 224–233.

3. Особенности сжигания отходов с получением энергии / П.А. Трубаев, И.И. Щекин, Н.В. Корнилова, Б.М. Гришко // Научные технологии и инновации. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. – С. 105–109.

4. Щекин И.И. Методы термической утилизации твердых отходов / И.И. Щекин, А.В. Струков, П.А. Трубаев // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. – С. 462–467.

*УДК 621.18*

*Ревин Д.В.*

*Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ КОНДЕНСАЦИОННОГО КОТЛА И ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА ИЗ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

Растущие затраты на электроэнергию заставили компании перерабатывающей промышленности периодически пересматривать свое энергопотребление и различные методы повышения энергоэффективности для повышения операционной рентабельности. В

этом тематическом исследовании подчеркиваются преимущества конденсационного котла в снижении затрат на электроэнергию [1].

Природный газ (ПГ) является очень распространенным и чистым топливом, которое широко используется в различных отраслях промышленности для выработки пара. Природный газ также хорошо известен своими горючими свойствами и является наиболее экологически чистым и простым в сжигании. Поэтому он всегда пользовался большим спросом не только для различных промышленных целей, но и для многих бытовых применений, включая использование в автомобилях, автобусах и т.д., Чтобы соответствовать строгим нормам охраны окружающей среды. Кроме того, с ним легко обращаться[2].

При обычной работе любого котла среднего давления, рассчитанного на выработку насыщенного потока 15 бар, в основном имеют место три типа тепловых потерь: кондуктивные и конвективные тепловые потери через изоляцию и излучение, тепловые потери при продувке и тепловые потери через отходящие дымовые газы. Хотя потери энергии из-за изоляции, излучения и продувки минимальны, большое количество тепловой энергии теряется вместе с дымовыми газами, выходящими в атмосферу при высокой температуре [3]. Извлечение тепловой энергии из дымовых газов различных типов котлов является реальной проблемой (Табл.).

Обычно чистая теплотворная способность (ЧТС) природного газа варьируется в диапазоне 8500- 8600 Ккал /см<sup>3</sup>. При температуре дымовых газов в диапазоне 110-115 ° С в котле, работающем на природном газе, КПД котла варьируется в диапазоне 91-92%.

Таблица – Рекуперация тепла из дымовых газов различных типов котлов.

№	Вид парового котла и топлива	Температура дымовых газов
1	Котел, работающий на угле	160-170°C
2	Котел, работающий на мазуте	170-180°C
3	Обычный котел, работающий на природном газе	110-115°C
3	Конденсационный котел, работающий на природном газе	53-56°C

Любое нефтяное топливо содержит такие компоненты, как углерод (С), водород (Н), кислород (О), сера (S), азот (N) и вода или влага (H<sub>2</sub>o) и т.д. в различных пропорциях. При сгорании С, Н, S в присутствии воздуха выделяется энергия из-за экзотермического характера

реакции. Валовая теплотворная способность (ВТС) определяется как энергия, выделяющаяся при сгорании на единицу массы топлива. Обычно это выражается в Ккал/кг или Ккал/см<sup>3</sup> [4].

При сгорании водорода (H), присутствующего в топливе, образуется вода, которая остается в дымовых газах в виде пара; назовем эту массу  $x_1$ . Влага / вода, присутствующая в топливе, также испаряется и остается в виде водяного пара в дымовых газах; давайте назовем эту массу  $x_2$ . Этой воды обычно намного меньше в природном газе. При сгорании вместе с воздухом также уносится атмосферная влага, которая также остается в дымовых газах в виде пара. Давайте примем эту массу равной  $x_3$ . Таким образом, общее количество водяного пара, присутствующего в дымовых газах, равно  $x_1 + x_2 + x_3$ .

Для испарения этого количества воды и достижения температуры дымовых газов требуется энергия, известная как энтальпия, которая отнимается от общей энергии, выделяемой в процессе сгорания. В результате тепло, уносимое водяным паром в дымовых газах, не используется для выработки пара. Она напрямую теряется в атмосфере. Воздух и продукты сгорания, отличные от воды (CO<sub>2</sub>, CO, NOx) и азота, также отбирают значительное количество тепла.

Следовательно, ВТС минус тепло, потерянное в водяном паре, инертных веществах и продуктах сгорания на единицу массы топлива, называется чистой теплотворной способностью (ЧТС). КПД котла рассчитывается на основе ЧТС топлива, поскольку тепло, переносимое или теряемое с водяным паром, каким-либо образом недоступно для теплопередачи. Именно ЧТС используется для передачи тепла в котле для выработки пара.

Конденсационные котлы используют тепло выхлопных газов, которые обычно выбрасываются в атмосферу в виде дымовых газов. Чтобы использовать это скрытое тепло, водяной пар из отходящих газов превращается в жидкий конденсат посредством теплообмена с холодной деминерализованной питательной водой, которая предварительно нагревается в специально разработанном конденсационном экономайзере. Благодаря этому процессу конденсационный котел способен извлекать больше тепла из используемого топлива, чем стандартный котел. Это также означает, что через дымовые газы теряется меньше тепла.

Температура дымовых газов, выходящих из котла при 330-340 °С, пропускается через экономайзер 1-й ступени без конденсации и снижается до 170-175°С. Затем она снова пропускается через предварительный нагреватель воды без конденсации 2-й ступени, где температура снижается до 80-85°С. В заключение вода проходит через

экономайзер 3-й степени конденсации, где конечная температура дымовых газов дополнительно снижается до 53-55 °С за счет предварительного нагрева подпиточной воды, подаваемой в котел, до 31°С. Снижение температуры дымовых газов с 33 ° до 55 °С является уникальным явлением в эксплуатации промышленных котлов. Это служит двум целям одновременно.

**1. Это помогает в повышении тепловой эффективности за счет снижения потребления природного газа на единицу производства пара.**

При температуре дымовых газов 55°С КПД котла составляет ~ 100% по сравнению с 91-92% в обычном котле с температурой дымовых газов 110-115°С (Рис. 1). При температуре дымовых газов 45°С КПД котла может достигать 103%, устанавливая новую контрольную отметку

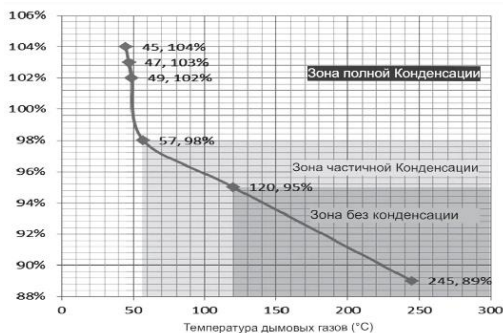


Рис. 1 График зависимости тепловой эффективности от температуры дымовых газов

На тонну выработки пара можно сэкономить не менее 3 см<sup>3</sup> природного газа по сравнению с обычным котлом. Экономия топлива может быть увеличена до 4-5 см<sup>3</sup> на тонну выработки пара в зависимости от более низкой температуры дымовых газов и эффективной конструкции.

## 2. Извлечение воды из дымовых газов

Благодаря низкому соотношению C/H при сжигании 1 моля метана (молекулярная масса метана равна 16) образуется 2 моля воды (молекулярная масса воды равна 18). Таким образом, при сжигании 16 кг метана при полном сгорании образуется 36 кг воды с достаточным количеством воздуха, который уносится с дымовыми газами в виде пара. Эта вода, как правило, теряется в атмосфере. Охлаждение

температуры дымовых газов ниже точки росы и извлечение воды из дымовых газов напрямую ведет к сохранению природных ресурсов.

Скрытая теплота конденсации воды из дымовых газов косвенно используется для предварительного нагрева поступающей в котел питательной воды при температуре до 31°C. Около 60 000 000 литров воды извлекается в год путем конденсации из дымовых газов при температуре выхода дымовых газов 55°C. Конденсированная вода имеет слабокислый состав, а pH колеблется в пределах 3-4. Эта вода используется и перерабатывается в процессе для надлежащего использования. Кислотность в основном обусловлена присутствием слабой углекислоты, образующейся при очистке двуокиси углерода конденсированной водой при более низкой температуре.

Существует ряд как положительный, так и отрицательных аспектов установки конденсационного котла.

#### **Проблемы при установке конденсационного котла:**

- выбор подходящей металлургии для проектирования конденсационного экономайзера с длительным сроком службы, поскольку это приводит к коррозии низкого уровня из-за кислотной природы конденсата и конденсации других кислых паров, таких как NO<sub>x</sub> или SO<sub>x</sub>, если таковые имеются.

- независимая система сбора конденсата и возможность использования в процессе с байпасным расположением секции конденсации для обеспечения гибкости при перемещении дымовых газов.

- резервуар для деаэрации под давлением для удаления растворенного кислорода из питательной воды путем продувки паром.

#### **Преимущества установки конденсационного котла:**

- эффективность котла может быть увеличена более чем на 100% в зависимости от температуры возврата конденсата.

- на тонну выработки пара можно сэкономить минимум 3 см<sup>3</sup> природного газа по сравнению с обычным котлом. Экономия топлива может быть увеличена до 4 или 5 см<sup>3</sup> на тонну выработки пара в зависимости от более низкой температуры дымовых газов и эффективной конструкции.

- высокая энергоэффективность и экологичность.

- извлечение деминерализованной воды из дымовых газов ведет к сохранению природных ресурсов.

- сокращение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

- низкая температура окружающей среды из-за более низкой температуры дымовых газов в дымоходе (50-55°C).

Установка конденсационных котлов набрала обороты во всех развитых странах для снижения затрат на электроэнергию.

**Выводы:** исходя из выше сказанного, можно заметить, что преимуществ в использовании конденсационных котлов значительно больше, нежели недостатков, что говорит о их высокой эффективности, а так же конденсационные котлы используют тепло выхлопных газов, которые обычно выбрасываются в атмосферу в виде дымовых газов. Благодаря этому конденсационный котел способен извлекать больше тепла из используемого топлива, чем стандартный котел.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стенд и некоторые результаты испытаний топливосберегающего конденсационного водогрейного котла / В.П. Кожевников, М.И. Кулешов, А.В. Губарев и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.– 2012.– № 3. – С. 182–184.

2. Кулешов М.И. Модернизация конструкции высокотемпературной части конденсационного водогрейного котла, направленная на повышение его ремонтпригодности / М.И. Кулешов, А.В. Губарев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.– 2015.– № 2.– С. 196–199.

3. Губарев А.В. Конструкция и варианты модернизации конденсационного водогрейного котла / А.В. Губарев, Н.М. Лозовой // Энергетические системы. – 2018. – № 1. – С. 23–30.

4. Анализ эксергетических потерь в водогрейных котлах / Е.А. Зайцев, П.А. Трубаев, А.В. Губарев, М.И. Кулешов // Промышленная энергетика. – 2011. – № 1. – С.32–34.

УДК 621.311

*Рубцов К.Д.*

*Научный руководитель: Колмаков О.В., канд. техн. наук, доц.  
Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал  
Иркутского государственного университета путей сообщения,  
г. Красноярск, Россия*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ПОСТОВ СЕКЦИОНИРОВАНИЯ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Системы тягового электроснабжения являются одними из наиболее важных элементов электроэнергетической инфраструктуры и осуществляют поставку электроэнергии к наиболее крупным потребителям - железнодорожным станциям, метрополитенам и другим транспортным объектам. В условиях развивающейся энергетической отрасли, повышения технологической сложности электрифицированных систем и увеличения объемов потребляемой электроэнергии, вопрос повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения становится особенно актуальным. В данной работе рассматривается проблема повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения в условиях работы постов секционирования с накопителями электрической энергии.

Оценка эффективности использования НЭЭ на посту секционирования ПС2 проводится на основе критерия уменьшения общего расхода электроэнергии на тяговых подстанциях с учетом требований к системе тягового электроснабжения и движению поездов. Характеристики энергетической системы тягового электроснабжения определяются с учетом среднего уровня напряжения в контактной сети и грузоподъемности подстанций.

Получение характеристик тяговой нагрузки доступно двумя путями – с помощью проведения расчетов нагрузки или получения информации о параметрах движения электропоезда. Для оценки эффективности использования ЕНЭ будет применен второй подход – результаты измерений электрических параметров движения поезда на участке железной дороги с характеристиками (форма профиля, энергетические параметры и т. д.), такими же, как в замещающей схеме (см. рисунок 1).

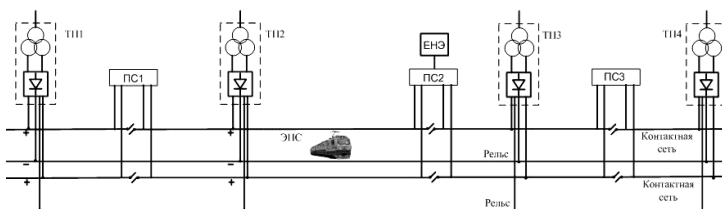


Рис. 1 Расчётная схема железнодорожного участка

Для указанных условий схемы замены и нагрузки осуществим имитационное моделирование с помощью программного обеспечения MATLAB, которое позволяет исследовать режимы работы СТЭ. Имитационная модель для оценки эффективности использования альтернативной энергии на ПС представлена на рис. 3.

Имитационная модель – это модель, которая имитирует поведение и процессы реальной системы, используя компьютерные программы и технологии. Она представляет собой абстрактную модель поведения системы, которая позволяет определить, как будет вести себя в различных условиях и при различных вариантах входных данных. Имитационную модель возможно смоделировать в MATLAB.

Благодаря своим мощным возможностям, MATLAB является одним из ведущих инструментов, используемых в электроснабжении, и может помочь инженерам и проектировщикам повысить эффективность, надёжность и безопасность своих систем.

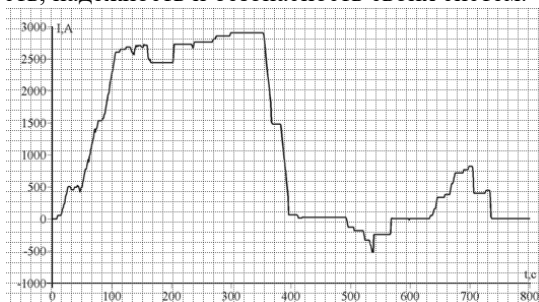


Рис. 2 График изменения тяговой нагрузки при проследовании поезда

Схема изменения потребления в энергоснабжении представляет собой описание вариаций объема электроэнергии, которую необходимо обеспечить потребителям в определенный момент времени.

Использование схемы потребления позволяет более точно определить потребности в мощности и ёмкости энергосетей и предсказать будущий объем энергии. Однако неправильное определение схемы потребления может привести к недостаточности или



избыточной нагрузке на систему, что может привести к сбоям в работе энергосети, а также к полному отказу. Поэтому схема изменения потребления в энергоснабжении играет важную роль в гарантированном обеспечении электроэнергией всех потребителей и должна учитываться в процессах планирования, проектирования и управления энергосетями.

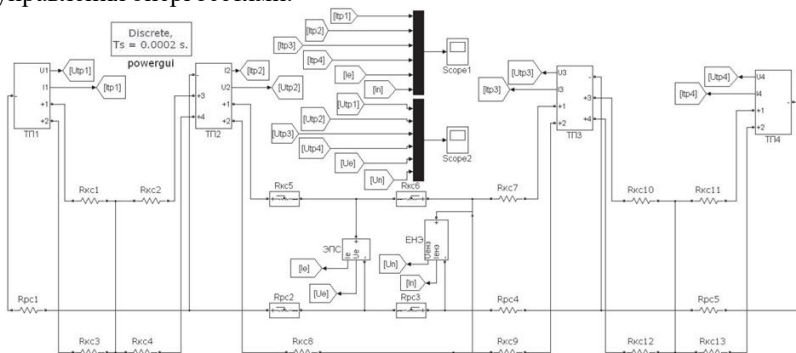


Рис. 3 Имитационная модель СТЭ в MATLAB

Рисунок 4 демонстрирует схему замещения ТП для изучения данного участка железной дороги в программном обеспечении MATLAB, состоящую из 3 генераторов переменного тока  $U$  (фазы А, В, С), имитирующих трёхфазную внешнюю сеть ТП.

Модель имитации позволяет получить данные для режимов разряда и заряда ЕНЭ при использовании ЭПС в режимах ускорения и регенеративного торможения. На рисунке 5 представлены графики изменения  $U$ ,  $I$  на ТП2 и ЭПС во время разряда ЕНЭ, а также при последующем его заряде.

Графики изменения  $U$  и  $I$  на ЕНЭ, установленном на ПС ПС2, представлены на рисунке 6.

Результаты имитационного моделирования отражены в таблице. Использование НЭЭ на ПС дает возможность улучшить ключевые параметры работы энергетической СТЭ.

Выявлено, что в течение заданного временного интервала можно увеличить среднее напряжение на соединительных контактах соседних подстанций на 3 %, а среднюю нагрузку снизить на 2 %. Предлагаемый способ использования ЕНЭ в данном случае позволяет уменьшить потери в КС на 0,85 % и сократить общий расход электроэнергии на 1,71 %.

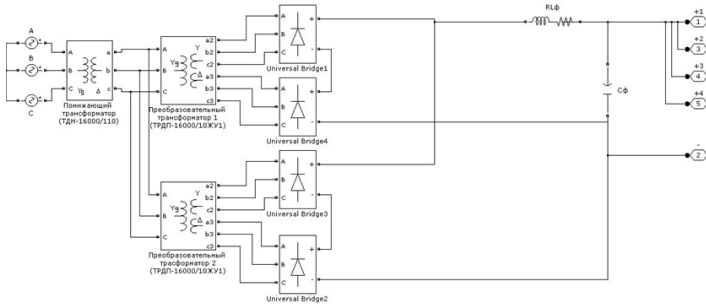


Рис. 4 Схема замещения ТП в MATLAB

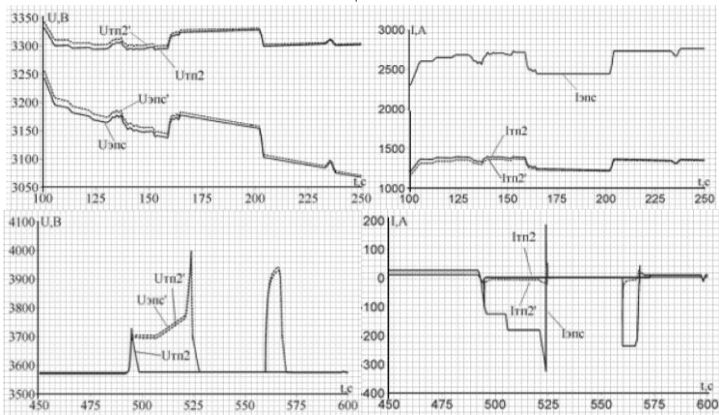


Рис. 5 Графики изменения  $U$  и  $I$  на ТП2 и ЭПС при разряде (а,б) и при последующем заряде ЕНЭ (в,г)

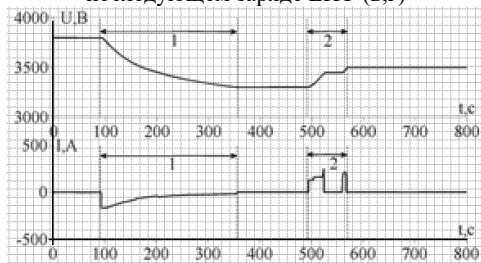


Рис. 6 Графики изменения  $U$  и  $I$  на ЕНЭ при его разряде и последующем заряде

Таблица – Результаты моделирования в ПО MATLAB

Наим.	Р, кВт·ч		U на токоприемнике, В		I, А		Изменение I и U, %	
	Без ЕНЭ	С ЕНЭ	U <sub>сред без ЕНЭ</sub>	U <sub>сред с ЕНЭ</sub>	I <sub>сред без ЕНЭ</sub>	I <sub>сред с ЕНЭ</sub>	U	I
ТП1	208,02	205,70	3523,0	3532,2	270,7	267,6	0,26	-1,15
ТП2	406,50	402,33	3388,0	3476,7	548,4	542,3	2,62	-1,11
ТП3	154,76	149,53	3427,7	3546,4	199,4	192,6	3,46	-3,44
ТП4	77,34	74,61	3458,5	3566,1	98,5	95,0	3,11	-3,55
ЭПС	781,45	775,38	3377,5	3388,3	1117,0	1108,7	0,32	-0,74

Таким образом, в данной работе была рассмотрена проблема повышения энергоэффективности системы тягового электроснабжения (СТЭ). Было выявлено, что существенное влияние на потребление электроэнергии оказывают посты секционирования, которые не только расходуют энергию на собственные нужды, но и могут приводить к неравномерной нагрузке на систему тягового электроснабжения.

С помощью проведённых исследований было обнаружено, что использование накопителей электрической энергии может привести к существенному улучшению энергоэффективности тягового электроснабжения. Этот подход может быть реализован как на новых электрифицированных железнодорожных магистралях, так и на уже существующих. Для практической реализации данного подхода необходимо провести дополнительные исследования и опытные работы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеколдин В.А., Крюков А.А. Анализ возможности использования накопителей энергии в системах тягового электроснабжения подвижного состава электричек. // Проблемы энергетики. – 2019. – № 5. – С. 18-22.
2. Гребенщиков О.Б., Ряжских П.А., Залужный А.В. Экономическая эффективность использования накопителей электрической энергии в системах тягового электроснабжения. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2020. – № 7. – С. 28-33.
3. Кулагин А.В., Паляничук Е.А. Влияние качества электрической энергии на работу накопителей энергии в системах тягового электроснабжения. // Региональный энергетический форум. – 2021. – № 1(45). – С. 57-63.

## **КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПУТЬ К ПОВЫШЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОПРИБОРОВ**

Качество электроэнергии является критическим аспектом электрических систем, который измеряет стабильность и надежность электроснабжения [1-3]. Качество питания, подаваемого на электроприборы, может оказывать существенное влияние на срок их службы. Электрические приборы предназначены для работы в определенном диапазоне напряжения, частоты и формы волны. Если электрическая мощность, подаваемая на устройство, не соответствует этим спецификациям, это может привести к повреждению устройства и сокращению срока его службы.

Электроприборы — не единственные объекты, на которые влияет низкое качество электроэнергии [2-4]. Это может повлиять на всю электрическую систему, что приведет к увеличению времени простоя, увеличению затрат на техническое обслуживание и снижению производительности. Поэтому улучшение качества электроэнергии имеет важное значение для обеспечения долговечности электрооборудования и всей электрической системы.

Длительные искажения кривой напряжения, особенно «зазубриновидные» искажения, которые возникают в результате коммутации силовых тиристорov и диодов в мощных источниках питания, оказывают негативное влияние на силовое электрооборудование и измерительные приборы. Существует опасность возникновения искажений кривой напряжения через ноль, что может привести к дополнительным коммутациям диодов маломощных источников питания. Такое воздействие может ускорить процесс старения конденсаторов и привести к сбою компьютеров и принтеров, и другой техники.

В современном мире проблема обеспечения качества электроэнергии имеет особую актуальность [3, 4]. Ведущие промышленно развитые страны строго регламентируют процесс подключения нелинейных нагрузок, которые могут исказить форму кривых тока и напряжения электрической сети. Для этого требуются соответствующие корректирующие устройства и соблюдение требований по обеспечению качества электроэнергии. Суммарная

мощность вновь вводимой нелинейной нагрузки не должна превышать 3-5% от мощности всей нагрузки энергокомпании. В отечественных электрических сетях проблема качества электроэнергии является специфичной. К сожалению, в России потребители нелинейных нагрузок подключаются достаточно хаотично. Это может привести к серьезным проблемам, связанным с ухудшением качества электроэнергии. В частности, это может отрицательно сказаться на работе электрооборудования, повлечь за собой сбои в работе и даже привести к поломкам.

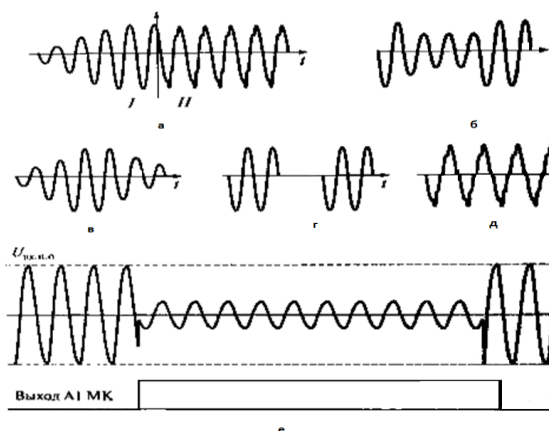


Рис. 1 Длительные искажения кривой напряжения: а-переходные процессы (I) и искажение напряжения (II); б-понижение напряжения; в-повышение напряжения; г-перерыв электроснабжения; д-зазубрины; е-осциллограмма 74%-го провала контролируемого напряжения.

Повышение качества электроэнергии может быть достигнуто через применение трех основных групп методов:

- первая группа методов состоит в рационализации электроснабжения, которая включает в себя увеличение мощности сети и предоставление нелинейным потребителям повышенного напряжения.
- вторая группа методов заключается в улучшении структуры первичной управляемой регулировки, например, путем обеспечения номинальной нагрузки на двигатели, использования многофазных схем выпрямления и включения корректирующих устройств в состав потребителей.
- третья группа методов основана на использовании устройств коррекции качества, таких как регуляторы показателей качества

электроэнергии или связанных с ними параметров потребляемой мощности.

Наилучшим из способов улучшения качества электроэнергии является использование устройств контроля качества электроэнергии, таких как фильтры, подавители гармоник и регуляторы напряжения. Эти устройства могут контролировать переменные качества электроэнергии, такие как напряжение, ток, частоту и форму сигнала, помогая предотвратить повреждение электроприборов и электрической системы. Кроме того, регулярное техническое обслуживание и мониторинг электрооборудования также могут помочь выявить проблемы с качеством электроэнергии до того, как они нанесут значительный ущерб.

В заключение, качество электроэнергии является решающим фактором в обеспечении долговечности электроприборов и всей электрической системы. Использование устройств контроля качества электроэнергии и регулярное техническое обслуживание и мониторинг могут помочь улучшить качество электроэнергии и увеличить срок службы электрооборудования.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Федотов А.И., Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85. EDN NVAMET.

2. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66.

3. Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Абдрахманов Р.С. Обеспечение нормативного уровня напряжения в распределительных сетях 0,4-10 кВ с помощью вольтодобавочных трансформаторов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 9-10. С. 40-45. EDN OONGZH.

4. Akhmetshin A., Mendeleev D., Marin G. Improvement of Electricity Quality Indicators in Electric Networks with Voltage of 0.4-10 kV // Proceedings - 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020. Sochi, 2020. P. 454-458. DOI 10.1109/RusAutoCon49822.2020.9208158. EDN EQCMNL.

## ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Геотермальная энергия - это форма возобновляемой энергии, которая использует тепло, выделяемое ядром Земли, для выработки электроэнергии. Эта технология используется уже несколько десятилетий и в последние годы становится все более популярной благодаря своей способности производить стабильный источник чистой энергии. Технология геотермальной энергии включает в себя глубокое бурение земной коры, чтобы получить доступ к горячей воде и пару, которые производятся теплом Земли. Затем эти горячие жидкости выносятся на поверхность и используются для питания турбин, вырабатывающих электроэнергию. [1]

Процесс бурения для получения геотермальной энергии аналогичен бурению для добычи нефти или природного газа. Однако процесс бурения намного сложнее и требует специального оборудования и опыта. Глубина скважины может варьироваться в зависимости от местоположения и доступных геотермальных ресурсов. Как только горячие жидкости поднимаются на поверхность, они разделяются на воду и пар. Затем пар используется для питания турбин и выработки электроэнергии, а вода повторно закачивается обратно в землю для повторного нагрева. [1]

Существует три основных типа геотермальных электростанций: сухой пар, вторичный пар и бинарный цикл. Сухие паровые электростанции являются старейшим и простейшим типом геотермальных электростанций. Они используют пар, который естественным образом вырабатывается на Земле, для питания турбин и выработки электроэнергии (рис.1). [2]

Электростанции с мгновенным паром являются наиболее распространенным типом геотермальных установок. Они используют горячую воду, которая поднимается на поверхность, а затем превращается в пар. Затем цикл повторяется, как и на станции с сухим паром. [2]

Геотермальные электростанции с бинарным циклом являются новейшим и наиболее эффективным типом геотермальных электростанций. Они используют горячую воду, которая выводится на поверхность и затем проходит через теплообменник. Горячая вода

используется для нагрева второй жидкости, которая затем испаряется и приводит в действие турбины для выработки электроэнергии. [2]

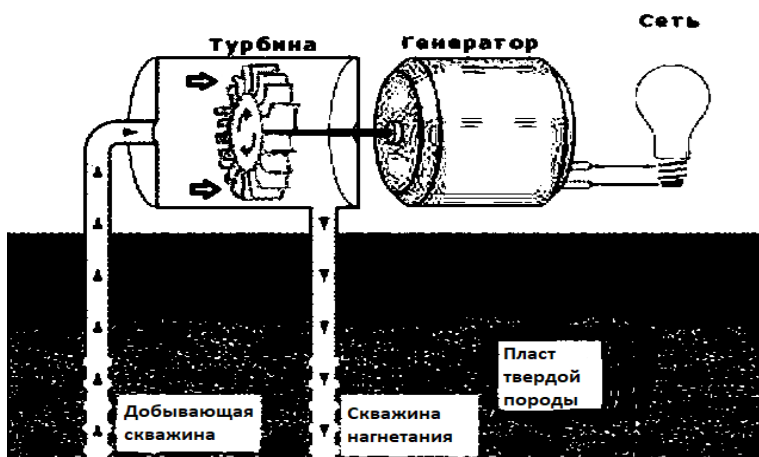


Рис. 1 Схема геотермальных электростанций, работающих на сухом пару.

Геотермальная энергия имеет ряд преимуществ перед другими видами возобновляемой энергии:

1. Возобновляемый и устойчивый: геотермальная энергия является возобновляемым и устойчивым источником энергии, который не истощает природные ресурсы.

2. Низкий уровень выбросов углерода. Геотермальные электростанции выделяют очень низкий уровень парниковых газов по сравнению с электростанциями, работающими на ископаемом топливе, что делает их экологически чистым вариантом.

3. Надежность: Геотермальные электростанции имеют высокий коэффициент мощности, что означает, что они могут работать с высоким уровнем эффективности и надежности.

4. Низкие эксплуатационные расходы. После того, как геотермальная электростанция построена, эксплуатационные расходы становятся относительно низкими, поскольку нет необходимости покупать топливо для производства электроэнергии.

5. Долгий срок службы. Геотермальные электростанции имеют длительный срок службы и могут работать в течение многих десятилетий при надлежащем обслуживании.

6. Местные экономические выгоды. Геотермальные электростанции могут создавать рабочие места и стимулировать местную экономику в районах, где они построены. [3]



Но к сожалению, у данного типа энергии также присутствуют и недостатки. Необходимость вернуть использованную воду в подземный горизонт является главным минусом использования геотермальной энергии. Есть еще один минус у этой энергии - большинство месторождений имеют воду с высоким содержанием минералов и токсичных элементов, что мешает выливать ее в природные водные системы на поверхности. Из-за отмеченных выше недостатков геотермальной энергии для практического использования теплоты геотермальных вод требуются большие капитальные затраты на бурение скважин, обратную закачку отработанной воды и создание коррозионностойкого теплотехнического оборудования. Кроме того, не везде можно найти подходящий участок земли для осуществления геотермальной энергетики, а также иногда она может приводить к сейсмической активности и разрушению горных пород. Еще одним недостатком является то, что геотермальная энергия является нестабильным источником энергии, так как может быть зависимостью от интенсивности притока воды или изменения ее температуры. Таким образом, геотермальная энергия может быть эффективна только в определенных условиях, и ее применение требует особой осторожности и подхода на практике. [3]

Существует несколько новых технологий геотермальной энергии, которые разрабатываются и внедряются, чтобы сделать этот возобновляемый источник энергии более доступным и эффективным:

1. Расширенные геотермальные системы (EGS): EGS включает в себя создание искусственных геотермальных резервуаров путем бурения горячей породы и ее гидроразрыва для создания проницаемых путей для циркуляции воды. Эта технология может значительно расширить географию производства геотермальной энергии.

2. Геотермальные системы с замкнутым контуром. В системах с замкнутым контуром ряд труб, содержащих жидкий теплоноситель, проложен под землей. Жидкость циркулирует по трубам, поглощая тепло земли и передавая его тепловому насосу, который вырабатывает электричество.

3. Электростанции с бинарным циклом. Эти электростанции используют теплообменник для передачи геотермального тепла вторичному флюиду с более низкой температурой кипения, чем у воды. Вторичная жидкость испаряется и приводит в движение турбину, которая вырабатывает электричество.

4. Гибридные геотермальные системы: эти системы сочетают геотермальную энергию с другими возобновляемыми источниками

энергии, такими как солнечная энергия или ветер, для создания более стабильного и последовательного энергоснабжения.

5. Применение для прямого использования: вместо производства электроэнергии геотермальная энергия может использоваться непосредственно для отопления помещений, горячего водоснабжения или промышленных процессов. Эта технология особенно полезна в районах с высокой потребностью в отоплении и низкой потребностью в электроэнергии. [4]

В заключение, технология геотермальной энергии прошла долгий путь за последние годы и стала важным источником возобновляемой энергии. Учитывая растущий спрос на чистую энергию, вполне вероятно, что популярность геотермальной энергии будет продолжать расти, и она станет важной составляющей глобального энергетического баланса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фрянова К.О. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы и технологии. Сборник: социально-экономические проблемы развития старопромышленных регионов. Сборник материалов международного экономического форума, посвященного 65-летию КузГТУ. 2015. С. 45. Текст: непосредственный.

2. Алексеенко С.В. Геотермальная энергетика: технологии и перспективы развития. Сборник: Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2022). Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский, 2022. С. 14-17. Текст: непосредственный.

3. Геотермальная энергетика: как тепло Земли превратили в эффективный энергоресурс. Официальный сайт: <https://habr.com/ru/companies/toshibarus/articles/442632/> 2019 год. Текст электронный.

4. Статья ВАК: Геотермальная энергетика: технологии и оборудование. Официальный сайт: <https://www.c-o-k.ru/articles/geotermalnaya-energetika-tehnologii-i-oborudovanie> 2017 год. Текст электронный.

*Сагитов С.Р., Маслова Г.Д.*

*Научный руководитель: Маслов И.Н., канд. техн. наук, доц.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ МИКРОГЕНЕРАЦИИ**

Микрогенерация (МГ) относится к производству энергии в небольших масштабах, как правило, с использованием возобновляемых источников, таких как солнечная энергия, ветер, вода, биомасса, водород [1, 2]. Это контрастирует с крупномасштабным производством энергии на централизованных электростанциях. МГ может помочь сократить выбросы парниковых газов и зависимость от традиционных источников энергии. В настоящее время существует большое количество видов МГ.

Выработка электроэнергии от солнечных панелей на солнечных электростанциях (СЭС) очень сильно зависит от внешних факторов: таких как погода, температура [4, 5]. В России солнечные батареи получили применение на пешеходных переходах и светофорах. При нагреве кремниевой панели выше 25% с каждым последующим градусом эффективность снижается примерно на 0,5%. Причем это относится к нагреву рабочей поверхности, а не окружающей среды. Из-за этого при 30-градусной жаре и нагреве модуля до 60-70°C можно потерять до 20% от номинального КПД. В год фотоэлектрический модуль средней мощностью 250 Вт вырабатывает в среднем 300 кВтч. Недостатками данного вида МГ является длительный срок окупаемости и низкий КПД от 12 до 25%.

Ветряные электрические станции (ВЭС) обычно устанавливаются в районах с высокой скоростью ветра, таких как прибрежные районы или открытые поля. Главной проблемой ВЭС, является проблема утилизации лопастей и не высокий КПД [6]. Для вертикального и горизонтального ВЭС коэффициент полезного действия примерно одинаков. Для вертикальных он составляет 20-30%, для горизонтальных - 25-35%. Некоторые производители увеличивают КПД вертикальных ветряных электрических станций до 15%, заменяя подшипники на постоянные неодимовые магниты. Но такое незначительное повышение эффективности всего на 3-5% ведет к значительному удорожанию конструкций, что ставит под вопрос эффективность данной модернизации. Лопасти ВЭС состоят из стекловолокна, который очень сложно утилизировать так как срок разложения данного материала очень долгий, что приводит к загрязнению окружающей среды. Однако

лопасти ВЭС, можно использовать в качестве шумоподавительных барьеров. Стекловолокно обладает лучшими шумоизолирующими характеристиками из-за своего состава. Также лопасти можно использовать для строительства детских площадок, из-за их долгого разложения.

Геотермальная энергия (ГЭ) — это возобновляемый источник энергии, получаемый из тепла недр земли. Это тепло может быть использовано для выработки электроэнергии или непосредственно для обогрева зданий. ГЭ используется путем глубокого бурения земли для доступа к горячей воде и пару, которые затем используются для питания турбин и выработки электроэнергии [7]. В качестве альтернативы можно использовать геотермальные тепловые насосы для извлечения тепла из земли и передачи его в здания для обогрева и охлаждения. ГЭ является чистым и устойчивым источником энергии, поскольку она производит очень мало парниковых газов и может обеспечить постоянный и надежный источник энергии. В России есть несколько ГеоЭС, например, Мутновская ГеоЭС, Верхне-Мутновская ГеоЭС, Менделеевская ГеоТЭС. Одной из главных проблем ГеоЭС является высокая стоимость. В краснодарском крае в 2002 г. стоимость бурения одного метра составляла 8 тыс. рублей, а пласт горячей воды располагался на глубине 1800 м, т. е. одна скважина стоила 14,4 млн рублей. Еще одной проблемой является шум, вследствие этого такие станции нужно ставить в отдаленных от населенного пункта мест, которые он питает, что приводит к потерям на путях.

Микро Гидросистемы (МГЭС) и системы микрокомбинированного производства тепла и электроэнергии, по другому микро-ТЭЦ. Ключевым преимуществом МГЭС является то, что они являются возобновляемым источником энергии, который не производит выбросов парниковых газов или других загрязняющих веществ, что делает их устойчивым и экологически безопасным решением для производства электроэнергии. Основными проблемами внедрения МГЭС является высокая себестоимость оборудования и строительный монтаж работ. По всей России МикроГЭС вырабатывают 360 млрд.кВтч/год. МГЭС помогают обеспечить электроэнергией отдаленные районы России. Они используются в Тыве, на Алтае, Карелии, Башкирии и Ленинградской области. В малых районах Киргизии всегда можно отыскать горный поток, где может быть установлена микроГЭС, что полностью делает ее независимой в плане электроэнергии. Что касается микро-ТЭЦ, то ее средняя мощность составляет 0.5 МВт. Что касается проблем, то выделяют недостаточное внимание руководства отрасли к ней. Основное внимание всегда было

сосредоточено на развитии большой энергетики. Без четко структурированного плана невозможно достичь хороших результатов.

В основном МГ используется для снижения энергодефицита, а также сокращения платежей потребителей электроэнергии. Также МГ менее пагубно воздействует на окружающую среду из-за минимального количества выбросов в течение своего жизненного цикла.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355.

3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

4. Зацаринная Ю.Н. Исследование эффективности работы солнечной панели при воздействии на нее загрязнителей // Труды Академэнерго. 2019. № 1. С. 81–92.

5. Антонова Е.А., Горячев С.В. Повышение эффективности солнечных батарей нового поколения за счёт использования новых материалов и их гибридизации // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2019. № 1 (70) С. 7-11.

6. Таймаров М.А., Тимербаев Н.Ф., Лавирко Ю.В. Использование ветроэнергетики для электроснабжения строительства в труднодоступных и удаленных районах // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 2(52). С. 98-105. EDN SCKQSF.

7. Бутузов В. А. Российская геотермальная энергетика: анализ столетнего развития научных и инженерных концепций // Окружающая среда и энергоснабжение. 2019. № 3(3). С. 4-21. DOI 10.5281/zenodo.3539089. EDN XHRIKI.

## ПЛЮСЫ И НЕДОСТАТКИ РАБОТЫ ПО ДОГОВОРАМ ДПМ

Абсолютно все покупатели на оптовом рынке имеют обязательства по приобретению какого-либо объёма мощности. Отсюда возникает вопрос: «Что такое оптовый рынок мощности?». Это обращение особенных товаров (мощности и электрической энергии) на территории Единого экономического пространства Российской Федерации. Причём важно упомянуть, что существуют ценовые (где распространение электроэнергии и мощности происходит по свободным ценам) и неценовые (где купля-продажа мощности и электроэнергии вследствие отсутствия организации рыночных отношений) зоны [1].

Регулирование отношений по купле-продаже электроэнергии и мощности осуществляется с помощью ДМП (договоров о предоставлении мощности). Данная тема актуальна, так как электроэнергия охватывает все сферы жизнедеятельности человека, и именно договоры ДПМ позволяют снизить инвестиционные риски генерирующих компаний [2]. Также значимым аспектом электроэнергетики России является то, что существует устаревшее генерирующее оборудование, которое было сооружено еще во время СССР. Так как мощность и электроэнергия стоят недорого, генерирующие компании не имеют желания строить новое оборудование, которое требует больших материальных затрат. Цель работы: выяснить, каковы основные преимущества и недостатки договоров о предоставлении мощности.

Задачами данной работы являются: 1) изучение необходимой литературы по данной теме; 2) выявление основных преимуществ договоров ДПМ; 3) изучение недостатков договоров ДПМ.

Изначально считалось, что отрасль электроэнергетики должна быть реформирована с целью перехода из монополистических отношений в рыночные, дабы повысить инвестиции и эффективность данных отношений. Однако масштабы московской аварии 25 мая 2005 года показали, что необходимо привлекать инвестиции на основе их гарантированного возврата. В тот день электрическое замыкание на подстанции «Чагино» спровоцировало небольшой взрыв, в результате чего подстанция отключилась, за ней отключилась и ТЭЦ-22, затем подачи электрической энергии лишились более 6 миллионов человек

(остановился метрополитен, отключились светофоры и лифты, начался выброс в Москву-реку сточных вод, которые не прошли очистку). Результатом стал переход на долгосрочный рынок мощности, связанный с договорами ДПМ.

Что же такое ДПМ? Договор о предоставлении мощности (договор на поставу мощности) – договор, который регулирует отношения между генерирующими объектами, созданный с целью эффективного и непрерывного доведения электроэнергии до потребителей. Такие договоры заключаются между генерирующими предприятиями на оптовом рынке, покупателями и организациями технологической инфраструктуры. При заключении договора о предоставлении мощности поставщик обязуется выполнить все задачи по строительству и введению в эксплуатацию новые генерирующие объекты. При этом поставщикам возвращается гарантированная сумма в качестве компенсации издержек при строительстве объекта через повышенную стоимость мощности. Важным моментом здесь является то, что невыполнение обязательств по договорам ДПМ оказывает влияние на энергобезопасность страны в целом. Изначально реализовали программу договоров ДПМ-1 [2]. Она была запущена в 2010 году. В основном особое внимание уделялось обновлению ТЭС (тепловых электростанций), ведь они входят в основную часть генерирующих сооружений нашей страны. В период 2010-2020 годы было построено и введено в строй 136 энергоблоков ТЭС, общая мощность которых составила 30 ГВт[4]. Именно благодаря введению программы ДПМ российская энергетика начала переходить на современное и эффективное генерирующее оборудование, а также произошла поддержка увеличения акций генерирующих компаний. За время реализации этой программы было обновлено около 15 процентов мощности энергии в России.

Далее была разработана программа ДПМ-штрих, сейчас это ДПМ-2. Главными аспектами данной программы стали: модернизация и амортизация старого оборудования (причём в отличие от ДПМ-1, новое оборудование должно было исправно работать 15 лет, а не 10); локализация оборудования на уровне 90 процентов и т.п. По плану программа ДПМ-2 будет осуществляться до 2032 года. Планируется, что осуществление данной программы поможет улучшить рентабельность затрат на амортизацию оборудования, а также поднимет финансовые показатели генерирующих компаний[ 4].

Так в чём же основные преимущества и недостатки договоров ДПМ?

Во-первых, снабжение электроэнергией страны по договорам ДПМ способствовало повышению надёжности всей нашей энергосистемы, так как количество регионов с высокими рисками нарушения электроснабжения уменьшилось в 2 раза по сравнению с 2010 годом. Во-вторых, система договоров ДПМ выгодна для строителей генерирующих объектов, потому что им гарантирован возврат издержек, потраченных на строительство и эксплуатацию энергетических объектов[2].

Из недостатков данной системы можно выделить то, что увеличение эффективности новых станций не всегда даёт тот эффект собственнику, который ожидается, так как цены на топливо растут не так быстро, и бывает сложно компенсировать вложения[3].

Таким образом, в данной статье были рассмотрены предпосылки возникновения договоров о предоставлении мощности, а также основные преимущества и недостатки данной системы. Данная программа является эффективной для российской энергетической системы, однако необходимо её развивать дальше.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Оптовый рынок электрической энергии и мощности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.npsr.ru/ru/market/wholesale/index.htm> (дата обращения: 6.03.2023).

2. Программа дпм в энергетике что это [Электронный ресурс]. URL: <https://tulasprav.ru/articles/programma-dpm-v-energetike-cto-eto.html> (дата обращения: 7.03.2023).

3. Лосюгина Р.С., Галеева Р.У. Анализ влияния цены мощности по договорам о предоставлении мощности на стоимость электроэнергии для конечного промышленного потребителя // Научная электронная библиотека Elibrary.ru. Инновации, наука, образование. 2020. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43796682> (дата обращения: 7.03.2023).

4. Программы ДПМ и КОММод в электроэнергетике [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/YF2djj8bSX4fGktK>.



## **АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: БАЛАНС ЭКОНОМИКИ И РИСКОВ В НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ**

Атомная энергетика – это низкоуглеродный источник энергии, который вырабатывает электроэнергию на протяжении десятилетий. Однако он также был окружен спорами из-за связанных с ним рисков, таких как ядерные аварии и захоронение радиоактивных отходов. Несмотря на это, ядерная энергетика получила высокую оценку за ее потенциал в качестве надежного и низкоуглеродного источника энергии для удовлетворения растущих мировых потребностей в энергии. В этой статье мы рассмотрим баланс экономики и рисков, особенно в отношении ядерной энергетике.

Атомные электростанции вырабатывают электричество в результате ядерного деления – процесса, в котором атомы расщепляются для высвобождения энергии. Эта энергия используется для производства пара, который приводит в действие турбины, производящие электричество [1]. АЭС обладают высокой эффективностью и могут работать непрерывно в течение нескольких месяцев или даже лет без перерыва, обеспечивая стабильную подачу электроэнергии в сеть. Более того, атомные электростанции не выделяют парниковых газов, что делает их привлекательным вариантом для стран, стремящихся уменьшить свой углеродный след.

Однако ядерная энергетика не лишена рисков. Наиболее значительный риск, связанный с ядерной энергетикой, — это вероятность ядерных аварий. Самыми серьезными авариями в истории были Чернобыльская авария на Украине в 1986 году и авария на Фукусиме в Японии в 2011 году. Обе аварии привели к значительным выбросам радиоактивных материалов в окружающую среду и имели серьезные последствия для здоровья и окружающей среды. Для предотвращения ядерных аварий на атомных электростанциях предусмотрено несколько уровней мер безопасности. Например, у них есть резервные системы охлаждения активной зоны реактора в случае аварийной ситуации, и они рассчитаны на автоматическое отключение при выполнении определенных условий. Операторы атомных электростанций также проходят тщательную подготовку и подлежат строгому регулированию и контролю [4].

Еще одним из значительных рисков, связанных с атомной энергетикой, является длительное хранение ядерных отходов. Ядерные отходы высокорadioактивны и могут оставаться опасными в течение тысяч лет. Поэтому надлежащее хранение отходов имеет решающее значение для предотвращения их утечки в окружающую среду и причинения вреда людям и дикой природе. В настоящее время они хранятся в специализированных хранилищах над или под землей. Эти объекты предназначены для сбора отходов и предотвращения любых утечек. Однако есть опасения по поводу долгосрочной безопасности этих объектов, поскольку они должны оставаться нетронутыми и изолированными в течение тысяч лет. Стихийные бедствия, человеческий фактор или технологические сбои потенциально могут поставить под угрозу эти хранилища и привести к выбросу радиоактивных отходов в окружающую среду [3]. Для снижения рисков, связанных с долгосрочным хранением, были предприняты усилия по разработке альтернативных решений. Одним из предлагаемых решений является использование передовых ядерных реакторов, которые могут использовать ядерные отходы в качестве топлива. Эти реакторы могут уменьшить количество отходов, требующих длительного хранения, и сделать оставшиеся отходы менее радиоактивными и более простыми в обращении.

Несмотря на эти риски, многие страны продолжают полагаться на ядерную энергетику как на низкоуглеродный источник энергии. Франция, например, производит более 70% своей электроэнергии за счет атомной энергии. Другие страны, такие как США и Китай, также сильно зависят от ядерной энергетики [2]. Атомная энергетика является надежным и низкоуглеродным источником энергии, который может помочь удовлетворить растущие потребности в энергии, одновременно сокращая выбросы парниковых газов.

Экономика ядерной энергетики - еще одно важное соображение. Атомные электростанции требуют значительных капиталовложений, а стоимость строительства и эксплуатации может быть высокой. Однако атомные электростанции имеют длительный срок службы и могут непрерывно вырабатывать электроэнергию, что делает их рентабельными в долгосрочной перспективе. Кроме того, атомные электростанции могут стать надежным источником энергии, что особенно важно для стран, зависящих от импортируемых источников энергии.

Более того, технологические достижения сделали ядерную энергетику более безопасной и эффективной. Разрабатываются новые конструкции реакторов, которые могут работать при более высоких

температурах и давлениях, повышая их эффективность и уменьшая количество образующихся ядерных отходов. Кроме того, новые функции безопасности, такие как системы пассивного охлаждения, могут помочь предотвратить аварии и смягчить их последствия.

В заключение следует отметить, что ядерная энергетика является низкоуглеродным источником энергии, который может помочь удовлетворить растущие мировые потребности в энергии при одновременном сокращении выбросов парниковых газов. Однако ядерная энергетика также сопряжена с рисками, такими как вероятность ядерных аварий и захоронение радиоактивных отходов. Экономика ядерной энергетике также требует тщательного рассмотрения, поскольку атомные электростанции требуют значительных капиталовложений. Несмотря на эти проблемы, многие страны продолжают полагаться на ядерную энергетiku как на источник энергии с низким уровнем выбросов углерода, а достижения в области технологий делают ядерную энергетiku более безопасной и эффективной. В конечном счете, баланс экономики и рисков в низкоуглеродной энергетике необходимо тщательно учитывать при принятии решений о будущем энергетике.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пенионжкевич Ю. Э. Ядерная энергетика //Вестник Международной академии наук. Русская секция. – 2022. – №. S1-1. – С. 69-75.
2. Секачева А. Б. Тенденции, особенности и проблемы развития атомной энергетике Франции //Мир новой экономики. – 2021. – №. 3. – С. 85-96.
3. Новак В. А. и др. Проблемы хранения радиоактивных отходов //Аллея науки. – 2021. – Т. 1. – №. 2. – С. 138-140.
4. Юрин В. Е. и др. Методика комплексного исследования эффективности путей совершенствования АЭС на примере сравнительного анализа автономного водородного энергокомплекса //Труды Академэнерго. – 2020. – №. 2. – С. 77-96.

*Скворцов А.А., Дудинский Т.С.*

*Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Для нефтеперерабатывающей промышленности большое значение имеют качественные характеристики производимых топлив. Все показатели топлив жестко нормируются определенными нормативными документами [1,2] для того, чтобы все производимое топливо являлось универсальным в пределах одного вида и марки и подходило для всех агрегатов.

Одной из самых важных характеристик жидких топлив является плотность. Плотность – это отношение массы к объёму. Значение плотности может меняться в зависимости от температуры. Чем выше температура, тем меньше плотность и наоборот. Показатель плотности для топливных нефтепродуктов определяет европейский стандарт ISO 3675 [3]. Значение плотности необходимо знать для того, чтобы понимать какой резервуар понадобится для нефтепродукта, какой будет средний расход топлива, сколько нефтепродукта можно загрузить в цистерну для транспортировки. Также значение плотности помогает выявить недобросовестных производителей и поставщиков. Ведь некоторые из них разбавляют поставляемый продукт другими более дешевыми фракциями. Например, дизель разбавляют прямогонным бензином, что позволяет поставщикам повысить предельную температуру фильтруемости, значительно удешевить продукт, предать ему эталонный цвет. Но при таком разбавлении очень сильно уменьшается значение плотности, что и является чувствительным индикатором для выявления некачественного топлива.

Необходимо также отметить, что при измерении значения плотности топлив при различных температурах искомое значение приводят к плотности топлива при температуре 15°C, значения которых регламентируется соответствующим нормативным документом [3].

Поскольку плотность можно измерять различными инструментальными способами, то выбор наиболее оптимального из них является весьма важной задачей.

Существует несколько методик измерения плотности топлив.

Наиболее распространенным является способ, регламентированный ГОСТ Р 51069-97 [4], исходя из рекомендаций которого измерение плотности проводят путем помещения топлива в цилиндр с последующим погружением в него термометра и выдержки его в топливе в течение 15 минут. Затем термометр извлекается и в топливо помещается ареометр. После получения постоянства показаний ареометра (рис. 1), фиксируем результат измерения с точностью до 0,5 кг/м<sup>3</sup>. Все вышеперечисленные действия необходимо повторить еще раз.

После получения значения плотности по двум показаниям, топлива из цилиндра выливается и все перечисленные действия с измерением плотности повторяются еще два раза.

Далее находим среднее значение между измерениями и с помощью таблицы приведения плотностей, приводим значение плотности к температуре 15°C [5].

Указанный метод является относительно простым, но, к сожалению, имеет много недостатков.

Во-первых, при измерении температура топлива должна быть не более 24,5°C, следовательно, при высокой температуре в надземных хранилищах в летнее время в южных регионах страны перед измерением топливо необходимо принудительно охлаждать, что занимает дополнительные временные затраты и требует применения холодильного оборудования.

Во-вторых, само испытание будет занимать гораздо большее время, так как четыре испытания необходимые для получения среднего результата занимают суммарно около полутора часов.

В-третьих, поскольку измерения проводятся ручным методом, они заведомо наименее точные, так как в этом случае возможно появление погрешностей не только метода измерения, но проявление так называемого человеческого фактора.

Не смотря на приведенные недостатки, этот метод до сих пор используется в силу своей простоты и относительной точности.

Более современным нормативным документом, регламентирующим действия по определению плотности при помощи ареометра, является ГОСТ ISO 3675-2014 Нефть сырая и нефтепродукты жидкие. Лабораторный метод определения плотности с использованием ареометра [3]. В настоящее время для определения плотности нефтепродуктов можно использовать ареометры, в конструкции которых имеется термометр, способный замерять температуру во время определения плотности.

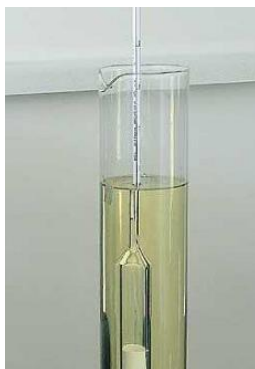


Рис. 1 Ареометрический способ определения плотности топлива и современный ареометр

В настоящее время для определения плотности нефтепродуктов можно использовать ареометры, в конструкции которых имеется термометр, способный замерять температуру во время определения плотности.

Вторым по распространенности является способ определения плотности при помощи пикнометра. Методика определения этого способа была приведена в ГОСТ 3900-85. Несмотря на достаточно большой возраст этого нормативного документа, он на сегодняшний день является действующим [5].

До начала испытания необходимо подготовить используемый в процессе измерения пикнометр – стеклянный сосуд специфической формы с длинным узким горлом и притертой крышкой. Вначале пикнометр промывают обезжиривателем, а затем растворителем, который испаряется полностью, чаще всего для этих целей используют хромовой смесью, дистиллированной водой, а в конце ацетоном или спиртом.

Такую промывку ведут перед калибровкой или при неравномерном смачивании пикнометра жидкостью. Перед повторным испытанием пикнометр промывают бензином или другим растворителем, затем высушивают. Для предотвращения появления статического заряда поверхность пикнометра протирают слегка увлажненным куском ткани. Статический заряд можно снять, если подуть на пикнометр. Устанавливают «водное число» пикнометра, то есть массу воды в объеме пикнометра при температуре 20°C. Далее пикнометр взвешивают, после чего заполняют его испытуемым продуктом с помощью пипетки (рис.2).



Рис. 2 Пикнометр, заполненный нефтепродуктом

Пикнометр закрывают пробкой, погружают до горловины в термостат или баню с температурой  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выдерживают до тех пор, пока уровень испытуемого продукта не перестанет изменяться (как правило не менее 30 мин). После чего его вытаскивают из термостата, дают ему остыть, тщательно протирают, избавляют от статического электричества и взвешивают. Потом по разнице масс с помощью расчётов находят плотность испытуемого нефтепродукта.

Несмотря на высокую точность, этот метод испытаний также имеет определенные недостатки. Первый из таких недостатков – большая трудоёмкость. Второй – взаимодействие с опасными химическими веществам и третий – большое влияние человеческого фактора.

Следует также отметить, что в 2022 году был введен новый нормативный документ, регламентирующий методы определения плотности нефтепродуктов – ГОСТ 3900-2022 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. Методики позволяют определять плотность как ареометрическим, так и пикнометрическими методами, а также имеет большие приложения А и Б в виде таблиц пересчета плотности нефти, нефтепродуктов и смазочных масел при температуре  $t$  в плотность при температурах  $20^{\circ}\text{C}$  и  $15^{\circ}\text{C}$ .

Стандарт ASTM D 4052-18a [7] по сравнению с другими методиками, описанными в вышеприведенных нормативных документах, имеет гораздо меньшую трудоемкость и меньшие затраты по времени, а также высокую точность. При определении плотности на автоматическом цифровом плотномере (рис. 3) его необходимо заранее подготовить. Промыть трубки и ячейку гептаном или другим растворителем, а затем спиртом и откалибровать его по дистиллированной воде. После чего, в ячейку цифрового автоматического плотномера помещают топливо. Важно, чтобы в ячейке с топливом не было пузырьков воздуха. Прибор самостоятельно его охладит и через некоторое время сам высчитает плотность.

Изменение необходимо провести два раза до получения высокой сходимости показаний, полученных при измерении.



Рис. 3 Автоматический цифровой плотномер

Хорошие лабораторные плотномеры определяют плотность с помощью вибрации. Из-за этого они имеют существенный недостаток. Так как некоторые образцы топлива могут содержать механические примеси, например мелкие кусочки металла (от резервуара железнодорожных или автоцистерн), плотномер неправильно определяет плотность или вообще может забиться и постоянно давать неверные показания. Так же к недостаткам этого метода можно отнести высокую стоимость необходимого оборудования (плотномера).

Проведя сравнительный анализ методик можно определить, что максимальная оперативность и точность полученных результатов достигается при использовании методики стандарта ASTM D 4052-18a.

В пользу этой методики свидетельствует и то, что именно ее чаще всего выбирают крупные нефтеперерабатывающие компании. Определенным недостатком этого метода является исключение возможности попадания в прибор механических примесей. Поэтому мы предлагаем внести в метод ASTM D 4052-18a пункт пробоподготовки, согласно которому перед испытанием пробу нефтепродукта следует профильтровать через фильтровальную бумагу, которая должна быть заранее промыта гептаном, высушена в сушильном шкафу и охлаждена до комнатной температуры в эксикаторе.

Предложенный механизм подготовки пробы нефтепродукта позволит повысить точность полученных результатов и практически не изменит время их проведения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. Москва. Российский институт стандартизации. 2021 г. 35 с.



2. ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009). Топливо ДИЗЕЛЬНОЕ ЕВРО. Москва. Стандартиформ. 2014. 11 с.
3. ГОСТ ISO 3675-2014 Нефть сырая и нефтепродукты жидкие. Лабораторный метод определения плотности с использованием ареометра. Москва. Стандартиформ. 2015. 12 с.
4. ГОСТ Р 51069-97 Нефть и нефтепродукты. Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром. Москва. Стандартиформ. 2008. 8 с.
5. ГОСТ 3900-85 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. Москва. Госстандарт 1987 г. 35 с.
6. ГОСТ 3900-2022 Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. Москва. Российский институт стандартизации. 2022. 133 с.
7. ASTM D 4052-18a Стандартный метод определения плотности, относительной плотности и плотности API жидкостей с помощью цифрового плотномера [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.astm.org/> (Дата обращения 3.05.2023 г.)

**УДК 662.753.4**

***Скворцов А.А., Шахова А.В.***

***Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ И ПЛОТНОСТИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

Дизельное топливо (дизель) - это вид жидкого горючего топлива, получаемый в результате крекинга нефти. При разложении нефти дизельная фракция составляет около 25% от общего объема продуктов, температура отгонки находится в диапазоне 200-360°C. Несмотря на то, что дизель в сравнении с бензином, является гораздо менее экологичным видом топлива, его потребительские свойства обеспечивают ему гораздо больший спектр применения, что связано с большей его экономической эффективностью применения.

У дизеля есть ряд важных показателей, которые необходимо обязательно учитывать при выборе его конкретного вида [1].

Первый показатель ПТФ, представляющий предельную температуру фильтруемости. Он позволяет судить о том, подходит ли продукт для использования при пониженных температурах. Особенность дизеля состоит в том, что понижение его температуры

сопровождается выделением парафина, который забивает фильтра топливной системы.

Второй показатель – температура вспышки топлива. От этого показателя зависит успешность его устойчивого горения и удельный расход, причем чем ниже температура вспышки, тем расход топлива больше.

Третий показатель – плотность дизеля. Благодаря плотности можно высчитать массу определенного объема продукта. Это позволяет понимать, какой объем продукта можно загрузить в резервуар хранения топлива или автоцистерну, чтобы добиться заполнения ее номинальной вместимости.

Вязкость является четвертым, важнейшим показателем качества жидких топлив [2]. Вязкость влияет на наполнение топливоперекачивающих насосов и на утечку топлива через зазоры плунжерных пар. С увеличением вязкости топлива возрастают местные сопротивления топливной системы и потери от трения, уменьшается наполнение насоса, что может привести к перебоям в его работе и неполноценной подачи топлива в камеру сгорания.

Низкая вязкость обеспечивают лучшее распыливание топлива, с повышением указанных показателей качества увеличивается диаметр капель и уменьшается полное их сгорание, в результате увеличивается удельный расход топлива, растет дымность отработавших газов. При большом показателе вязкости, насос может не справиться со своей задачей, что приведет к его поломке. Именно по этим причинам показатели дизельного топлива очень жестко регламентируются требованиями ГОСТ 33-2016. В соответствии этому нормативному документу [3] испытания проводятся следующим образом. Чистый, обезжиренный и высушенный стеклянный вискозиметр заполняли топливом до верхней метки. После чего вискозиметр помещали в термостат, нагретый до температуры 40°C и закрепляли его в специальной секции, центрируя при этом с помощью уровня (рис. 1).



Рис. 1 Положение вискозиметра в термостате

В процессе наблюдения отмечают тот момент, когда топливо опустится на дно вискозиметра. Затем при помощи груши через верхнее отверстие вискозиметра поднимали топливо до верхней метки на его корпусе. Время опускания от верхней метки до нижней определяли при помощи секундомера. Определение времени истечения проводили два раза. После этого вискозиметр промывали обезжиривали полностью испаряющимся растворителем и высушивали. Впоследствии выполняли еще два измерения.

Далее в измеренные значения температуры в термостате при частичном погружении контрольного термометра, градуированного на полное погружение, определяли и вносили поправку  $\Delta t$  на выступающий над поверхностью жидкости в термостате столбик жидкости в термометре, рассчитанную по формуле:

$$\Delta t = K * h * (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где:  $K$  – коэффициент, равный для ртутного термометра 0,00016;

$h$  – это значение высоты в сантиметрах между уровнем жидкости в термостате и его верхней частью в вискозиметрах;

$t_1$  – это температура жидкости в термостате,  $t_2$  – это температура окружающей среды.

Определение (расчет) кинематической вязкости производится по формуле, мм<sup>2</sup>/с:

$$\vartheta = C * T \quad (2)$$

где:  $T$  – время истечения, которое измерялось в результате испытания, с учетом температурной поправки;

$C$  – это калибровочная постоянная вискозиметра.

Нормальное значение вязкости для дизельных топлив, регламентированное ГОСТ 33-2016, должно находиться в диапазоне 2-4,5 мм<sup>2</sup>/с.

Понимая, что такое вязкость, как свойство дизеля, каким образом она измеряется и рассчитывается, можно перейти к рассмотрению вероятной взаимозависимости вязкости и плотности.

Для установления взаимозависимости было проведено значительное число испытаний, т.н. статистические испытания. Для их выполнения была использована наиболее распространенная на рынке в летнее время года марка топлива ДТ-Л-К5, сорт С.

Для проведения статистических испытаний были использованы паспорта качества на топлива выбранной марки от различных компаний-поставщиков (табл. 1, 2).

Данные, приведенные в табл. 1 использовались и для построения графиков изменения плотности и вязкости нефтепродуктов различных производителей (рис. 2, 3). Из графиков можно сделать вывод о том, что

при плотности 832,0 кг/м<sup>3</sup> вязкость составляет 2,768 мм<sup>2</sup>/с (опыт 10).  
 При плотности 832,0 кг/м<sup>3</sup> вязкость составляет 2,771 мм<sup>2</sup>/с (опыт 20).  
 При плотности 831,1 кг/м<sup>3</sup> вязкость составляет 2,446 мм<sup>2</sup>/с (опыт 30).  
 При плотности 835,0 кг/м<sup>3</sup> вязкость составляет 2,743 мм<sup>2</sup>/с (опыт 40).  
 При плотности 834,0 кг/м<sup>3</sup> вязкость составляет 2,531 мм<sup>2</sup>/с (опыт 50).

Таблица 1 – Данные паспортов свойств топлив поставщика АО «Транснефть дружба»

Название компании производителя или поставщика	Дата выдачи паспорта	плотность, кг/м <sup>3</sup>	вязкость, мм <sup>2</sup> /с
АО "Транснефть дружба"	07.03.2023	834,9	2,796
АО "Транснефть дружба"	22.01.2023	832,9	2,725
АО "Транснефть дружба"	23.12.2022	835,6	2,954
АО "Транснефть дружба"	05.12.2022	834,6	2,811
АО "Транснефть дружба"	15.11.2022	835,4	2,792
АО "Транснефть дружба"	05.11.2022	831,6	2,729
АО "Транснефть дружба"	11.10.2022	834,3	2,709
АО "Транснефть дружба"	30.08.2022	834,6	2,725
АО "Транснефть дружба"	25.09.2022	832	2,768
АО "Транснефть дружба"	27.09.2022	830,2	2,768
АО "Транснефть дружба"	03.10.2022	831,3	2,766
АО "Транснефть дружба"	16.09.2022	832,2	2,811
АО "Транснефть дружба"	27.09.2022	831,8	2,767
АО "Транснефть дружба"	28.09.2022	830,8	2,701
АО "Транснефть дружба"	01.09.2022	834,7	2,767
АО "Транснефть дружба"	05.09.2022	832,7	2,76
АО "Транснефть дружба"	06.09.2022	832,2	2,789
АО "Транснефть дружба"	21.09.2022	831,9	2,783
АО "Транснефть дружба"	22.09.2022	832	2,771
АО "Транснефть дружба"	01.08.2022	833,5	2,747
АО "Транснефть дружба"	05.08.2022	834	2,765
АО "Транснефть дружба"	05.09.2022	833,1	2,765
АО "Транснефть дружба"	22.08.2022	834	2,764
АО "Транснефть дружба"	29.08.2022	835,2	2,735
АО "Транснефть дружба"	25.08.2022	834,5	2,862
АО "Транснефть дружба"	09.08.2022	834,5	2,534

Таблица 2 – Данные паспортов свойств топлив поставщика АО «Белгороднефтепродукт и ООО «Пром-нефть-сервис»

Название компании производителя или поставщика	Дата выдачи паспорта	плотность, кг/м <sup>3</sup>	вязкость, мм <sup>2</sup> /с
ОА "Белгороднефтепродукт"	15.03.2023	833,6	2,768
ОА "Белгороднефтепродукт"	28.10.2022	832	2,575
ОА "Белгороднефтепродукт"	05.11.2022	831,1	2,446
ОА "Белгороднефтепродукт"	13.08.2022	834,3	2,657
ОА "Белгороднефтепродукт"	30.11.2022	831,5	2,657
ОА "Белгороднефтепродукт"	02.11.2022	831	2,488
ОА "Белгороднефтепродукт"	21.09.2022	832,2	2,648
ООО "Пром-нефть-сервис"	15.08.2022	833	2,539
ООО "Пром-нефть-сервис"	31.03.2023	835	2,734
ООО "Пром-нефть-сервис"	13.03.2023	834,5	2,706
ООО "Пром-нефть-сервис"	20.03.2023	834	2,694
ООО "Пром-нефть-сервис"	27.03.2023	835	2,731
ООО "Пром-нефть-сервис"	21.03.2023	835	2,743
ООО "Пром-нефть-сервис"	27.12.2022	835	2,751
ООО "Пром-нефть-сервис"	27.10.2022	830	2,435
ООО "Пром-нефть-сервис"	14.11.2022	833,5	2,573
ООО "Пром-нефть-сервис"	08.11.2022	831,5	2,472
ООО "Пром-нефть-сервис"	07.11.2022	830	2,497
ООО "Пром-нефть-сервис"	03.10.2022	831	2,419
ООО "Пром-нефть-сервис"	08.09.2022	830,5	2,426
ООО "Пром-нефть-сервис"	08.08.2022	833,5	2,552
ООО "Пром-нефть-сервис"	02.08.2022	833	2,545
ООО "Пром-нефть-сервис"	01.08.2022	834	2,531
ООО "Пром-нефть-сервис"	18.08.2022	833	2,601

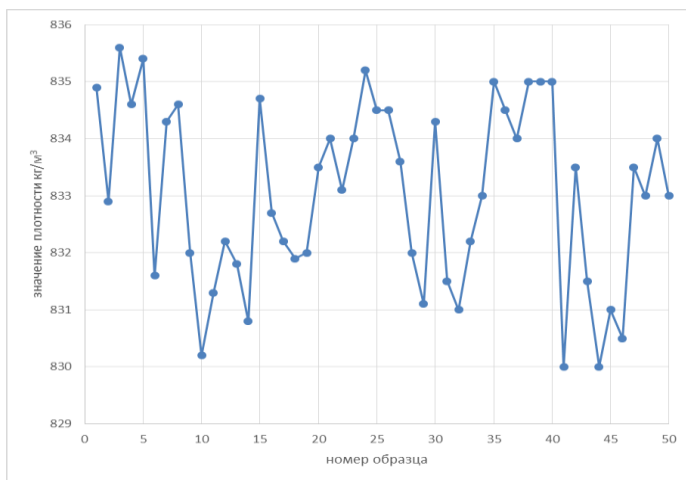


Рис. 2 Колебания значений плотности различных образцов дизеля

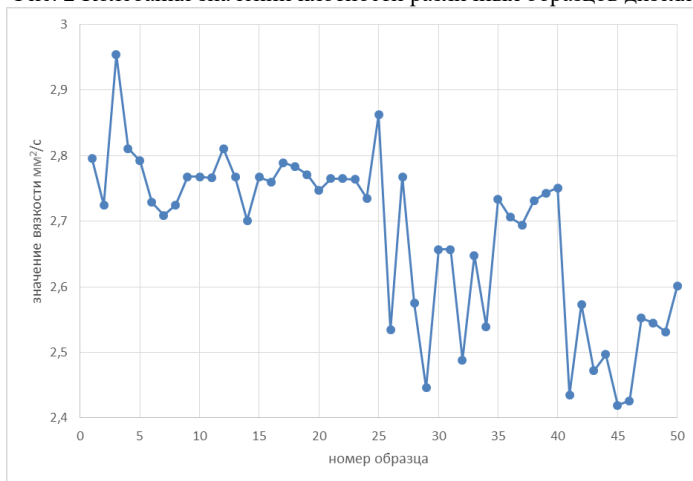


Рис. 3 Колебания значений вязкости различных образцов дизеля

Сопоставляя графики и полученные экспериментальные данные можно увидеть, что показатели плотности и вязкости не зависят друг от друга. Но отсутствие этой зависимости можно доказать не только статистически, но и экспериментально. Для этого топливо разливают в две одинаковые емкости. Одну из них помещают в холодильник, а в другую добавляют присадку увеличивающую вязкость. В первой емкости наблюдается повышение плотности и повышение вязкости, что может быть воспринято, как доказательство наличия между ними

взаимосвязи. Но это не так, потому что вязкость и плотность зависят от температуры и поэтому может наблюдаться их совместное изменение. Во второй емкости наблюдается изменение вязкости, но плотность не изменяется.

Было проведено три измерения вязкости и плотности при разной температуре для ДТ-Л-К5, сорт С от АО "Транснефть дружба". Были получены следующие данные, которые для удобства приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Экспериментально определенные значения свойств дизеля при различной температуре

номер испытания	плотность, кг/м <sup>3</sup>	вязкость, мм <sup>2</sup> /с	температура, °С
1	834,9	2,796	15
2	832,6	2,689	17
3	830,5	2,514	20

На основании и статистического, и экспериментального исследования можно с уверенностью утверждать, что вязкость и плотность не взаимосвязанные показатели, но их значения могут одновременно изменяться, поскольку зависят от такого показателя, как температура.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дизельное топливо. Показатели качества. Основные характеристики и марки. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://studopedia.ru/5\\_128209\\_dizelnoe-toplivo-pokazateli-kachestva-osnovnie-harakteristiki-i-marki.html](https://studopedia.ru/5_128209_dizelnoe-toplivo-pokazateli-kachestva-osnovnie-harakteristiki-i-marki.html) (Дата обращения 3.05.2023 г.)
2. Как вязкость дизельного топлива влияет на работу двигателя? [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://dzen.ru/a/YlkZ5RMf1Rdfn3j2> (Дата обращения 3.05.2023 г.)
3. ГОСТ 33-2016. Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости. Москва. Российский институт стандартизации. 2021 г. 35 с.

## **БИОМАССА КАК ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ**

Биомасса – это органический материал, который может быть использован в качестве источника энергии. Она включает в себя различные формы живых организмов, такие как растения, деревья, водоросли, сельскохозяйственные отходы, лесопroduкцию и даже некоторые виды животных. В современном мире, где проблемы, связанные с изменением климата и истощением природных ресурсов, становятся все более значимыми, биомасса привлекает все большее внимание как альтернативный источник энергии.

Преобразование биомассы в энергию может происходить несколькими способами.

Сжигание. Биомасса может быть сожжена в специальных энергетических установках для производства тепла или электроэнергии. В результате сжигания выделяется тепло, которое затем используется для нагрева воды и производства пара, который запускает турбины, генерирующие электричество [1]. Этот процесс известен как биомассовое сжигание.

Биогаз. Биомасса может использоваться для производства биогаза. Биогаз образуется в результате биологического разложения органического материала под отсутствием кислорода. Этот процесс, называемый анаэробным биологическим разложением, происходит в специальных установках, называемых биогазовыми установками [2]. Биогаз, состоящий преимущественно из метана и углекислого газа, может быть использован для производства тепла или электроэнергии.

Биодизель и биоэтанол. Биомасса может быть превращена в жидкое топливо, известное как биодизель или биоэтанол. Биодизель обычно производится из растительных масел, а биоэтанол - из сахара или крахмала, содержащих растений, таких как кукуруза или тростник. Эти биотоплива могут быть использованы в автомобилях вместо традиционных нефтепродуктов.

Преимущества использования энергии биомассы включают:

1. Возобновляемый источник энергии: Биомасса является возобновляемым источником энергии, поскольку она происходит от растительного и животного материала, который может быть



воспроизведен. В отличие от нефти, угля или природного газа, которые являются конечными ресурсами, биомасса может быть непрерывно производима и использована.

2. Сокращение выбросов парниковых газов: Биомасса является углеродно-нейтральным источником энергии. Во время своего роста растения поглощают углекислый газ из атмосферы, а при сжигании или анаэробном разложении биомассы выделяется только та же количество углекислого газа, которое было поглощено в процессе роста [3]. Это помогает сократить выбросы парниковых газов и ограничить глобальное потепление.

3. Снижение зависимости от ископаемых топлив: Использование биомассы позволяет разнообразить энергетический микс и снизить зависимость от нефти, угля и природного газа. Это особенно важно в контексте энергетической безопасности и сокращения геополитических рисков.

4. Поддержка сельского хозяйства и регионального развития: Производство и использование биомассы может способствовать развитию сельских районов и созданию рабочих мест в сельском хозяйстве и смежных отраслях. Это может иметь положительный экономический и социальный эффект на местное население и улучшить экономическую устойчивость регионов.

5. Использование отходов и сокращение их негативного воздействия: Биомасса может быть произведена из сельскохозяйственных и лесных отходов, пищевых отходов и других органических материалов. Использование этих отходов в производстве энергии позволяет снизить их негативное воздействие на окружающую среду и способствует их переработке и утилизации [4].

Как и при использовании любого другого источника энергии, использование биомассы также может вызывать определенные проблемы:

1. Устойчивость. Для устойчивого использования биомассы необходимо обеспечить ее устойчивое производство. Если биомасса добывается из экосистем без должного учета и бережного отношения к природным ресурсам, это может привести к истощению почвы, сокращению биоразнообразия и ухудшению качества почвы и воды.

2. Конкуренция с продовольственным сектором. Использование определенных типов биомассы для производства биотоплива может вызывать конкуренцию с производством продовольствия. Если плодовые или зерновые культуры используются для производства биомассы вместо продовольствия, это может привести к увеличению цен на продукты питания и недостатку пищевых ресурсов.

3. Выбросы и загрязнение. Некоторые процессы производства энергии из биомассы могут вызывать выбросы парниковых газов и загрязнение окружающей среды, такие как выбросы частиц, дыма или других вредных веществ.

4. Логистика. Для использования биомассы в крупных масштабах необходимы системы сбора, транспортировки и обработки, что может представлять технические и организационные сложности.

Несмотря на эти проблемы, биомасса все равно имеет потенциал как один из возобновляемых источников энергии. При правильном управлении и использовании она может сыграть важную роль в смешанной энергетической системе, снижая зависимость от ископаемых топлив и снижая негативное воздействие на окружающую среду [5].

Таким образом, биомасса представляет собой перспективный источник энергии, обладающий рядом преимуществ. Ее использование способно сократить выбросы парниковых газов, снизить зависимость от ископаемых топлив и способствовать устойчивому развитию. Она также может поддерживать сельское хозяйство, развивать регионы и создавать рабочие места. Однако необходимо принимать во внимание аспекты устойчивого управления биомассой, конкуренцию с продовольственным сектором и минимизацию негативного воздействия на окружающую среду. Развитие технологий и политик, связанных с использованием биомассы, играет ключевую роль в обеспечении ее устойчивого и эффективного использования. При правильном подходе, биомасса может стать важным компонентом смешанной и экологически устойчивой энергетической системы, способствуя переходу к более устойчивому будущему.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беловодский Е.А., Щетинина И.А. Применение биомассы в энергетике // В сборнике: Фундаментальные исследования в естественнонаучной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. С. 6-12.

2. Дебабова В.Г. Биотехнология: свершения и надежды. М.: Мир, 1987. – 411 с.

3. Панцхава Е.С. Биогазовые технологии радикальное решение проблем экологии, энергетики и агрохимии // Теплоэнергетика. - 2001. - № 11. - С. 36-42.

4. Закиров Д.Г. Энергосбережение: учебное пособие. — Пермь: Изд-во «Книга», 2000. – 308 с.

5. Даукаев А.А., Сарсаков М.С., Сулейманова З.И. Традиционные и нетрадиционные источники энергии: исторические и современные аспекты // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук. – 2020. – №1(1). – С. 215-222.

#### **УДК 621.311**

***Солуянов В.И.***

***Научный руководитель: Ахметшин А.Р., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия***

### **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ДЛЯ АГЛОМЕРАЦИИ ГОРОДСКОЙ «Г. МОСКВА – МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ»**

Совершенствование нормативной базы является необходимостью реализации поручений о приведении в соответствие с современными требованиями документов технического регулирования в сфере строительства.

Как отмечено в [1-3] нормативные расчетные значения отличаются от фактических в большую сторону, что привело к экономически неоправданным затратам для строительных компаний при строительстве систем электроснабжения жилых и общественных зданий.

На основании выполненных научно-исследовательских работ (НИР), представленных в [4-6], выявлены региональные признаки, характеризующие уровень электрических нагрузок в жилищном строительстве.

Целью работы являлось на основании проведенных исследований электрических нагрузок многоквартирных жилых домов (МКД) обоснование возможности объединения в единую агломерацию г. Москвы и Московской области с последующей разработкой соответствующих нормативных требований.

Для примера на рис. 1 приведена диаграмма максимального удельного суточного электропотребления МКД исследуемой выборочной совокупности в зависимости от количества эксплуатируемых квартир для г. Москвы (а) и Московской области (б).

На рис. 2 приведена диаграмма максимальной удельной нагрузки квартир для г. Москвы (а) и Московской области (б).

Рис. 1 и 2 демонстрируют схожие величины как максимального удельного суточного электропотребления, так и максимальной удельной нагрузки квартир МКД.

Научная состоятельность выводов базировалась на доказательствах репрезентативности используемых выборок МКД, доказательстве закона нормального вида распределения случайных величин и использовании известных оценок достоверности результатов, присущих нормальному распределению, на уровне 95%.

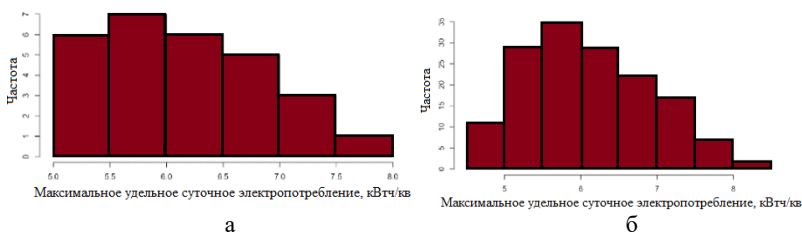


Рис. 1 Гистограмма распределения максимального удельного суточного электропотребления квартир выборки МКД г. Москвы (а) и Московской области (б)

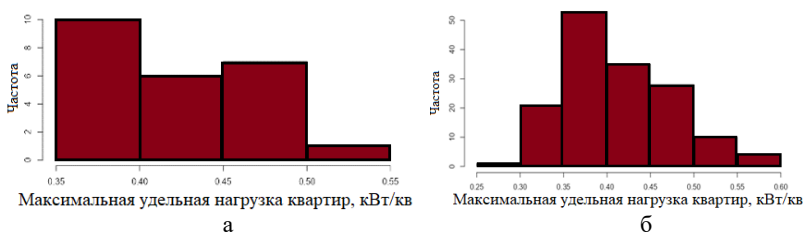


Рис. 2 Гистограмма распределения максимальной удельной нагрузки квартир выборки МКД г. Москвы (а) и Московской области (б)

Важно отметить, что значения удельного электропотребления МКД г. Москвы и Московской области и удельной максимальной электрической нагрузки отличаются в пределах статистической погрешности.

При подготовке изменения № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» (СП) оно должно содержать:

1. Отдельную таблицу 7.1а «Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий для агломерации городской «г. Москва – Московская область», кВт/квартира».

2. Исключение из таблицы 7.5а «Поправочный коэффициент для определения расчетной нагрузки жилого дома для регионов Российской Федерации» г. Москвы и Московской области.

В рамках научно-исследовательской работы также выполнялась актуализация удельных электрических нагрузок МКД г. Москвы и Московской области. Новые значения удельных электрических нагрузок для агломерации городской «г. Москва – Московская область» (рис. 2,б) в сравнение с удельными электрическими нагрузками с учетом поправочного коэффициента 0,81, введенного в СП изменением № 4 (рис. 2,а), представлены на рис. 2.

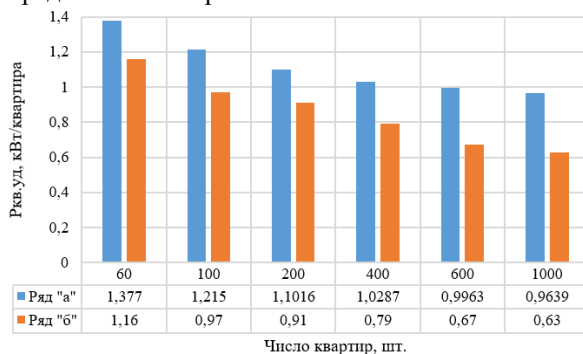


Рис. 3 Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий (а – Изменение №4 СП; б – Изменение №6)

Как видно из рис. 3, нормативные значения удельной расчетной электрической нагрузки для агломерации городской «г. Москва – Московская область» снизились в среднем на 20-30%.

Введение понятия «агломерация» применительно к нормативам удельных электрических нагрузок МКД предложено на основании проведенных исследований, основанных на натурных измерениях величин электропотребления и электрической нагрузки на протяжении двух лет.

После выполнения соответствующих исследований предполагается включение других крупных агломераций.

Актуализация удельных электрических нагрузок квартир для МКД агломерации городской «г. Москва – Московская область» приведет к уменьшению неоправданных затрат на строительство сетей электроснабжения жилых комплексов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Исследование электрических нагрузок многоквартирных жилых комплексов в период распространения новой коронавирусной инфекции // Вопросы электротехнологии. 2021. № 2(31). С. 57-67. EDN OOUAON.
2. Солуянов, Ю.И. Ахметшин А.Р., Солуянов В.И. Актуализация удельных электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 3. С. 47-57. EDN LANQDE.
3. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Анализ фактических электрических нагрузок помещений общественного назначения, встроенных в жилые здания // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 134-147. EDN MBYUSE.
4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.
5. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., др. Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Московской области // Промышленная энергетика. 2022. № 4. С. 20-28. DOI 10.34831/EP.2022.41.57.003. EDN HXYLKK.
6. Солуянов Ю. И., Федотов А. И., Галицкий Ю. Я. и др. Актуализация нормативных значений удельной электрической нагрузки многоквартирных домов в Республике Татарстан // Электричество. 2021. № 6. С. 62-71. EDN RRSRRX.

**УДК 621.3.011**

**Спирин П.В.**

*Научный руководитель: Куликов А.М., ст. преп.  
Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

## ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПУТЬ К УСТОЙЧИВОМУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ БУДУЩЕМУ

Использование искусственного интеллекта в секторе чистой энергетики повышает доступность и обеспеченность в данной области, делая ее более жизнеспособной и экономически эффективной альтернативой традиционным источникам энергии [1].

Возобновляемые источники энергии, включая солнечную, ветровую, гидроэлектрическую энергию и биомассу, составляют около 30% от общего объема электроэнергии, вырабатываемой во всем мире. По состоянию на 2022 год гидроэнергетика является самым распространенным источником возобновляемой энергии в мире, ее установленная мощность превышает 1200 ГВт. Для сравнения, в мире работает более 600000 ветряных турбин, суммарная мощность которых превышает 600 ГВт. Ветровая энергия была самым быстрорастущим источником электроэнергии в мире с темпами роста 15%, в то время как солнечная энергия была самым быстрорастущим источником электроэнергии в США с темпами роста 27%. Китай является крупнейшим в мире производителем солнечной энергии, за ним следуют США и Индия.

Использование искусственного интеллекта (ИИ) в секторе чистой энергетики повышает наличие и доступность данного вида энергии, делая ее более жизнеспособной и экономически эффективной альтернативой традиционным источникам энергии. Вот несколько широких областей, в которых ИИ способствует переходу к чистой энергии.

#### Разведка и планирование

ИИ повышает эффективность и рентабельность обнаружения и добычи чистой энергии. Например, ИИ используется для анализа больших массивов данных со спутниковых снимков, сенсорных сетей и других источников, чтобы определить наиболее перспективные места для проектов по использованию возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветряные электростанции, геотермальные станции и гидроэлектрические плотины. ИИ прогнозирует вероятную эффективность проектов в области чистой энергии на основе таких факторов, как погодные условия, землепользование и наличие ресурсов, что позволяет компаниям принимать более обоснованные решения о том, куда инвестировать средства. ИИ помогает создавать подробные модели гидроэлектрических и геотермальных резервуаров, которые обычно используются для определения наиболее эффективных мест расположения объектов и проектирования эксплуатационной инфраструктуры для наиболее эффективного извлечения чистой энергии [2]. ИИ применяется при планировании размещения и ориентации систем чистой энергии, таких как солнечные батареи и ветряные турбины, для максимизации производства энергии.

#### Оптимизация производительности

Воздействие на окружающую среду чрезмерного использования энергии может быть значительно снижено за счет оптимизации

производительности систем чистой энергии. ИИ используется для оптимизации энергопотребления электромобилей путем прогнозирования наиболее эффективного маршрута к месту назначения [3]. Используя данные о дорожной обстановке и погодных условиях, ИИ регулирует потребление энергии транспортным средством. Кроме того, ИИ оптимизирует зарядку аккумуляторов в электромобилях, предсказывая наилучшее время для зарядки на основе таких факторов, как цены на электроэнергию и ее доступность. В случае солнечных панелей и ветряных турбин ИИ улучшает производительность, предсказывая, когда панели и турбины будут наиболее эффективны, и регулируя угол их наклона, чтобы максимизировать количество солнечного света и ветра, которые они получают. Аналогичное повышение производительности было продемонстрировано в геотермальной энергетике, где ИИ регулирует производительность геотермальных электростанций, регулируя скорость потока геотермального резервуара для максимального производства энергии, обеспечивая устойчивое извлечение тепла с ограниченным воздействием на окружающую среду. Кроме того, ИИ адаптивно управляет расходом теплоносителя и воды для улучшения работы атомных и гидроэлектростанций соответственно.

#### Прогнозирование производства энергии

Для плавного и своевременного энергетического перехода прогнозирование производства энергии является важным инструментом. Это помогает энергетическим компаниям планировать будущее, предсказывая, сколько чистой энергии будет доступно и каким должен быть их энергетический баланс и инвестиции в инфраструктуру. Точное прогнозирование производства чистой энергии может помочь энергетическим компаниям снизить затраты и время простоя, избегая перепроизводства или недопроизводства чистой энергии. ИИ помогает анализировать данные из различных источников, включая прогнозы погоды, спутниковые снимки и сети датчиков, для прогнозирования вероятной производительности источников чистой энергии [4]. ИИ имеет решающее значение для прогнозирования в реальном времени, а также предупреждения технического обслуживания, повышая надежность и предсказуемость источников чистой энергии. ИИ помогает предотвратить простои и гарантирует, что источники чистой энергии работают на максимальной мощности. В целом, использование ИИ в прогнозировании производства чистой энергии повышает точность и надежность прогнозов производства энергии, позволяя энергетическим компаниям принимать более



обоснованные решения относительно своих стратегий перехода к энергетике.

#### Безопасность

ИИ необходим в секторе чистой энергетики для повышения безопасности путем прогнозирования и предотвращения проблем, а также обеспечения своевременного технического обслуживания и реагирования на чрезвычайные ситуации. Например, ИИ используется для мониторинга в реальном времени структурной целостности ветряных турбин и температуры солнечных панелей, чтобы выявить потенциальные проблемы до того, как они приведут к повреждению или выходу из строя. ИИ облегчает своевременное техническое обслуживание и ремонт систем чистой энергии, снижая риск аварий и простоев и повышая общую безопасность [5]. ИИ также используется для прогнозирования вероятности стихийных бедствий, таких как землетрясения и ураганы, и оптимизации реакции на эти события, чтобы минимизировать ущерб для систем чистой энергии. ИИ может предсказывать, когда батареям и другим компонентам потребуется техническое обслуживание или ремонт, что позволяет проводить своевременное обслуживание.

#### Управление отходами и переработка отходов

ИИ регулярно используется для прогнозирования вероятного срока службы систем чистой энергии и оптимизации сроков их вывода из эксплуатации и утилизации. ИИ можно использовать для оптимизации переработки материалов, используемых в системах чистой энергии, таких как солнечные панели, ветряные турбины и гидроэлектрические плотины, путем выявления наиболее ценных материалов в этих системах и определения наиболее эффективных процессов переработки. В сфере обращения с ядерными отходами искусственный интеллект может помочь разработать наиболее эффективные методы хранения и утилизации.

В целом, использование искусственного интеллекта в секторе чистой энергетики способно значительно расширить доступ к возобновляемым ресурсам и снизить зависимость от ископаемого топлива. Это не только полезно для окружающей среды, но и может привести к экономии средств для потребителей и предприятий. Анализируя данные и прогнозируя спрос, ИИ может помочь обеспечить доставку чистой энергии туда, где она больше всего необходима, сокращая потери и расширяя доступ. Это захватывающее время для отрасли чистой энергии, и ИИ, несомненно, сыграет ключевую роль в ее дальнейшем росте и успехе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Купер А. Искусственный интеллект как инструмент развития устойчивых энергетических систем / А. Купер // Сборник материалов конференции "Модернизация энергетики". - Москва: Изд-во "Энергия", 2018. - С. 145-154.
2. Кузнецова Н. А. Применение искусственного интеллекта для повышения эффективности систем энергетики / Н. А. Кузнецова, В. А. Хворостян // Известия высших учебных заведений. Энергетика. - 2018. - Т. 61. - № 8. - С. 59-65.
3. Андреев И. А. Искусственный интеллект в энергетических системах: вызовы и перспективы / И. А. Андреев, А. А. Попов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Электроэнергетика. - 2018. - Т. 11. - № 2. - С. 88-94.
4. Киреев Д. А. Искусственный интеллект в энергетической отрасли: перспективы и вызовы / Д. А. Киреев // Сборник научных статей "Инновации в энергетике". - Москва: Изд-во "Градус", 2019. - С. 9-14.
5. Жиделев А. И. Искусственный интеллект и энергетическая безопасность / А. И. Жиделев, Л. А. Рябинина // Известия Горного университета. - 2019. - № 4(182). - С. 154-158.

*УДК 621.31*

*Степаненко С.О.*

*Научный руководитель: Черникова Т.М., д-р техн. наук, проф.*

*Кузбасский государственный технический университет*

*им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия*

## ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

На сегодняшний день экономическая ситуация в российской энергетике обуславливает необходимость принятия мер по продлению срока службы различных видов электрооборудования.

Одним из ключевых аспектов развития промышленности является наличие качественного ремонтпригодного электрооборудования. Высокая производительность и качество производственных процессов требуют обеспечения непрерывного управления электрооборудованием, в том числе предотвращения аварий и

травматизма в процессе производства.

Электрооборудование представляет собой сложные технические системы, комбинации из различных элементов, каждый из которых выполняет определенную функцию и техническое состояние которых необходимо постоянно контролировать.

Отсутствие подробной и объективной информации о техническом состоянии электрооборудования приводит к его использованию в неисправном состоянии. Как установили на практике, такое использование приводит к значительным потерям в производстве и большим затратам на его ремонт и обслуживание.

Анализ исследований в области аварийных режимов работы электроустановок в горном производстве показал, что основной причиной отказов в электроустановках является несвоевременная диагностика технического состояния. Отказы могут быть вызваны механическими повреждениями оборудования и устройств, недопустимыми рабочими параметрами в элементах электрической сети, нарушением правил технической эксплуатации, а также естественными процессами, такими как износ и старение. Наряду с другими классификациями неисправностей различают неожиданные и ступенчатые отказы электрооборудования [1].

В связи с этим возникает проблема контроля и диагностики электрооборудования.

В данной работе рассмотрены возможные способы диагностики электрооборудования в открытых карьерах.

На сегодняшний день карьеры занимают площадь более 5 квадратных километров и глубиной выемки, которая может составлять более 500м. На таких карьерах выемка ведется одновременно на многих местах, количество которых может быть от 40 до 50, в зависимости от глубины этой выемки и вида экскаватора.

Поскольку горные машины и механизмы располагаются по всей рабочей местности, сеть распределения электроэнергии является очень сложной. Поэтому ко всему горному электрооборудованию необходимо прокинуть воздушные и кабельные линии для подачи электроэнергии, а также необходимо соорудить много подстанций.

Воздушные и кабельные линии прокладывают как вертикально, так и горизонтально по всей рабочей местности [2].

При проведении горных работ необходимо систематическое перемещение выемочных платформ и защитных ограждений, на которых расположено горное электрооборудование и электросети. Чтобы все это прошло успешно нужно выполнить следующие операции:

- 1) необходимо перемещение узловых точек, подстанций,

воздушных и кабельных линий с одного места на другого;

2) переключение кабелей, предназначенных для экскаваторов от одного узла к другому;

3) наматывание, разматывание на барабан или оттягивание кабеля, предназначенного для экскаваторов [3].

Например, диагностика состояния ЛЭП проводится раз в неделю энергетиком и мастером на горном участке и раз в месяц главным энергетиком и главным инженером карьера. Результаты осмотров заносят в соответствующие журналы. Внеплановые осмотры воздушных линий проводятся в случае обледенения, сильного ветра, после снятия защиты линии, после взрывных работ, после грозы.

В результате всех этих проверок проводят подтяжку болтов соединений, проверяют ржавление металлических деталей опор, загнивание деревянных опор, при переносе опор на другое место проверяют заземление, натяжение в оттяжках опор и производится визуальный осмотр изоляторов.

Техническое обслуживание ПП включает в себя ежедневный наружный осмотр горнотранспортным машинистом, ежемесячные проверки под руководством энергетика на месте эксплуатации.

При проведении осмотра станций управления, панелей управления и шкафов на горных машинах важно уделить внимание чистоте и состоянию контактов органов управления и электропроводки. В объем текущего ремонта шкафов и пультов управления входит следующее: визуальный осмотр шкафов, пультов и оборудования, а также их уборка; осмотр видимых повреждений электрооборудования и электропроводки и их устранение: зачистка рабочих контактов, частичная замена изнашиваемых частей оборудования [4].

Системы электроснабжения горнодобывающих предприятий, в том числе подстанции на угольных шахтах, характеризуются частыми аварийными ситуациями. Подстанции расположены непосредственно на краю шахт или карьеров и на значительном расстоянии от диспетчерского пункта, что затрудняет контроль режима работы, отсутствует система технического расчета потребляемой мощности, что приводит к значительным трудностям при устранении неполадок и длительным простоям.

Таким образом, избежать многих проблем при обеспечении безопасности работ и устранения аварий можно при осуществлении на всей рабочей площадке очень строгого контроля над всеми видами электрооборудования, так как оно представляет собой сложные технические системы, у которых условия безопасной эксплуатации зависят от качества элементов, монтажа этого электрооборудования и

его условий эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абзалов, Р.Ф. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий/ Р.Ф. Абзалов, А.Я. Заслов, Л.К. Лисовик. [электронный ресурс] – URL: [https://www.studmed.ru/abzalov-r-f-zaslov-a-ya-lisovik-l-k-elektrooborudovanie-i-elektrosnabzhenie-gornyh-predpriyatiy\\_145d2520e8d.html](https://www.studmed.ru/abzalov-r-f-zaslov-a-ya-lisovik-l-k-elektrooborudovanie-i-elektrosnabzhenie-gornyh-predpriyatiy_145d2520e8d.html) (дата обращения 26.03.2023).

2. Анализ электропотребления на горных предприятиях. [электронный ресурс] – URL: [https://revolution.allbest.ru/physics/01114526\\_0.html](https://revolution.allbest.ru/physics/01114526_0.html) (дата обращения 26.03.2023).

3. Марков, С.И. Электрооборудование и электроснабжение горных предприятий: учебное пособие в 3-х частях./ С.И. Марков// Екибастуз: ЕКИТИ, 2011. – 198 с. [электронный ресурс] – URL: [geokniga.org/...elektrosnabzhenie...predpriyatiy0.pdf](http://geokniga.org/...elektrosnabzhenie...predpriyatiy0.pdf) (дата обращения 27.03.2023).

4. Техническое обслуживание карьерных электроустановок. [электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/7490452/page:10/>(дата обращения 27.03.2023).

**УДК 537.315**

**Тиманов А.А.**

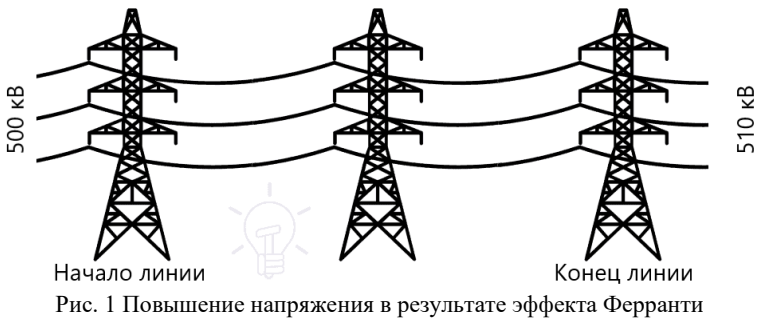
*Научный руководитель: Репкина Н.Г., канд. техн. наук, доц.  
Вятский государственный университет, г. Киров, Россия*

### **ЭФФЕКТ ФЕРРАНТИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ВЛИЯНИЕ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОСТЕЙ**

Все мы знаем, что электричество вырабатывается с помощью огромных генераторов и проходит процедуру отпуска электроэнергии по специальным линиям электропередачи. Но влияет ли длина линии на её надёжность и показатели качества передаваемой электроэнергии?

Эффективность ЛЭП (линии электропередачи) зависит от некоторых явлений, одним из таких весомых эффектов является эффект Ферранти. Это явление подразумевает собой сильное повышение напряжения в конце линии (у нагрузки) по сравнению с её началом (у источника питания) (Рис. 1). Также оно может возникнуть и на кабеле

под малой нагрузкой или её отсутствием. Такое повышение напряжения обусловлено большой реактивной мощностью, которая генерируется самой ЛЭП с помощью её линейной ёмкости.



Эффект Ферранти обычно возникает из-за очень большого зарядного тока, но ещё влиять на него могут три следующих фактора [1]:

- Ёмкость ЛЭП
- Нагрузка в конце ЛЭП
- Частота подачи

Разберём подробнее первый фактор. Токопроводящие элементы линии электропередачи обычно расположены близко друг к другу, что способствует созданию ёмкости между ними. Чтобы лучше понять этот процесс, можно представить кабель как множество последовательно соединённых катушек индуктивности и шунтирующих конденсаторов. Чем длиннее кабель - тем выше ёмкость. Конденсатор генерирует реактивную мощность, которая в свою очередь, течёт к источнику передачи. А индуктивные элементы такой линии потребляют эту мощность на всём протяжении ЛЭП, вызывая при этом падение напряжения, следовательно оно складывается и в конце возникает повышенное значение напряжения.

Из этих слов можно сделать небольшой вывод о том, что величина возрастающего в конце воздушной линии напряжения зависит от протяжённости этой линии (табл 1) [1].

Таблица – Влияние длины линии на эффект Ферранти

Длина	Характер	Эффект Ферранти	Причины
Короткая линия электропередачи (80км)	Резистивный и индуктивный	НЕТ	Короткие ЛЭП имеют очень маленькую ёмкость, из-за чего низкий зарядный ток

			и эффект Ферранти незначителен
Средняя линия электропередачи (от 80 до 160 км)	Резистивный индуктивный и емкостной	ДА	Средние ЛЭП уже имеют большую ёмкость и значительный зарядный ток, что вызывает эффект Ферранти
Длинная линия электропередачи (более 160 км)	Резистивный индуктивный и емкостной	ДА	Длинная ЛЭП является признаком очень большой ёмкости линии и эффект Ферранти на такой ЛЭП наиболее заметен

Второй фактор развития эффекта заключается в нагрузке, подключённой на приёмном конце.

При отсутствии нагрузки, по линии протекает только зарядный ток, который генерирует реактивную мощность, что влияет на повышение напряжения и вызывает эффект Ферранти [2].

При малой нагрузке, зарядный ток линии выше, чем ток нагрузки и он является ведущим, что снова поднимает напряжение в конце линии.

В условиях же полной загрузки ЛЭП, наблюдается следующее: ток нагрузки больше, чем зарядный ток и следовательно, линия потребляет больше реактивной мощности, чем её вырабатывает, поэтому реактивная мощность может быть отрицательной и напряжение в конце ЛЭП может снизиться.

Последний фактор принятый к рассмотрению - это частота подачи. Как известно, реактивная мощность по своей природе появляется только при наличии переменного тока. При постоянном токе реактивной мощности нет. И, следовательно, эффекту Ферранти более подвержена высокочастотная передача энергии, чем низкочастотная.

Эффект Ферранти можно снизить путём установки шунтирующего реактора. Обычно он устанавливается в конце линии. Такой реактор будет потреблять избыточную реактивную мощность, выработанную линией [3].

У емкостного эффекта есть преимущество, а именно улучшение коэффициента мощности, поскольку емкостной ток снижает влияние индуктивного.

Недостатков у эффекта Ферранти больше: возникновение перенапряжений, необходимость более глубокого регулирования

напряжения, снижение эффективности линии электропередачи из-за использования части мощности проводника.

Подводя итоги, можно выделить, что эффект Ферранти – это значительное повышение напряжения в конце линии, которое может привести к пробое изоляции или нарушению работы оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Electrical technology: [Электронный ресурс] URL: <https://www.electricaltechnology.org/2022/10/ferranti-effect.html> (дата обращения: 26.02.23).
2. Халилов Ф. Х. Классификация перенапряжений. Внутренние перенапряжения. Учебное пособие, Издание НОУ “Центр подготовки кадров энергетики” 2012. - 79 с
3. Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. Учебник для вузов / М.П. Соколова, Т.А. Дворецкого, Р.М. Ваничкина, Н.В. Пустошнова. Москва Издательский дом МЭИ, 2007. - 487 с

*УДК 004.67*

*Фатхутдинов А.А.*

*Научный руководитель: Нигматзянова Л.Р., ст. преп.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Энергетика – это одна из самых важных отраслей в мире, без которой невозможно обеспечить нормальную жизнедеятельность всех людей на планете. Однако, электроэнергетика в настоящее время столкнулась с рядом проблем, которые влияют на ее работу и могут оказать серьезное влияние на нашу жизнь.

Первой проблемой, с которой сталкивается электроэнергетика, является ограниченность ресурсов. Изучив тему, можно понять, что энергия — это один из наиболее значимых ресурсов, необходимый для обеспечения развития любой страны. К сожалению, энергетические источники постепенно иссекаются, и спрос на электричество постоянно растет, что приводит к увеличению количества выгоревших электростанций.



В настоящее время большинство энергетических источников получают из ископаемого топлива - угля и нефти. Это не только вредно для окружающей среды, но и дорого. Ситуация осложняется тем, что к нашему времени уровень мирового спроса на энергию вырос на 70%. Индустриальные страны, желающие обеспечить свои хозяйства энергетическими ресурсами, часто используют неосторожное отношение к экологии и ресурсам, что приводит к ухудшению пищевой безопасности региона, а также тому, что люди подвергаются возможным крупным заболеваниям.

Колесо технологического прогресса неумолимо вращается, и энергетические проблемы пока не найдут устойчивого решения. Но их можно, как минимум, заметно облегчить. Для этого необходимы следующие меры:

1. Экономия электроэнергии. Это означает использование эффективных методов энергосбережения, установка в зданиях энергосберегающих систем и средств автоматизации.

2. Использование альтернативных источников энергии. Это означает использование солнечной, ветровой, геотермальной и гидроэнергии.

3. Регулярное обеспечение географических областей энергетическими источниками.

4. Сокращение объема используемого энергопотребления путем изменения потребительских привычек.

В целом, надо понимать, что будущее электроэнергетики находится в наших руках. Необходимо покупать энергосберегающие приборы, вкладывать деньги в грин-энергетику и стараться как можно меньше заставлять электростанции работать на повышенных оборотах. Наши действия могут натолкнуть идеи, которые в будущем станут глобальными изменениями в электроэнергетике.

Второй проблемой является необходимость усиления безопасности. Множество крупных катастроф, таких как Чернобыльская и Фукусимская ядерные аварии, демонстрируют важность безопасности в этой отрасли. Меры, которые принимаются для обеспечения безопасности, увеличивают затраты на производство электроэнергии, что делает ее более дорогой и затрудняет ее доступность для большей части населения. В электроэнергетике безопасность – это один из наиболее важных аспектов работы. Работники электроэнергетики знают, что даже маленькие ошибки на этой сфере могут привести к последствиям, о которых лучше не думать. Поэтому постоянное улучшение систем безопасности – это задача, которая должна быть на первом месте.

Ниже мы рассмотрим несколько способов усиления безопасности в электроэнергетике:

1. Большое значение имеет обучение персонала, который работает в электроэнергетике. Работники должны знать все меры безопасности и процедуры работы, чтобы избежать ошибок и опасных ситуаций. Это может быть просто введение тренинга безопасности, обучение через видео или регулярные инструкции.

2. Современное оборудование играет большую роль в улучшении систем безопасности в электроэнергетике. Из-за того, что на рынке появляются новые технологии, которые обеспечивают дополнительный уровень безопасности, менеджмент должен постоянно следить за нововведениями и обновлять технологию оборудования.

3. Регулярное и техническое обслуживание оборудования – это еще один способ, который позволяет обеспечивать безопасность на рабочем месте.

4. Мониторинг рабочих процессов – это еще один способ снижения рисков. В этом случае мониторинг затронет работу отделов и секторов внутри эксплуатационной компании. Таким образом, процессы можно оптимизировать для улучшения безопасности.

5. Профессиональный подход к выполнению работ – это еще один способ обеспечить безопасность в электроэнергетике. Работники должны обладать профессиональными знаниями, такими как отличное знание инструментов и технологий и способность самостоятельно принимать решения. Такой подход позволит подготовить сотрудников к работе на высоких стандартах безопасности.

Электротехника – это отрасль, где безопасность играет очень важную роль. Только со смесью подходов можно обеспечить надежность всей системы. Использование новых технологий и программирования, непрерывное обучение и профессиональный подход к работам – все это позволит обеспечить максимальную безопасность складчиков и работников.

Третья проблема – это ограниченность передачи электроэнергии в определенных регионах. Эта проблема может быть вызвана различными причинами, включая поломки оборудования, недостаток инвестиций в развитие энергетической инфраструктуры и увеличение потребления энергии.

Существует ряд регионов в мире, где проблема ограниченности передачи электроэнергии стала особенно острой. Например, в Индии, несколько лет назад, проблема была настолько значительной, что некоторые регионы переживали регулярные перебои в электроснабжении, а в некоторых местах просто не было

электроэнергии в течение нескольких часов в день, что приводило к значительным неудобствам для людей, проживающих в этих регионах.

Ограниченность передачи электроэнергии имеет серьезные последствия не только для жителей региона, но и для экономики страны в целом. Нерегулярности в снабжении электроэнергией могут привести к повышению затрат на производство, что в свою очередь приведет к росту цен на продукцию. Это может положительно сказаться на компаниях, работающих в сфере энергетики, но негативно повлиять на другие отрасли экономики и в конечном итоге привести к экономическому спаду.

Для борьбы с проблемой ограниченности передачи электроэнергии, необходимо направить больше инвестиций в развитие сетей энергообеспечения. Это может включать в себя строительство новых электростанций и линий электропередачи, а также модернизацию и улучшение существующей инфраструктуры. Однако это может требовать больших затрат, и многие страны не готовы инвестировать в энергетическую инфраструктуру.

Также для борьбы с ограниченностью передачи электроэнергии могут использоваться новые технологии в области энергосбережения и энергоэффективности, такие как обновление старых оборудований на более энергоэффективные аналоги и улучшение дизайна зданий для снижения потребления энергии. Это может помочь уменьшить общее потребление энергии и в свою очередь снизить нагрузку на систему электроснабжения.

Кроме того, можно использовать альтернативные источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, чтобы уменьшить накладные расходы на энергетику и снизить зависимость от традиционных источников энергии, таких как газ и нефть.

В целом, проблема ограниченности передачи электроэнергии является серьезной проблемой для многих регионов, но с правильными инвестициями и использованием новых технологий может быть решена. Это будет не только улучшать жизнь людей, но и способствовать развитию экономики.

Четвертая проблема – это недостаток инноваций и новых технологий в производстве электроэнергии. В последние несколько лет большинство крупных игроков в энергетике сконцентрировали свои усилия на поддержании старых производственных линий вместо исследования и использования новых технологий для улучшения и оптимизации производственных процессов.

Одной из основных проблем в производстве электроэнергии является снижение эффективности и увеличение затрат на производство.

Существующие технологии, такие как сжигание каменного угля, гидроэнергетика и ядерная энергия, имеют определенные ограничения в производительности, затратах и экологической безопасности, что ограничивает их использование и развитие.

Однако, в последние годы наблюдается растущий интерес к альтернативным источникам энергии, таким как ветровая и солнечная энергия. Но несмотря на значительный прогресс в этих областях, наблюдаются проблемы с охраной окружающей среды, а также с достаточностью производства для удовлетворения спроса на электроэнергию. Помимо этого, проблемой является и сложность в принятии инноваций и новых технологий в производстве электроэнергии. Это связано с высокой стоимостью разработки новых технологий и их относительной низкой эффективностью, а также с отсутствием активной поддержки государственных органов в этой области.

Одним из способов решения проблемы недостатка инноваций и новых технологий в производстве электроэнергии может быть более активная государственная поддержка и финансирование исследований в области альтернативных источников энергии и энергосбережения. Организации, занимающиеся производством электроэнергии, также могут работать на повышение эффективности и экологической безопасности своих существующих процессов.

В заключение, несмотря на проблемы, существующие в производстве электроэнергии, эта отрасль все еще является одной из наиболее важных для дальнейшего развития и процветания нашего мира. Необходимо продолжать принимать меры для повышения эффективности, снижения затрат и разработки инновационных решений, чтобы обеспечить нашу будущую защиту от недостатка энергии.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. М.: Энергоатомиздат, 2008. - 231с
2. Безруких П.П. Роль возобновляемой энергетике в энергосбережении в мире и России // Электрика. - 204.-№ 4-С.3-5.
3. Ушаков В.Я. Возобновляемые и альтернативная энергетика: ресурсосбережение и защита окружающей среды. - Томск: Изд-во "СибГрафикс", 2011. - 137 с.

Фаустова С.А., Васильева Н.А.

Научный руководитель: Саввин Н.Ю., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

## ОСОБЕННОСТИ ЦИКЛОВ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

Паротурбинная установка (ПТУ) — это техническая система, которая используется для производства электрической энергии из тепловой энергии, выделяемой при сгорании топлива в паровом котле. Она состоит из парового котла, турбины, генератора, конденсатора и других вспомогательных систем. Паротурбинные установки широко используются в электростанциях, как на базе традиционных топлив, так и на базе возобновляемых источников энергии.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема ПТУ, которая работает по следующему принципу. Теплота, выделяющаяся при горении топлива в паровом котле (1) и перегревателе (2), передается воде. Полученный пар подается в турбину (3), где происходит преобразование теплоты в механическую работу, а затем в электрическую энергию в электрогенераторе (4). Отработанный пар направляется в конденсатор (5), где отдает тепло охлаждающей воде. Конденсат поступает в питательный бак (7) через насос (6), затем, с помощью питательного насоса (8), он сжимается до давления, равного давлению в котле, и подается через подогреватель (9) в паровой котел (1).

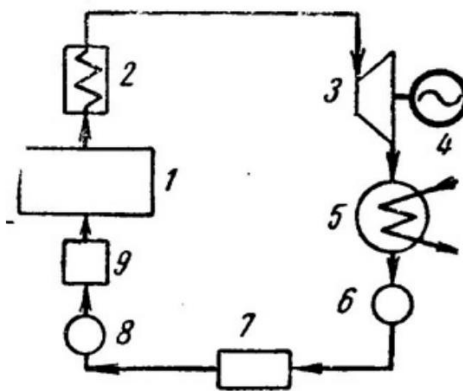


Рис. 1 Принципиальная схема паротурбинной установки

Цикл паротурбинной установки – это термодинамический процесс, который преобразует тепловую энергию, выделяемую при сгорании топлива, в механическую энергию, необходимую для привода генератора электроэнергии.

Циклы паротурбинных установок являются одним из наиболее распространенных и эффективных способов генерации электроэнергии в мире. Однако, как и любая другая технология, у них есть свои особенности и проблемы [1].

Цикл ПТУ состоит из нескольких этапов: подогрев, парогенерация, расширение и конденсация. Эти этапы могут быть организованы различными способами, и каждый из них имеет свои особенности.

Одним из наиболее распространенных циклов является цикл Рэнкина, который состоит из четырех этапов. Подогрев пара происходит в котле, где вода нагревается за счет сжигания топлива. Затем пар проходит через турбину, где расширяется, и его энергия преобразуется в механическую энергию, которая передается генератору. После этого пар охлаждается в конденсаторе, где его тепловая энергия передается охладителю [2].

Цикл Рэнкина имеет несколько преимуществ:

- он является простым и надежным;
- он может использовать различные виды топлива, включая уголь, нефть и газ;
- он имеет высокую эффективность, что означает, что он может генерировать большой объем энергии при небольшом потреблении топлива.

Однако у данного цикла есть и недостатки:

- имеет низкую эффективность в частичных режимах работы, что означает, что при низкой нагрузке он может использовать больше топлива, чем необходимо;
- может иметь высокие выбросы вредных веществ в атмосферу, такие как диоксид углерода, диоксид азота и сернистый ангидрид;
- может иметь высокий уровень шума, который может привести к заболеваниям у людей и животных вокруг установки.

Чтобы преодолеть некоторые из этих проблем, были разработаны другие циклы паротурбинных установок, такие как цикл Брэтона, цикл Каллена и цикл Регенерации.

Цикл Брэтона использует открытую газовую турбину, которая работает на газовом топливе, и закрытую паровую турбину, которая работает на паре. Это позволяет достичь более высокой эффективности и снизить выбросы вредных веществ.

Цикл Каллена использует парогенератор с двойным контуром, который позволяет повысить эффективность и уменьшить выбросы вредных веществ. Цикл Регенерации использует рекуператор, который позволяет использовать отходящий газ для предварительного нагрева входящего в котел воздуха, что также позволяет повысить эффективность.

Несмотря на все эти преимущества, у этих циклов также есть свои недостатки. Например, цикл Брэятона может иметь более сложную конструкцию и требовать более частого обслуживания, чем цикл Рэнкина. Цикл Каллена может иметь более высокую стоимость из-за сложной конструкции парогенератора с двойным контуром. Цикл Регенерации может также иметь более высокую стоимость из-за использования рекуператора [3].

Таким образом, каждый цикл имеет свои особенности и преимущества, которые необходимо учитывать при выборе наиболее подходящего для конкретного случая. Важно также учитывать факторы, такие как стоимость топлива, доступность технологий и экологические требования.

Циклы паротурбинных установок являются важной частью генерации электроэнергии во всем мире. Они имеют свои особенности и преимущества, которые необходимо учитывать при выборе оптимального цикла для конкретного проекта. При выборе цикла необходимо принимать во внимание экологические требования и стремиться к повышению эффективности и снижению вредных выбросов. Современные технологии и новые разработки позволяют создавать более эффективные и экологически чистые паротурбинные установки, что делает этот способ генерации электроэнергии все более привлекательным [4].

Также важно помнить, что паротурбинные установки могут быть использованы не только для генерации электроэнергии, но и для других целей, таких как производство пара для промышленных нужд или использование тепловой энергии для отопления. Это расширяет область применения паротурбинных установок и делает их еще более востребованными.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кириллов И.И., Иванов В.А., Кириллов А.И. Паровые турбины и паротурбинные установки. - Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1978.

2. Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Ахметшин А.Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831. DOI 10.21285/1814-3520-2020-4-821-831.

3. Бродов Ю.М. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок // Ю.М. Бродов К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А. Ниренштейн; под общ. ред. Ю.М. Бродова. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

4. Жуков В.В. Электрическая часть электростанций с газотурбинными и парогазовыми установками. М.: ИД МЭИ, 2015. С.47-48

5. Саввин Н. Ю. Совершенствование конструкции пластинчатого теплообменного аппарата // Международная научно-техническая конференция молодых ученых. — Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. — С. 2240-2244

#### УДК 621.311

*Хабибуллин Б.Р., Маслов И.Н.*

*Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

### **ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Российская Федерация (РФ) стремится к развитию водородной энергетики, это связано с тем, что в ней имеется множество положительных эффектов. В мире существует три основных источника выбросов, способствующих потеплению климата: транспорт, производство электроэнергии и промышленность. Водород может использоваться во всех трех областях.

Водородная энергетика позволит сократить выбросы углекислого газа и других вредных веществ в атмосферу. Прогнозы развития водородной энергетики в РФ предполагают, что к 2030 году водород станет одним из ключевых вариантов для оптимизации энергосистем и повышения эффективности экономики страны.

Наиболее перспективные направления применения водородных энергоносителей в России — грузовой транспорт, погрузочная и строительная техника, энергоснабжение изолированных районов, также



водород может применяться в металлургии и химической промышленности.

До недавнего времени российский опыт промышленного получения водорода основывался на технологиях зарубежных компаний, дающих лицензию, а совместные водородные проекты имели цель экспортировать большие объемы водорода в Японию, Южную Корею и страны ЕС.

В последнее время важнейшим для РФ стало развитие собственных технологий и работа над потребностями рынка внутри страны. К 2030 году в РФ запланирован рост производства низкоуглеродного водорода до 550 тыс. т в год, весь объем которого по плану направится на внутренний рынок.

Развитие водородной энергетики в РФ планируется провести в 3 этапа:

- 1 этап – создание мер поддержки со стороны государства, создание базы законов и документации, необходимой для обеспечения функционирования водородных предприятий и внедрения энергетики водорода в экономику РФ с перспективой выхода на международные рынки.

- 2 этап – серийное и массовое применение водородных технологий в различных отраслях экономики (в том числе нефтехимической, электроэнергетической, химической и металлургической отрасли, жилищно-коммунальном хозяйстве и транспорте).

Также в приоритете увеличение производства и экспорта российского промышленного оборудования, предназначенного для получения водорода из ископаемого сырья, оборудования для содержания, сжижения, передачи водорода и смесей на его основе, топливных элементов, газовых турбин, водородных энергоустановок, робототехники, водородных заправок, водородного транспорта.

- 3 этап – занятие передовых позиции по экспорту водорода и энергетических смесей на его основе, а также промышленной продукции для водородной энергетики в страны Азиатско-Тихоокеанского региона и Евросоюза, и поставщиком техники для обеспечения водородной энергетики на мировой рынок и ее последующей эксплуатации.

На внутреннем рынке РФ прогнозируется широкое применение водорода в сферах транспорта и промышленности.

Уже в ближайшее время РФ планирует создать национальную программу по развитию водородной отрасли в энергетике, которая позволит определиться с важнейшими аспектами и направлениями

развития этой отрасли, а также привлечь инвесторов для внедрения новых технологий.

Однако имеются и сдерживающие факторы. На данный момент развитие масштабных водородных предприятий затрудняется отсутствием инфраструктуры для его хранения и передачи. Традиционно водородные ресурсы в РФ хранились и транспортировались в жидком виде при температурах до  $-259^{\circ}\text{C}$ .

Поэтому в настоящее время в стране разрабатывается проект криогенных контейнер-цистерн для его транспортировки, имеется также ряд готовых решений для перевозки жидкого водорода автомобильным и железнодорожным транспортом.

В заключение можно сказать, что в целом прогнозы развития водородной энергетики в РФ предполагают большой потенциал для роста и развития этого вида энергетики, что позволит в будущем сократить экологические проблемы и обеспечить более эффективное использование энергоресурсов.

Российская водородная энергетика становится востребованной для наиболее дефицитных рынков Азии (Японии, Южной Кореи), а преимущества в логистике могут стать главными аспектами при определении конечной цены продукта.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Международный научный журнал

Альтернативная энергетика и экология. 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035. EDN ZZEXPK.

5. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород, 30 апреля – 20 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 4160-4163. EDN DFRRQF.

6. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 4430-4433. EDN RZFYRH.

**УДК 66.045.53**

**Хазиев И.А.**

*Научный руководитель: Ляпин А.И., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ И БАШЕННЫХ ГРАДИРЕН**

Градири представляют собой сооружения для охлаждения воды в оборотных системах водоснабжения с принудительной подачей воздуха в оросительное пространство с помощью вентиляторов или за счет естественного притока воздуха из атмосферы [1]. Они имеют большое значение в системах отвода тепла от технологической жидкости и передаче его в окружающую среду. Вентиляторные и башенные градири являются наиболее часто используемыми типами градирен. Они широко используются в различных отраслях промышленности, таких как производство электроэнергии, химическая промышленность, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха и др. Стоит отметить, что работа градирен сопровождается потерями, например, тепла рабочих тел. Кроме того, вентиляторные градири потребляют значительное количество энергии. Таким образом, повышение эффективности вентиляторных и башенных градирен является важным направлением в снижении энергопотребления и воздействия на окружающую среду. В работе рассмотрены вопросы, направленные на повышение эффективности вентиляторных и

башенных градирен при их практическом использовании в технологических схемах энергообъектов.

Одним из таких направлений является улучшение формы и профилей лопастей вентилятора и подбора материалов при их изготовлении. Лопастей вентилятора являются важным компонентом вентиляторов градирен. Они отвечают за создание воздушного потока, который охлаждает технологическую жидкость. Следовательно, оптимизация лопастей вентилятора может значительно повысить эффективность градирен. Одним из способов совершенствования функционирования лопастей вентилятора является обеспечение их надлежащей балансировки. Несбалансированные лопасти вентилятора могут вызвать значительную вибрацию, снижающую эффективность градирни. При этом, важно регулярно осматривать и балансировать лопасти вентилятора, чтобы обеспечить их эффективную работу. Еще один способ усовершенствовать лопасти вентилятора – обеспечить их чистоту. Загрязнения и пыль могут скапливаться на лопастях вентилятора, снижая их эффективность. Поэтому очень важно регулярно очищать лопасти вентилятора, чтобы повысить их эффективность.

В вентиляторных градирнях, в которых используется водяное охлаждение, обычно имеет место потери на испарение и капельный унос. Их величина может быть установлена только экспериментально, а обычно принимается в размере 0,2-0,5 % от расхода циркуляционной воды [2]. Использование полимерных водоуловителей различной конструкции позволяет снизить капельный унос до 0,03 % [3]. При полной герметичности обшивки вентиляторной градирни капельный унос через нее не происходит. Примером такой градирни может служить трехсекционная ( $S = 12 \times 18$  м) вентиляторная градирня конструкции Ленинградского отделения ГПИ «Теплоэлектропроект» [4] с обшивкой из железобетонных блоков.

Важным для эффективной работы градирен различного типа является разработка улучшенного дизайна ее башен. Конструкция градирни может оказывать существенное влияние на ее эффективность. Например, конструкция градирни влияет на воздушный поток и скорость теплопередачи. Одним из способов усовершенствовать конструкцию башни является увеличение высоты башни. Более высокая градирня создает больший перепад давления между верхом и низом градирни, улучшая воздушный поток и скорость теплопередачи. Еще один способ улучшить конструкцию башни – увеличить ее диаметр. Градирня большего диаметра обеспечивает большую площадь поверхности для теплопередачи, повышая эффективность градирни.

Применение приводов двигателя вентилятора, с переменной скоростью в конструкции вентиляторных градирен способствует повышению эффективности работы вентиляторов градирен. Преобразователи частоты управляют скоростью двигателя вентилятора, позволяя ему работать на оптимальной скорости для текущих условий эксплуатации. Изменяя скорость двигателя вентилятора, преобразователи частоты могут значительно снизить энергопотребление градирни. Например, в периоды низкой нагрузки преобразователь частоты может снизить скорость вращения вентилятора, что приведет к экономии энергии. Преобразователи частоты также могут снизить износ двигателя вентилятора, продлевая срок его службы.

Управление расходом воды позволяет повысить эффективность вентиляторных и башенных градирен. Расход воды напрямую влияет на скорость теплопередачи градирни. Следовательно, оптимизация расхода воды может значительно повысить эффективность градирни. Для управления расходом воды применяется установка частотно-регулируемого привода на водяной насос. Преобразователи частоты могут регулировать расход воды в зависимости от текущей нагрузки градирни, снижая потребление энергии. Одним из методов регулирования расхода воды – использование регулирующего клапана. Клапаны управления потоком могут регулировать скорость потока воды, гарантируя, что она оптимизирована для текущих условий эксплуатации. Рациональное использование циркуляционной воды позволит в значительной мере сдерживать тенденцию к росту общего потребления воды промышленностью [5].

Применение реагентов для обработки технической воды имеет важное значение в работе градирен. Поскольку водный режим, коррекционная обработка теплоносителя способствует повышению надежности работы градирен. Реагенты, применяемые для обработки воды должны обеспечить удаление примесей из воды, предотвращать образование накипи и коррозии элементов градирни. Накипь может снизить скорость теплопередачи в градирне, снижая ее эффективность, а коррозия привести к сокращению срока службы трубопроводов, водоразбрызгивающих форсунок и сопел градирни, и других ее элементов, в том числе конструктивных. Тип применяемых реагентов зависит от множества факторов: типа и конструкции градирни, ее производительности, источника воды, качества воды, применяемых материалов др.

Регулярное техническое обслуживание градирни имеет решающее значение для обеспечения правильной работы всех ее компонентов.

Важно регулярно осматривать и очищать элементы градирни, включая лопасти вентилятора, конструкцию градирни, систему распределения воды и систему очистки воды и др. Регулярное техническое обслуживание также позволяет выявлять любые ошибки на ранней стадии до того, как они станут серьезной и дорогостоящей поломкой, для ее эксплуатации.

Повышение эффективности вентиляторных и башенных градирен является важным шагом в снижении энергопотребления. Для повышения эффективности градирен можно использовать различные стратегии, включая оптимизацию лопастей вентилятора, улучшение конструкции градирни, установку приводов с регулируемой скоростью, контроль расхода воды, использование химикатов для обработки воды и регулярное техническое обслуживание. Внедряя эти стратегии, предприятия могут снизить потребление энергии и работать более эффективно.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гладков В.А., Арефьев Ю.И., Пономаренко В.С. Вентиляторные градирни. – М.: Стройиздат, 1976.
2. Руководство по проектированию градирен /Госстрой СССР и др. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1980.
3. Пономаренко В.С. Вопросы модернизации градирен //Водоснабжение и санитарная техника. - 1995. - № 8. –
4. В. А. Морозов, П. А. Денисов и А. П. Васильев Ленинградское отделение Всесоюзного государственного проектного института «Теплоэлектропроект», 1970.
5. Системы водяного оборотного водоснабжения промышленных предприятий (обзор) / Сост. П.П. Марков, Н.А. Маркова, А.В. Чапковский. – М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1976.

*УДК 620.9*

*Харитонова Е.А.*

*Научный руководитель: Поляков С.Л., канд. техн. наук, доц.  
Государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

### **РАЗОБЩЁННОСТЬ КАК ГЛАВНАЯ ПРОБЛЕМА РОССИЙСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Российская энергетика является одной из ключевых отраслей экономики страны, обеспечивающей стабильность выполнения всех

прочих видов деятельности. Энергетика должна обеспечивать производство энергии, которая будет питать все предприятия и города. Необходимо создать такую систему, в которой поставки энергии будут постоянными и бесперебойными, ведь иначе невозможно стабильное развитие экономики и страны в целом [1]. В данной работе будут рассмотрены особенности функционирования российской энергетики, ее и возможные пути их решения.

Пожалуй, основной проблемой российской энергетики является разобщённость. Она усложняет работу всей отрасли и вызывает ряд других проблем. Такая ситуация возникла после развала Советского Союза.

Итак, во времена СССР энергетика представляла собой единую систему, которой полностью владело государство [2]. Это позволяло создавать крупные электростанции или восстанавливать те, которые требовали ремонта. Ведь в Советском Союзе хорошо понимали необходимость полной электрификации, которая позволит развиваться экономике в целом. Такой подход к 1932 году позволил достичь суммарной мощности всех энергетических установок в 5360 квт. Это говорит о высокой эффективности централизованного подхода к энергетической отрасли страны.

К сожалению, когда Советский Союз распался, встал вопрос о том, что у всех электростанций, электрических коммуникаций, вышек уже в России должен быть свой владелец. И, поскольку управление такой крупной и сложной системы не могло быть сосредоточено в руках одного владельца, единую систему поделили на отдельные элементы, и присвоили небольшие части этой системы разным владельцам, никак не связанным между собой.

Теперь владение отраслью энергетики не сосредоточено в руках государства, а разделено и принадлежит большому количеству несвязанных людей. Такой подход, хоть и предотвращает возникновение монополии, все же имеет ряд существенных недостатков:

1. Несбалансированное распределение ресурсов. В каждом, даже самом отдалённом регионе, должно хватать электроэнергии на обеспечение всех населенных пунктов и всех производств. Но из-за отсутствия централизованности в энергетической отрасли отдаленные районы России могут быть обделены необходимой энергией. В ключевых городах-миллионниках электростанции могут вырабатывать избыточное количество электроэнергии, тогда как в маленьких населенных пунктах мощности электростанций может не хватать. Таким образом, предприятия, расположенные далеко от столицы, могут

не получать необходимое количество электроэнергии. Это вредит Российской экономике в целом.

2. Отсутствие всеобщей цели. У разрозненных предпринимателей-владельцев энергосетей могут не совпадать цели и методы их достижения. Нет единой цели, к которой стремится вся отрасль в целом. У большинства владельцев цель: получить максимальную прибыль для самого себя, используя любые методы. Такие владельцы могут не быть заинтересованы в улучшении качества сети, установке наилучшего доступного оборудования. Они имеют прибыль с любой сети, и не считают необходимым улучшать качество подконтрольного участка энергетической системы. С таким подходом развитие экономики России практически невозможно. Невозможно всех до единого заставить следовать общей цели и создать единую энергетическую систему, все ресурсы которой были бы направлены на обеспечение эффективности электроснабжения страны [3].

3. Снижение качества оказываемых услуг. При отсутствии централизации в энергетической системе появляется такая проблема как снижение качества услуг. Владельцы участков сети могут выполнять свою работу недобросовестно, не обслуживать сети вовремя, использовать устаревшее оборудование. Могут возникать перебои с поставками электроэнергии, задержки с ремонтом при авариях на участках. Такая проблема может и снизить качество жизни обычных граждан, так и вызвать проблемы у предприятий [4], подключенных к электросети с недобросовестным владельцем.

4. Отсутствие финансирования. Из бюджета государства больше не выделяются деньги на поддержание работоспособности оборудования, на замену устаревших элементов. У владельцев участков энергосети не всегда хватает ресурсов на починку и замену устаревшего оборудования. Это приводит к тому, что в некоторых местах установлены, например, щитки, изготовленные в семидесятых годах. Такие щитки должны были служить около двадцати лет, но работают уже пятое десятилетие. Такое старое оборудование на линиях может представлять большую опасность [5].

5. Отсутствие владельцев у некоторых элементов энергосети. Дело в том, что при делении единой энергетической системы, были выкуплены не все отдельные элементы. Таким образом, в отдаленных населенных пунктах осталось некоторое количество сетей, подстанций, которые не имеют владельца совсем, и никому не принадлежат – даже государству. Никто их не обслуживает, не обновляет оборудование. На эти элементы обращают внимание только при неполадках, при этом за



аварии на таких подстанциях и линиях никто не несёт ответственности, из-за чего возникают сложности с ремонтом.

6. Недостаточное внимание к экологическим проблемам. Немногие предприниматели всерьёз задумываются об уроне, который их производство наносит окружающей среде. И, хотя законодательство России регулирует сбросы и выбросы вредных веществ, иногда этого недостаточно для предотвращения негативных последствий для окружающей среды и здоровья людей. Нерациональное природопользование может истощить природные ресурсы. Для предотвращения негативного воздействия необходимо создать единую стратегию развития российской энергетики, которая бы учитывала экологические аспекты в производстве и обслуживании. Это возможно только в том случае, если государство возьмет контроль над всей отраслью энергетики в России и воссоздаст Единую энергетическую систему.

Также разобщённость косвенно создаёт ещё одну крупную проблему: нехватку кадров. Ранее, когда действовали программы распределения молодых специалистов, работников в энергетической сфере было достаточно, поскольку обучалось на такую профессию большое количество студентов, которым гарантировалось трудоустройство. Сейчас целевые программы, действующие в Российской Федерации, не покрывают потребность отрасли в обеспечении кадрами. Разобщённость в сфере энергетики усугубляет эту проблему: если бы продолжала существовать Единая энергетическая система, количество обучающихся энергетиков регулировалось бы на государственном уровне. Обязательно существовала программа по распределению, направленная на обучение молодых энергетиков и трудоустройство их на электростанции, испытывающие нехватку кадров. Такой подход обеспечил бы достаточное количество мест в высших учебных заведениях для обучающихся на специальность энергетика.

Таким образом, становится ясно, что все проблемы в отрасли энергетики возникают из-за разобщенности. Существует только один путь решения всех этих проблем: объединить управление Российской энергетики в руках государства, выбрать единую цель и стратегию развития. Только так можно исправить все проблемы, возникшие в энергосистеме России за последние десятилетия. Разрозненные предприниматели, владеющие отдельными элементами этой системы, уже не смогут справиться с тем количеством последствий, которые возникли из-за разобщенности Российской энергетики. Только государство может снова создать Единую энергетическую систему [6].

Как только это произойдет – вся экономика Российской Федерации начнет развиваться с удвоенной силой.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Марцинкевич, Б. Л. Энергетика, которая изменила мир / Б. Л. Марцинкевич. — Москва : Наше Завтра, 2022. — 242 с.
2. Быстрицкий, Г. Ф. Основы энергетики / Г. Ф. Быстрицкий. — Москва : Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2005. — 118 с.
3. Миткевич, В. Ф. Электрическая энергия. Как она добывается, как она передается, как она потребляется / В. Ф. Миткевич. — Москва : ЛКИ, 2015. — 314 с.
4. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров. - М.: Форум, Инфра-М, 2014. - 596 с.
5. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика. Учебное пособие / Г. Ф. Быстрицкий. — Москва : Академия, 2005. — 208 с.
6. Федорищева, Е. А. Энергетика. Проблемы и перспективы / Е.А. Федорищева. - Москва: Огни, 2008. - 152 с

*УДК 620.9.008*

*Чесняк А.В., Палиенко Н.И.*

*Научный руководитель: Беловодский Е.А., ст. преп.*

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

Путь решения проблемы альтернативных источников энергии – это важный аспект современной энергетической политики, направленный на поиск и внедрение новых источников энергии, способных заменить традиционные источники, такие как ископаемые топлива, с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду и обеспечения устойчивого развития.

Первым шагом на пути решения проблемы альтернативных источников энергии является развитие научно-технического потенциала в области возобновляемых источников энергии. Исследования и разработки в области солнечной энергетики, ветроэнергетики, гидроэнергетики, геотермальной энергетики и других

видов возобновляемых источников энергии позволяют создавать новые технологии и инновации, способствующие эффективному производству и использованию альтернативной энергии [1].

Другим немаловажным аспектом пути решения проблемы альтернативных источников энергии является регулирование и поддержка соответствующих законодательных и экономических мер, способствующих развитию и использованию возобновляемых источников энергии. Это может включать в себя налоговые льготы, субсидии, стимулы для инвестиций, а также разработку правовых норм и стандартов, регулирующих производство, транспортировку и использование альтернативной энергии.

Также не забудем об образовании и информирование общественности, о преимуществах и перспективах использования возобновляемых источников энергии. Обучение населения, организация информационных кампаний, проведение публичных слушаний и дискуссий способствуют повышению осведомленности и понимания обществом важности перехода на альтернативные источники энергии и их роли в сохранении окружающей среды и обеспечении устойчивого развития.

Развитие инфраструктуры занимает не последнее место в решении проблемы. Оно включает в себя строительство и модернизацию солнечных и ветровых электростанций, гидроэлектростанций, тепловых насосов, энергетических хранилищ, электрической сети и другой инфраструктуры, необходимой для эффективного использования альтернативной энергии.

Глобальные вызовы в области энергетики требуют совместных усилий различных стран и регионов, чтобы найти общие решения и принять согласованные меры по развитию и использованию альтернативных источников энергии [2]. Международные организации, правительства, научные исследователи, бизнес-сообщество и общественные организации должны работать вместе, чтобы обеспечить эффективное сотрудничество в области альтернативной энергетики.

И конечно, необходимо обратить внимание на социальные и экономические аспекты решения проблемы альтернативных источников энергии. Внедрение альтернативных источников энергии может создавать новые рабочие места, способствовать экономическому росту и содействовать социальному развитию в регионах, где развиваются такие источники энергии. Важно обеспечить социальную справедливость и инклюзивность в процессе перехода на альтернативные источники энергии, чтобы никто не остался за бортом и все слои населения могли воспользоваться преимуществами новых

технологий. Вовлечение общественности, повышение осведомленности о преимуществах альтернативных источников энергии, пропаганда и поддержка среди населения могут способствовать более широкому принятию и использованию этих источников энергии [3].

Одним из ключевых подходов является использование солнечной и ветровой энергии. Солнечная энергия получается из солнечного излучения с помощью солнечных панелей, а ветровая энергия - из силы ветра с помощью ветрогенераторов. Технологии в этой области развиваются стремительно, что позволяет снижать стоимость производства и увеличивать эффективность этих источников энергии.

Еще одним важным направлением является развитие гидроэнергетики, основанной на использовании энергии потоков воды. Гидроэнергетические станции могут производить электроэнергию из потоков рек, паводковых вод и других водных источников. Однако для их строительства требуется тщательное изучение экологических последствий и взаимодействия с природной средой.

Также активно исследуются и развиваются другие альтернативные источники энергии, такие как геотермальная энергия (извлечение тепла из земли), биомасса (использование органических отходов для производства энергии) и водородная энергетика (использование водорода как источника энергии). Эти технологии также имеют свой потенциал и могут внести значительный вклад в разнообразие источников энергии [4].

Биомасса может быть использована в качестве альтернативного источника энергии для решения ряда проблем, связанных с энергетикой.

1. Снижение зависимости от ископаемых топлив: Использование биомассы как источника энергии может снизить зависимость от ископаемых топлив, таких как нефть, уголь и газ. Это особенно актуально в контексте изменения климата и необходимости сокращения выбросов парниковых газов.

2. Снижение загрязнения воздуха: Сжигание биомассы может быть более экологически чистым процессом, чем сжигание ископаемых топлив. Он может снижать выбросы парниковых газов и загрязнение воздуха, особенно если используется современное оборудование для сжигания с высокой эффективностью и снижением выбросов.

3. Снижение отходов и повышение устойчивости: Биомасса, такая как сельскохозяйственные отходы и органические отходы пищевой промышленности, может быть использована для производства энергии, что может снизить объемы отходов и содействовать устойчивому использованию природных ресурсов.

4. Поддержка сельского хозяйства и развития сельских районов: Использование биомассы может создавать новые возможности для сельского хозяйства, такие как производство энергетических культур и создание рабочих мест в сельских районах.

Однако стоит отметить, что использование биомассы также имеет свои ограничения и потенциальные негативные последствия, такие как потенциальное влияние на земледелие, конкуренцию за земельные ресурсы, и высокие требования к устойчивости производства биомассы. Поэтому необходимо балансировать преимущества и ограничения использования биомассы в решении проблемы альтернативных источников энергии, и учитывать экологические, социальные и экономические аспекты [5].

В целом, путь решения проблемы альтернативных источников энергии включает комплексный подход, сочетающий технологические инновации, поддержку со стороны правительства и международных организаций, увеличение энергоэффективности и социальное содействие.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Галюжин С. Д. Альтернативные источники энергии / С. Д. Галюжин, А. С. Галюжин, О. М. Лобикова // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2004. – № 1. – С. 165–175.

2. Войткевич Г. В. Происхождение и химическая эволюция Земли / Г. В. Войткевич. – М.: Наука, 1983. – 168 с.

3. Шилов И. А. Экология: учебник для биологических и медицинских специальностей вузов / И. А. Шилов. – М.: Высш. шк., 2000. – 512 с.

4. Галюжин С. Д. Экология и энергетика / С. Д. Галюжин, Д. С. Галюжин, О. М. Лобикова // Вестн. МГТУ. – 2005. – № 1. – С. 27–31.

5. Беловодский Е.А., Щетинина И.А. Применение биомассы в энергетике // В сборнике: Фундаментальные исследования в естественнонаучной сфере и социально-экономическое развитие Белгородской области. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. С. 6-12.

УДК 621.438

*Чуксева А.А.*

*Научный руководитель: Ляпин А.И., канд. техн. наук, доц.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ДОЖИМНЫЕ КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ГТУ**

Современный топливно-энергетический комплекс России занимает особое место в ее экономике. Сюда относится добыча, производство, транспорт энергоресурсов, а также использование топлива энергетическими установками объектов большой и малой энергетики и др. Большую долю в топливном балансе генерирующей тепловой энергетики занимает такой вид топлива, как природный газ. Он является не только источником энергии, но и сырьем, необходимым для производства многих видов химической продукции. При этом добыча газа сопряжена со сложностью технологического процесса, который требует постоянного совершенствования технологии, установок и систем. Применяемое оборудование в сфере газодобывающей и газотранспортной системах нашей страны – это высокотехнологичные установки, требующие тщательного контроля за условиями и параметрами работы, принцип работы которых аналогичен работе газотурбинных установок (ГТУ). В состав большинства газоперекачивающих установок входят различного типа нагнетатели и компрессоры. Компрессорные установки применяются и в составе энергетических ГТУ, парогазовых установок (ПГУ), которые в свою очередь занимают значительную долю среди объектов отечественной теплоэнергетики, и предназначены для генерации электроэнергии. Газотурбинные двигатели различного типа и конструкции могут применяться для привода компрессоров и насосов, а также для технологических процессов промышленных предприятий. В ГТУ применяются компрессорные установки различного типа, например с воздушными компрессорами (для камер сгорания ГТУ) и дожимные компрессоры (применяются в схемах подачи топлива в камеры сгорания ГТУ). В работе рассмотрены особенности и условия применения дожимных компрессорных станций в тепловых схемах ТЭС с ГТУ.

Дожимная компрессорная станция (ДКС) является ключевым элементом в системе транспортировки газа через магистральные газопроводы. Она обеспечивает необходимое давление топлива для подачи его в камеру сгорания и увеличивает энергетический потенциал. ДКС представляет собой комплекс технологического оборудования,

который состоит из нескольких основных элементов: стационарного газопровода, многоступенчатой системы фильтрации газа и очистки, отсечной запорной арматуры, электрифицированной арматуры с поворотной заглушкой, продувочных свечей с пробоотборными точками и штуцеров для подачи продувочного агента, винтовых маслонаполненных компрессоров и др. [1].

Применение системы транспорта и подачи газа в камеру сгорания ГТУ предусматривает подвод газа из магистральной сети газоснабжения через газораспределительный пункт (ГРП) с давлением, обычно составляющим 1,0-1,2 МПа. При этом воздух подается в камеру сгорания за счет работы обычного воздушного компрессора, давление воздуха варьируется в диапазоне от 1,3 до 1,7 МПа [2]. С учетом потерь в газораспределительном пункте ТЭС необходимое давление газа на 0,3-0,5 МПа должно превышать максимальное давление воздуха, направляемого из компрессора в камеры сгорания ГТУ [3]. Если в подводящем газопроводе имеется такое давление, то газ подается в камеру сгорания напрямую с ГРП. Если давление газа недостаточно, то между ГРП и камерой сгорания устанавливают дожимную компрессорную станцию.

Процесс работы ДКС начинается с принятия газа из газопровода и его очистки от примесей и жидкостей. Затем газ поступает в компрессор, который увеличивает его давление. Давление газа, на которое увеличивает ДКС, зависит от требований его транспортировки и может варьироваться. Обычно ДКС увеличивает давление газа до 4-4,5 МПа [4] для его дальнейшей транспортировки по магистральным газопроводам. Однако в конкретных случаях требуемое давление может быть и выше. После прохождения через компрессоры, газ поступает в систему трубопроводов, которая транспортирует его до камеры сгорания. При движении топлива по газопроводу происходит потеря давления из-за разного гидравлического сопротивления по длине трубы. Падение давления вызывает снижение пропускной способности газовой магистрали. Увеличение давления же повышает энергетический потенциал газа и позволяет его более эффективно использовать в качестве топлива. В процессе сжатия газа в компрессоре происходит его нагревание. Чтобы предотвратить повреждение оборудования и сохранить эффективность компрессора, необходимо охладить газ. Для этого может использоваться система охлаждения, которая позволяет снизить температуру газа примерно до 40-50 °С [5] и увеличить его плотность.

Вспомогательные системы ДКС также играют важную роль в удалении примесей и жидкостей из топлива (природного газа). Эти

вещества могут негативно влиять на работу компрессора и приводить к его неисправности. Степень фильтрации от механических примесей и капельной влаги может достигать до 99,98 % [6]. Однако ДКС может оказывать негативное влияние на качество газа. Например, при сжатии газа может происходить его конденсация, что приводит к образованию жидкости и повышению содержания влаги в газе. Это может произойти, если газ охлаждается при сжатии или если влажность газа высокая. Конденсация может привести к образованию воды или других жидкостей, которые могут послужить причиной для коррозии магистральных газопроводов и повреждению оборудования. По этим причинам важно контролировать температуру и влажность газа в системе и принимать меры для предотвращения конденсации, например, установка дополнительных сепарационных и сушильных устройств или использование адсорбентов.

В целях обеспечения максимальной производительности и продолжительного срока эксплуатации компрессора чрезвычайно важно обеспечить соответствующий контроль и техобслуживание системы смазки цилиндров и рамы установки. Для того чтобы обеспечить механическую защиту компрессора, а также общую безопасность при эксплуатации, такие показатели, как давление, температура и вибрация системы должны постоянно поддерживаться в рабочем состоянии. Смазка элементов компрессора обеспечивается с помощью замкнутой системы подачи масла. После циркуляции во внутрикорпусных устройствах компрессора масло охлаждается и фильтруется, а затем возвращается в распределительные блоки смазочного масла. Смазочное масло для компрессоров необходимо для снижения трения и износа движущихся частей, улучшения эффективности работы компрессора и продления срока его службы. Оно также помогает в контроле температуры и предотвращении коррозии внутри компрессора. Выбор правильного смазочного масла для конкретного типа компрессора является важным фактором для обеспечения надежной работы и предотвращения повреждений оборудования. В компрессорах для смазки обычно применяются масла на нефтяной основе или синтетические масла, к которым добавляют улучшающие свойства присадки.

Не менее важной процедурой при запуске газового оборудования является продувка газопроводов при пуске газов. Она необходима для удаления воздуха из системы и заполнения ее газом. Наличие воздуха в газопроводах может привести к снижению эффективности работы газового оборудования, а также к возможным аварийным ситуациям, например, из-за неравномерности процесса горения, появления опасных



пульсаций и возникающих вибраций, и других причин. Продувка газопроводов призвана обеспечить безопасную и надежную работу системы.

Дожимные компрессорные станции энергетических газотурбинных установок обеспечивают требуемые (расчетные) параметры энергоустановкам, с учетом необходимости достижения параметров эффективной работы станции. Независимо от того, насколько показатели эффективности работы достигаются в процессе эксплуатации, необходимо постоянно стремиться к их улучшению. Совершенствование работы ДКС можно осуществлять по следующим направлениям: внедрять современные технологии и материалы для производства компрессорного оборудования, с целью повышения его надежности, безопасности и эффективности; совершенствовать имеющиеся и внедрять прогрессивные программно-технические комплексы и автоматизированные системы управления работой оборудования ДКС в различных режимах его эксплуатации; регулярно проводить техническое обслуживание и проверку состояния компрессорной станции и его оборудования, что должно способствовать предотвращению возможных аварийных ситуаций; проводить обучение и повышение квалификации специалистов, занимающихся эксплуатацией оборудования, в том числе правилам эксплуатации и технического обслуживания дожимной компрессорной станции, которые помогут обеспечить его безопасную работу и другие мероприятия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубков, В.В. Модернизация дожимной компрессорной станции для газотурбинной установки / В.В. Дубков, Е.В. Коновалова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Омск, 25–26 ноября 2021 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 8-13.

2. Цанев С.В. Буров В.Д. Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В. Цанева — М.: Издательство МЭИ, 2002. — 584 с., ил.

3. Рудаченко, А.В. Газотурбинные установки для транспорта природного газа: учебное пособие / А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева-

Национальный исследовательский Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во ТПУ, 2010. - 217 с.

4. Барышев, С. ЭНЕРГАЗ - 10 лет в ТЭК / С. Барышев // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 5(58). – С. 64-68.

5. Осташков, Р.И. Устройство и эксплуатация дожимной компрессорной станции / Р.И. Осташков, Е.И. Смыкал // Актуальные проблемы энергетики - 2021: Материалы студенческой научно-технической конференции, Минск, 25–29 октября 2021 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2021. – С. 683-685.

6. Белов, М.А. Компания ЭНЕРГАЗ: традиции развития в действии / М.А. Белов // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 6(45). – С. 84-87.

**УДК 621.311**

**Шакиров Э.Р.**

**Научный руководитель: Бабиков О.Е., асс.**

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА НА ТЭС**

В современном мире энергетика является одной из важнейших отраслей промышленности, обеспечивающей потребности в энергии для производства и быта. Однако, существующие технологии производства электроэнергии, такие как тепловые электростанции (ТЭС), способствуют значительному выбросу парниковых газов, включая углекислый газ, что приводит к ухудшению экологической ситуации. В связи с этим, разработка и применение современных технологий для улавливания углекислого газа на ТЭС становится все более актуальной и необходимой задачей для сокращения вредных выбросов.

На данный момент существует несколько современных технологий для улавливания углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) на ТЭС, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Одна из таких технологий – мембранная. Эта технология основана на использовании специальных мембран, которые могут пропускать только определенные газы. Мембраны могут быть различных типов, таких как полимерные мембраны, керамические мембраны, металлические мембраны и т.д. При использовании мембранных технологий, уходящие газы пропускают через мембраны,

улавливающие углекислый газ. Таким образом, углекислый газ можно отделить от других газов и использовать его для дальнейшего использования. Мембранные технологии являются относительно дешевыми и эффективными, но имеют свои ограничения в отношении концентрации газа. Например, мембраны не могут эффективно очищать газы с очень высокой концентрацией углекислого газа или в случае, если газ содержит другие компоненты, которые могут повредить мембрану.

К современным технологиям улавливания  $\text{CO}_2$  можно также отнести сжижение углекислого газа (СУГ). Это процесс, в котором углекислый газ сжимается и охлаждается до температуры ниже  $-56,5^\circ\text{C}$ , при которой он становится жидким. СУГ широко используется для утилизации и хранения углекислого газа, также она может использоваться для сжижения природного газа. СУГ является эффективным методом улавливания углекислого газа, так как сжиженный газ занимает гораздо меньший объем, чем газ в атмосфере, что облегчает его транспортировку и хранение. Кроме того, сжижение углекислого газа также позволяет его использовать в различных отраслях промышленности, таких как медицина, производство напитков и пищевой промышленности.

Однако, СУГ является затратной технологией, так как требуется большое количество энергии для осуществления технологических процессов сжижения и специальное оборудование. Кроме того, транспортировка и хранение сжиженного углекислого газа также требуют определенных затрат. В целом, СУГ является эффективным и полезным методом утилизации и хранения углекислого газа, однако его применение ограничено высокой стоимостью и требовательностью к инфраструктуре. Тем не менее, с развитием технологий и улучшением инфраструктуры, СУГ может стать более доступным и широко используемым методом улавливания углекислого газа.

Еще одной технологией, применяемой для улавливания углекислого газа на ТЭС, является аминовая очистка. Она основана на использовании растворов аминов, которые вступают в реакцию с углекислым газом и образуют карбонаты. После этого газ проходит через дополнительную очистку, которая выделяет углекислый газ в виде чистого продукта. Эта технология считается более эффективной, чем сорбционная, так как она имеет более высокий коэффициент селективности и может работать с более высокими концентрациями углекислого газа.

Несмотря на то, что аминовая очистка является эффективной технологией, она также является более затратной, чем сорбционная. Это

связано с необходимостью использования большого количества аминов и затратами на их регенерацию после очистки газов. Также стоит учесть, что процесс регенерации может потребовать дополнительных затрат энергии. Однако, даже с учетом затрат на аминную очистку, она все еще может быть более экономически эффективной, чем другие технологии, такие как сжижение углекислого газа, используемое для транспортировки углекислого газа в другие места для хранения или использования. Поэтому выбор технологии для улавливания углекислого газа на ТЭС должен основываться на комплексной оценке экономических, технологических и экологических факторов.

После того, как каждая из трех технологий очистки углекислого газа была рассмотрена более подробно, можно выделить их основные параметры в таблице ниже (Табл.).

Важно отметить, что конкретные показатели могут различаться в зависимости от условий эксплуатации и конкретных установок. Однако, эта таблица даст общее представление о сравнении разных технологий очистки уходящих газов от углекислого газа.

Таблица – Сравнение основных параметров технологий улавливания CO<sub>2</sub>

Технология очистки	Эффективность очистки	Затратность	Преимущества	Недостатки
Сжижение углекислого газа	90-95%	Высокая	Надежность, высокая эффективность	Высокая стоимость, большие габариты установки
Мембранная технология	85-95%	Низкая	Небольшой размер установки, низкая затратность	Низкая эффективность, снижение производительности со временем
Аминная технология	90-98%	Средняя	Высокая эффективность, возможность использования в широком диапазоне условий	Необходимость периодической замены аминов, затраты на регенерацию и утилизацию стоков

Существует несколько современных технологий улавливания углекислого газа, каждая из которых имеет свои преимущества и

недостатки. Однако, несмотря на различия в технологиях, все они имеют общую цель – снизить уровень выбросов углекислого газа в атмосферу. Выбор оптимальной технологии зависит от конкретных условий и требований проекта, включая объемы выделения углекислого газа, доступность и стоимость сырья, а также экономические и экологические факторы. Кроме того, с развитием технологий, можно ожидать улучшения существующих технологий и появления новых более эффективных и экономически выгодных решений.

В заключение, можно сделать вывод, что улавливание углекислого газа является одной из важнейших задач на современных ТЭС, поскольку это позволяет снизить уровень выбросов в атмосферу и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Herzog Howard, CO capture and storage: Costs and market potential // Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies. — 2005. — Т. 1. — С. 21-28.

2. Pennline Henry, Progress in carbon dioxide capture and separation research for gasification-based power generation point sources / Henry Pennline, David Luebke, Kenneth Jones, Christina Myers, Badie Morsi, Yannick Heintz, Jeffery Ilconich // Fuel Processing Technology. — 2008. — Т. 89. №. 9. — С. 897-907.

3. Merkel Tim, Carbon dioxide capture with membranes at an IGCC power plant / Tim Merkel, Meijuan Zhou, Richard Baker // Journal of Membrane Science. — 2012. — Т. 389. — С. 441-450.

4. D'Alessandro Deanna, Carbon Dioxide Capture: Prospects for New Materials / Deanna D'Alessandro, Berend Smit, Jeffrey Long // Angewandte Chemie International Edition. — 2010. — Т. 49. №. 35 — С. 6058 - 6082

**УДК 614.715**

**Шатило И.А.**

**Научный руководитель: Рыбина А.В., ст. преп.**

*Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## АНАЛИЗ И МОНИТОРИНГ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС

За последние десятилетия задача обеспечения экологической безопасности теплоэнергетических объектов стала одной из основных в отрасли. Существует множество факторов, влияющих на

экологическую обстановку при выработке тепловой энергии, основным из них является выброс вредных веществ при сгорании углеводородного топлива [1]. Первичной задачей при решении проблем экологической безопасности ТЭС и других объектов промышленности является мониторинг выбросов в атмосферу, определяющий экологическую характеристику конкретного предприятия. Поэтому организация систем непрерывного мониторинга вредных выбросов ТЭС в атмосферу является одной из приоритетных задач энергетической стратегии России.

В последние десятилетия развиваются технологии мониторинга экологической обстановки, основанные на использовании современного спутникового оборудования и наземных стационарных методов анализа и контроля, которые расположены непосредственно на предприятии. Такая схема позволяет анализировать данные не по отдельным предприятиям, а по региону, что позволяет оперативно оценивать экологическую обстановку на глобальном уровне в динамическом режиме. Пример использования таких технологий можно увидеть на рис. 1.

Для своевременного контроля и регулирования уровня выбросов существуют системы непрерывного мониторинга выбросов, состоящие из комплекса измерительных устройств установленных непосредственно на объекте и собирающие информацию о концентрации вредных веществ в дымовых газах ТЭС и информационно-аналитического комплекса необходимого для структуризации данных и последующего применения методов регулирования. Применение совокупности этих комплексов и методов регулирования работы ТЭС позволяет не только контролировать экологические параметры работы оборудования, но повысить эффективность работы энергетического оборудования [2].

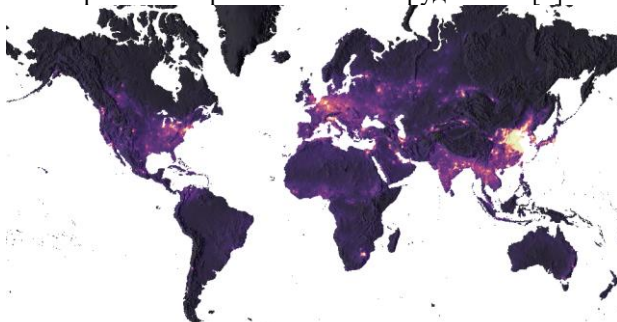


Рис. 1 Средняя континентальная концентрация диоксида азота в тропосфере, март 2019

Система непрерывного мониторинга выбросов (СНМВ) является новейшей технологией измерения и вычисления, которая может быть широко использована не только для контроля и учета выбросов на ТЭС, но также для диагностики рабочих режимов и управления технологическими процессами сжигания топлива в котлах в режиме реального времени. Поэтому внедрение системы мониторинга как части автоматизированной системы управления на котлах ТЭС может помочь поддерживать оптимальные параметры работы оборудования и повысить эффективность станции. Применение такой системы позволяет улучшить технико-экономические показатели оборудования, повысить его надежность и экономичность, сократить выбросы, увеличить устойчивость и эффективность работы энергосистемы.

Для наибольшей эффективности внедрения и применения данной системы используют иерархическую схему распределения функций между составными частями, дифференцируемую на 3 уровня, связывающие измерительную аппаратуру, оборудование ТЭС и региональную энергосистему [3].

Измерительные приборы, оборудование станции и обслуживающий её персонал образует нижний уровень системы непрерывного мониторинга, схема установки оборудования представлена на рис. 2. Нижний уровень обеспечивает:

- Сбор первичных данных;
- Преобразование полученных данных к единому формату
- Контроль и обслуживание измерительной аппаратуры и вспомогательного оборудования.

Средний уровень состоит из группы экологического контроля ТЭЦ (ГЭК ТЭЦ). На этом уровне производится:

- Своевременное управление и упорядочение данных нижнего уровня;
- Хранение информации и работа с базами данных;
- Компиляция отчетности по выбросам ТЭС и расчет штрафов за них;
- Анализ получаемой информации, оценка состояния техники;
- Обмен информацией с вышестоящей организацией;
- Создание текущих и долгосрочных программ для улучшения экологических свойств оборудования;
- Разработка рекомендаций для оптимизации работы оборудования;
- Организация и контроль работы модуля мониторинга на нижнем уровне;

На вершине иерархической структуры находится информационно-

аналитический центр региональной энергосистемы. В его задачи входит:

- Постановка задач и организация работы системы мониторинга;
- Сбор, упорядочение и анализ информации, поступающей со станций среднего уровня;
- Составление статистических отчетов по энергосистеме;
- Координацию функционирования СНМВ;
- Обслуживание запросов руководства и службы энергосистемы;
- Прогнозирование уровней загрязнения окружающей среды;
- Управление потоками информации и базами данных;
- Разработка программ для улучшения экологических показателей энергосистемы;

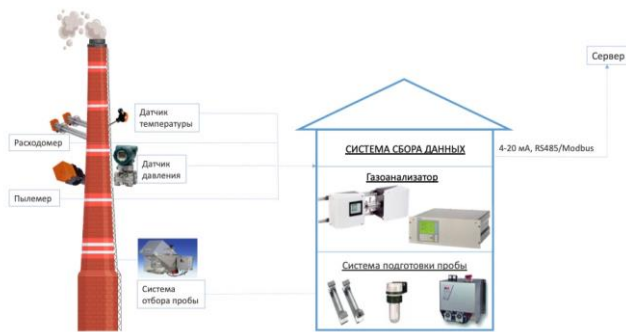


Рис. 2 Структура системы автоматического контроля выбросов.

Для организации непрерывного мониторинга на ТЭС доступны разные опции использования газоанализаторов и сечений газового пути для определения состава ее продуктов сгорания [3]. Возможны три основных подхода к проведению промышленного мониторинга на ТЭС: первый – непрерывный контроль массовых выбросов вредных веществ на дымовой трубе ТЭС; второй – непрерывный контроль концентраций вредных веществ в дымовых газах на каждом котельном агрегате ТЭС; третий вариант – комбинация первых двух подходов. В настоящее время большое количество отечественных предприятий осуществляют разработку и производство приборов и систем промышленного мониторинга дымовых газов для тепловых электростанций. Важнейшей частью организации процесса непрерывного мониторинга газообразных выбросов является выбор газоаналитического оборудования, которое обладает своими собственными параметрами эксплуатации, доступности, ценовой категорией и другими характеристиками. Выбор конкретных газоаналитических систем часто осложняется различными



факторами и параметрами, которые необходимо учитывать для оптимального выбора оборудования [4]. Это задача многокритериальной оценки, так как каждая система имеет свои преимущества и недостатки, а некоторые критерии могут конфликтовать друг с другом. Например, более высокие технические возможности могут усложнять эксплуатацию и увеличивать стоимость системы, что не всегда имеет количественную оценку. Поскольку результаты работы всей системы, её эффективность зачастую напрямую зависят от выбора конкретного оборудования, данному аспекту требуется уделять особое внимание [5].

При грамотном подходе ко всем аспектам создания системы мониторинга создается хороший инструмент не только для экологического надзора, но и для повышения энергоэффективности отечественного производства. Однако работа по созданию такой системы требуют тщательного выполнения технико-экономического обоснования принимаемых решений с учетом особенностей оборудования, условий производства, требований безопасности и удобства обслуживания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грищук, М. Е. Загрязнения атмосферного воздуха и расчет объемов выброса вредных веществ / М. Е. Грищук, О. А. Круглов, В. П. Полуянов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 1. – С. 89-92.
2. Система непрерывного контроля (мониторинга) и регулирования вредных газообразных выбросов ТЭС в атмосферу / П. В. Росляков, И. А. Закиров, И. Л. Ионкин, Л. Е. Егорова, Е. Н. Караикевич // Записки Горного института. – 2003. – Т. 154 – С. 94-96.
3. Особенности исполнения программного компонента по управлению энергетическими ресурсами Белгородской области / П. А. Трубаев, А. В. Буланин, К. Ж. Ширрима, Ю. А. Кошлич // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 350-356.
4. Кондратьева О. Е. Основные подходы к созданию систем мониторинга воздействия ТЭС на окружающую среду // Энергетик. – 2016. – № 12. – С. 32-40.
5. Кожевников, В. П. Экологический аспект в промышленной теплоэнергетике / В. П. Кожевников, К. Ж. Ширрима // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С. 95-103.

## **МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ**

Россия является лидером по количеству и объему систем централизованного теплоснабжения, по разным источникам 67,5...73% теплоты вырабатывается в централизованных системах [1]. Около 45% мировой централизованной генерации тепла располагается в нашей стране. Для доставки тепла потребителям используются комплексы тепловых сетей. Суммарная протяженность труб теплосетей, в двухтрубном исчислении, составляет ~170 тыс. км [2]. Средний нормативный срок эксплуатации трубопроводов теплосетей составляет 25 лет, однако реальный срок часто не соответствует нормативному. Основным фактором, негативно влияющим на срок эксплуатации является ускоренная коррозия металла трубопровода. Проблемы с трубопроводами часто связаны с локальной коррозией, вызванной двухфазной средой. Наибольшую угрозу представляет коррозия наружной поверхности, вызываемая воздействием кислорода, диоксида углерода, сульфатов и хлоридов, а также электрохимическая коррозия под воздействием блуждающих токов от внешних источников.

Для анализа характера эксплуатации трубопроводов и оценки их состояния существуют различные методы технического диагностирования.

### **Тепловая аэросъемка**

Метод тепловой аэросъемки базируется на применении тепловизионного оборудования, для поиска температурных аномалий вдоль линий теплотрасс с высоты от нескольких десятков метров до нескольких сотен. В определённых условиях является наиболее результативным методом диагностики протяженных тепловых сетей, расположенных на открытой местности. Величина выявляемой аномалии зависит от температуры теплоносителя, диаметра и состояния теплопроводов, глубины залегания, физических свойств грунта и метеоусловий на земной поверхности [2].

Помимо анализа состояния самих трубопроводов с помощью тепловизионной аэросъемки можно фиксировать нарушение проектной глубины укладки труб, что будет выражаться линейным характером

распределения температуры вдоль конкретного участка трубопровода. Также важную роль в качественных характеристиках тепловой сети играет тепловая изоляция трубопроводов, наличие повреждений которой хорошо обнаруживается, с помощью данного метода. Пример съемки участка с нарушениями теплоизоляции представлен на рис. 1.

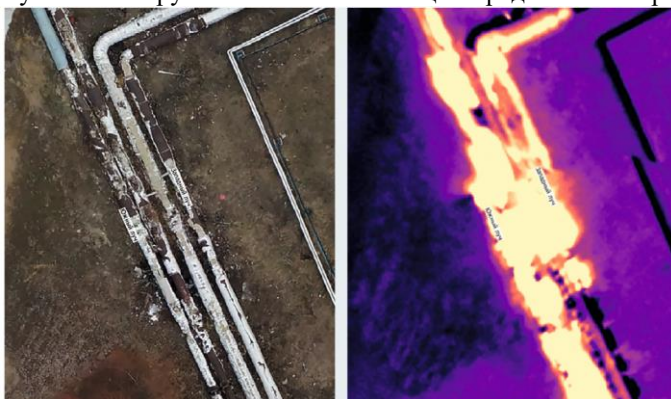


Рис. 1 Наземный участок трубопровода теплосетей с поврежденной теплоизоляцией, представленный в диапазоне видимого света (слева) и ИК (справа)

### Акустическая эмиссия (АЭ)

Метод акустической эмиссии базируется на анализе характеристик акустических волн, порождаемых в результате прохождения среды через исследуемый объект. В качестве источников волн выступает теплоноситель, который движется внутри трубопровода. В зависимости от конкретного дефекта и параметров трубопровода, полученные акустические данные будут отличаться и обладать собственными маркерными характеристиками [3]. С помощью данного метода можно определить такие дефекты как:

- Пластическая деформация трубопровода;
- Разрушение поверхности стенок, трещины;
- Наличие нарушений сварных швов;

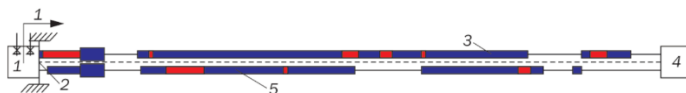


Рис. 2 Схема представления результатов АД.

1 – начало отсчета (0 м – тепловая камера № 4); 2 – неподвижная опора (13 м); 3 – обратный трубопровод; 4 – шурф (148 м); 5 – подающий трубопровод; синим цветом выделены участки с не критическими дефектами; красным – участки с критическими дефектами.

Для проведения диагностики необходимо повысить давление теплоносителя не менее, чем на 10 % от эксплуатационного значения и затем в течение 10 мин произвести запись сигналов. При одном подъеме давления можно продиагностировать около 1 км трубопровода. Схематическое представление акустической диагностики представлено на рис. 2.

### Ультразвуковое сканирование с использованием системы «Wavemaker»

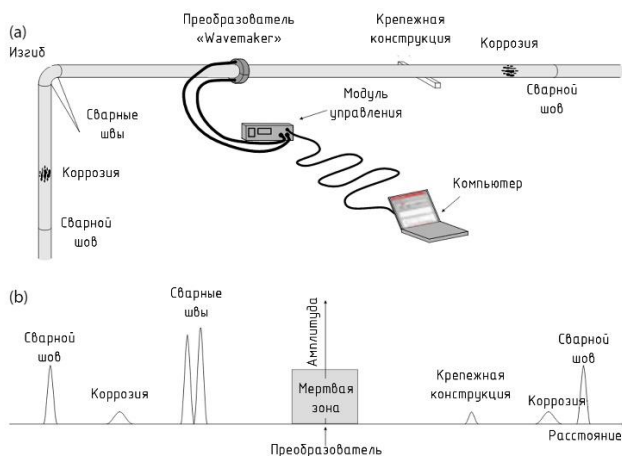


Рис. 3 Схема системы «Wavemaker» в типичной тестовой конфигурации: а – исследуемый участок трубопровода; б – соответствующая диаграмма участку.

Система "Wavemaker" используется для быстрой диагностики трубопроводов с целью обнаружения коррозии и других дефектов на больших расстояниях, и обнаруживает их даже в труднодоступных местах. Технология устроена на анализе ультразвуковых волн, проходящих по материалу трубопровода. Для этого на подготовленный участок трубы, без теплоизоляции, устанавливается преобразователь, создающий направленные волны и считывающий колебания в ультразвуковом диапазоне. Амплитуда колебаний сопоставляется с геометрическим расположением вдоль участка и на основании этих данных делается анализ поверхности трубы. В зависимости от среды внутри трубопровода могут применяться различные типы волн, что позволяет проводить диагностику магистралей различных веществ без

вывода их из эксплуатации с минимальной подготовкой поверхности [4]. Схема работы представлена на рис. 3.

#### **Метод внутритрубной диагностики (ВТД).**

Метод внутритрубной диагностики предполагает помещение в перекачиваемую среду автономного дефектоскопа. Важно отметить, что применение данной методики возможно только на наземных участках теплотрассы. Данный прибор оснащен магнитными датчиками неразрушающего контроля, а также записывающей аппаратурой и автономным источником питания. Преимуществом данного метода является возможность проведения анализа трубных поверхностей, не прерывая рабочий режим, также данный метод наиболее точно позволяет определить реальную толщину стенок трубы во время проведения анализа. [5]

В настоящий момент существует множество способов диагностики трубопроводов тепловых сетей. Повышенный спрос на устройства диагностики способствует появлению новых, более совершенных средств на рынке, благодаря чему конечный потребитель сможет найти средство диагностики согласно своим требованиям. Данные предложения способствуют увеличению срока службы трубопроводов, снижению потерь и предотвращает увеличение гидравлического сопротивления [6]. Разнообразие технических средств позволяет подобрать набор средств и инструментов под каждую конкретную задачу.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Власова А.А. Анализ структуры выработки и потребления тепловой энергии в России / А.А. Власова, П.Н. Тарасюк, П. А. Трубаев // Образование, наука, производство. Белгород: Изд-во БГТУ, – 2015. – С. 1225-1231.

2. Куцев Л. А. Основные проблемы и современное состояние систем коммунальной теплоэнергетики / Л. А. Куцев, Г. Л. Дронова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 3. – С. 24-26.

3. О методах НК, применяемых для диагностики трубопроводов тепловых сетей / Л. В. Поленова, Н. Б. Черновец, Н. В. Иванов, Д. Е. Чуйко // В мире неразрушающего контроля. – 2009. – № 4(46). – С. 25-28.

4. Вальшков И. Л. "Wavemaker" - длинноволновая ультразвуковая система для диагностики и мониторинга трубопроводов / И. Л. Вальшков // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 5(44). – С. 81-83.

5. Шпакович К. Э. Анализ методов внутритрубной диагностики / К. Э. Шпакович // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. В 2-х томах, Тюмень, 21 апреля 2022 года. Том I. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 98-100

6. Кожевников В. П. Методы уменьшения коррозии тепловых сетей / В. П. Кожевников, А. С. Попков // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С. 89-95.

**УДК 621.313.333**

**Шатило И.А.**

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ГАЗИФИКАЦИИ НИЗКОРЕАКЦИОННЫХ УГЛЕЙ**

Сегодня мировое сообщество сталкивается с проблемами, связанными с постоянно растущим потреблением энергии и ограниченностью ресурсов традиционных энергоносителей. В данном контексте одним из важнейших направлений является применение технологий газификации низкорекреационных углей. Обладая большим потенциалом, данные технологии обеспечивают возможность обеспечения нужд промышленности и бытовых потребителей в энергии, а также снижения углеродного следа [1]. В статье будут рассмотрены особенности газификации низкокачественных углей, их влияние на окружающую среду, анализ возможных технологий и обоснование оптимальности их применения в реальной практике.

В России уголь признан важным источником энергии, который обеспечивает около 12% потребности страны в энергосырье. В настоящее время в стране функционирует более 100 угольных электростанций. В рамках программы по повышению энергоэффективности генерирующих предприятий, работающих на угле, а также улучшении их экологических показателей, ставиться ряд задач:

- повышение эффективности использования низкорекреационного угля и снижение количества его недожога;
- уменьшение выбросов окислов серы и азота в атмосферу;

– сокращение себестоимости производства электричества путем уменьшения или полного отказа от использования дорогостоящего топлива для освещения и растопки (сейчас до 20% мазута или природного газа используется для сжигания низкорреакционного угля).

Ввиду того, что Россия обладает колоссальными запасами угля (~150 млрд. т.), технологии позволяющие повысить эффективность применения данного источника энергии уделяется повышенное внимание. В настоящее время многие научно-исследовательские институты и частные корпорации занимаются исследованиями, которые позволят не только наиболее полно использовать энергетический потенциал данного топлива при строительстве новых объектов, но и повысить энергоэффективность и экологичность действующих предприятий, выведя нашу страну в лидеры на данном направлении. Важно отметить, что развитие технологий газификации угля важно не только для энергетической отрасли, но и для химической промышленности [2], позволяя получать широкий спектр готовых продуктов, имеющих стратегическое значение. Рассмотрим актуальные, в настоящее время, технологии газификации.

#### **Внутрицикловая газификация**

Данная технология базируется на использовании газогенератора для переработки твердого угля в газообразное топливо, получая на выходе, так называемый синтез-газ. В процессе газификации основная часть вредных веществ, связанная в угольном сырье, отбирается и может быть использована в химической промышленности для переработки в другие продукты [3]. Очищенный газ при сжигании выделяет на порядок меньше вредных веществ, что позволяет отнести такое топливо к экологически чистым, в отличие от сырья из которого его изготавливают. Несмотря на высокие материальные затраты при производстве такого синтез-газа, в зависимости от характеристик оборудования и сырья, КПД всей установки составляет от 40 до 50%. Схема такой установки представлена на (Рис. 1). Данная технология получила широкое распространения во многих странах, с большой долей угля в энергетическом балансе (до 40%).

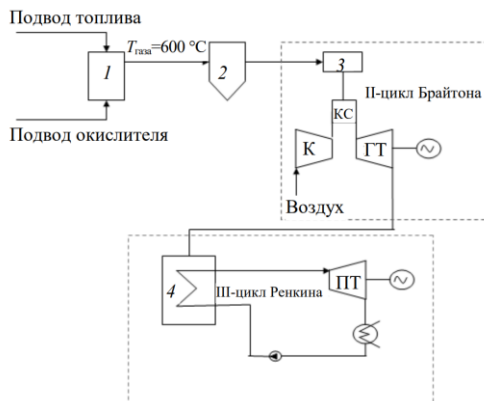


Рис. 1 Принципиальная схема ПГУ с внутрицикловой газификацией:  
 1 – камера газификации; 2 – циклон; 3 – модуль очистки генераторного газа;  
 4 – котел-утилизатор продуктов сгорания после газовой турбины; КС – камера сгорания;  
 К – компрессор; ГТ – газовая турбина; ПТ – паровая турбина

### Предвключенная газификация

Применение данной технологии наиболее подходит для котлов использующих низко реакционный уголь, которым необходимо подсветочное топливо, которое значительно усложняет и удорожает процесс. Устанавливается непосредственно перед пылеугольными горелками. Данная технология основана на производстве газа путем подачи топлива и окислителя в реакционную камеру [4]. Принципиальная схема такой установки представлена на (Рис. 2).

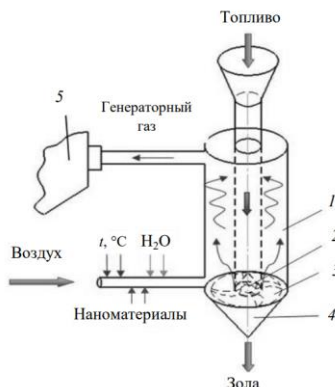


Рис. 2 Принципиальная схема установки предвключенной газификации:  
 1 – камера газификации; 2 – рассекатель потока; 3 – лопастной аппарат;  
 4 – бункер приема золы; 5 – горелка



Пылеугольная смесь попадает в камеру 1, где смешивается с окислителем посредством подачи в реактор потока горячего воздуха. Расход сырья регулируется рассекателем 2, благодаря лопастному аппарату происходит интенсификация процесса. Во время работы установки температура внутри достигает от 500 до 1000 °С. В качестве побочного продукта производства газа остается зола, которая скапливается в бункере 4 и может быть использована для переработки в дальнейшем. Готовый газ подается на горелку 5, смешиваясь с основным топливом. Благодаря температурному режиму работы установки побочные продукты в виде золы не спекаются, что значительно упрощает обслуживание данной установки.

В настоящее время в России нет действующих ПГУ, использующих технологии газификации, перечисленные выше, однако в нашей стране довольно давно развивается технология подземной газификации.

#### Подземная газификация угля

Данный метод был описан еще в 19 в. Д. И. Менделеевым, а реализован впервые в начале 20 в. в СССР, получив достаточно широкое распространение. Основанием его применения является труднодоступность некоторым залежей угля, которые разрабатывать традиционными методами не представляется возможным, ввиду чрезмерных трудозатрат. Данный способ предполагает бурение скважин для подачи кислорода или воздуха насыщенного кислородом с дальнейшим сжиганием пласта угля. Схема такой газификации представлена на (Рис 3).

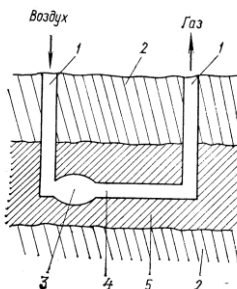


Рис. 3 Схема подземной газификации:

1-вертикальные скважины; 2-порода; 3-очаг горения; 4-горизонтальный штрек; 5-угольный пласт

Технологический процесс требует бурения множества скважин, не только для подачи окислителя, но и для вывода продуктов горения, и

дополнительного регулирования процессом. Полученный таким способом газ необходимо дополнительно обогатить для его применения в промышленных целях, что также удорожает процесс производства. К положительным сторонам данной технологии можно отнести отсутствие подземных работников, что позволяет повысить безопасность труда в сравнении с традиционными методами выработки угольных залежей. В настоящее время данная технология совершенствуется, в результате выработка газа данным способом является одним из самых экологичных и безопасных способов разработки месторождений угля, имеющих сложные горно-геологические характеристики. Деятельность научных разработок на данном направлении также направлена на получение более калорийного топлива, что позволит снизить долю примеси углеводород, которые составляет значительную часть себестоимости готового газа.

В решении задачи высокоэффективного использования низкорекреационного угля на основе технологий газификации, направленной на повышение экологичности угольной генерации и улучшение технико-экономических показателей, заложен колоссальный потенциал для инновационного развития отрасли. Прежде всего, это технологии газификации топлива: ПГУ с внутрицикловой газификацией и предвключенная газификация, которые имеют большой потенциал на территории нашей страны, но еще не получили должного распространения [5]. Реализация комплекса программ по внедрению этих технологий позволит снизить издержки угольной энергетики, а новейшие методы разработки труднодоступных месторождений угля, позволят наиболее полно использовать запасы данного энергоресурса на территории нашей страны, что является важным фактором обеспечения энергетической безопасности. Также ввиду широкого распространения угольной энергетики в некоторых странах (Китай, Индия, ЮАР), данные технологии представляют большой интерес в качестве экспортного товара, поставляемого на мировой рынок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ольховский, Г. Г. Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор) / Г. Г. Ольховский // Теплоэнергетика. – 2015. – № 7. – С. 3-11.
2. Буравчук, Н. И. Мелкозернистый бетон на основе вторичных продуктов сжигания угля / Н. И. Буравчук, А. М. Кондюрин, О. В. Гурьянова // Вестник Белгородского государственного

технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2012. – № 4. С. – 11-14.

3. Рыжков, А. Ф. Анализ работы парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля: Учеб. пособие / А. Ф. Рыжков, П. С. Филиппов, Т. Ф. Богатова. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2019. – 168 с.

4. Газификация угля и ее применение в энергетике / В.С. Пряткина, А.А. Белов, В.В. Иванов и др. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2018. – № 3. – С. 42-47.

5. Разработка низкотемпературных реакторов термохимической конверсии для угольной энергетики / А.Ф. Рыжков, Т.Ф. Богатова, Н.В. Вальцев и др. // Теплоэнергетика. – 2013. – № 12. – С. 47-55.

**УДК 574.56**

**Шатило И.А.**

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АККУМУЛЯЦИИ ЭНЕРГИИ**

Проблема хранения энергии в данный момент является приоритетной для всех отраслей энергетики. Отсутствие методов эффективного сохранения полученной энергии особенно негативно влияет на развитии экологически чистых альтернативных способов её получения из возобновляемых источников энергии, таких как гидроэнергетика, ветроэнергетика, гелиоэнергетика. Проблема таких источников энергии в их нестабильном режиме производства энергии, такие факторы как сезонность, смена суток, изменения метеорологических условий и другие неконтролируемые человеком факторы, не позволяют обеспечить гарантированное поступление энергии потребителям от таких источников [1].

**Метод расплава солей.** Данный способ применяется для аккумуляирования остаточной тепловой энергии на солнечных электростанциях, использующих гелиоконцентратор. Применяются различные смеси солей [2]. Расплавленная соль хранится в специальных изолированных резервуарах для хранения. Жидкая соль перекачивается через панели солнечного коллектора, где сфокусированная солнечная энергия нагревает ее до 500-600 °С. После этого расплав перекачивается в другую “горячую” емкость для хранения. Такой раствор в специальных резервуарах способен эффективно сохранять тепловую

энергию в течении недели. В случае недостатка вырабатываемой электроэнергии, горячий расплав солей перекачивается в парогенератор для производства пара и запуска турбогенераторной установки.

**Получение метана и водорода из ВИЭ.** Этот новый оригинальный способ сохранения полученной энергии из энергии ветра и фотоэлектрических систем, в данный момент считается одним из наиболее перспективных. Суть метода в том, что избыток электроэнергии в часы с низким ее потреблением, используют для расщепления воды на водород и кислород при помощи электролиза. Комплекс синтеза метана представлен на рис.1. Водород, в свою очередь, с диоксидом углерода синтезируют в метан [3]. Предполагается, что технология позволит производить метан высокой чистоты для последующей закачки в газовые сети.



Рис. 1 Комплекс синтеза метана из ВИЭ

**Супермаховики.** До недавнего времени идея использовать в качестве накопителя энергии маховики, представляла собой сугубо научный интерес и дальше лабораторных исследований такие разработки не уходили. Однако в условиях высоких цен на энергоносители и упора энергосистемы на ВИЭ, данная технология является перспективной для изучения и реализации на отдельных рынках [4]. Принципиальная схема конструкции таких агрегатов представлена на рис. 2. На стальном валу маховика расположен ротор обратной электрической машины — мотора-генератора на постоянных магнитах, который и раскручивает маховик, запасая энергию, или отдает ее, вырабатывая электрический ток, при подключении нагрузки. Такой типа накопителя можно использовать на всех установках, преобразующих механическую энергию.

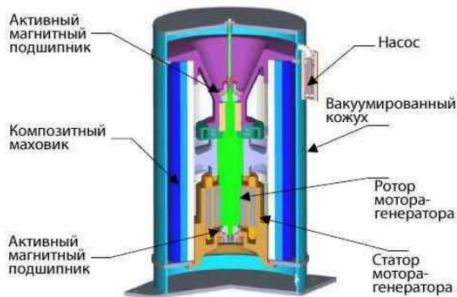


Рис. 2 Устройство маховика-накопителя

**Энергия сжатого воздуха.** Менее распространенный, но достаточно перспективный метод предлагает использовать сжатый воздух в качестве аккумулятора энергии. Такой способ предполагает использование избытка электроэнергии от ВИЭ на сжатие и закачку воздуха, а в пике энергопотребления и недостатке собственной мощности, подавать сжатый воздух на турбину, тем самым компенсируя нестабильность выработки электроэнергии. Однако, такой метод является довольно дорогостоящим, не позволяет сохранять большое количество энергии, а срок хранения такой энергии позволяет использовать его только в качестве буфера для стабилизации мощности в коротких промежутках времени.

#### **Гидроаккумулирующие электростанции.**

Основной задачей гидроаккумулирующих электростанций является покрытие дефицита электроэнергии в пиковые часы. ГАЭС работает совместно с основными атомными и тепловыми электростанциями. В часы низкого потребления, вырабатываемая энергия используется на ГАЭС для аккумуляции, в пиковое же время аккумулированная энергия покрывает дефицит генерации основных электростанций. Благодаря этому уменьшается необходимость изменения мощности на тепловых и атомных электростанциях.

Принцип действия ГАЭС основан на ее работе в двух режимах: насосном и турбинном.

Во время низкого потребления (обычно в ночное время), для того чтобы не снижать мощность электростанций, вырабатываемая энергия идет на гидроагрегаты ГАЭС для перекачки воды из нижнего бассейна в верхний на высоту от нескольких десятков метров.

При возникновении дефицита электроэнергии в утренние и вечерние часы, гидроагрегаты ГАЭС переходят в турбинный режим и производится сброс воды с верхнего бассейна. Используя энергию

потока воды для вращения турбины, соединенной с генератором, вырабатывается энергия, покрывающая пиковые потребности. Для реализации данной схемы работы используются обратимые гидроагрегаты, которые могут выполнять функцию насоса или турбины [5].

**Электрохимические системы аккумулирования энергии** накапливают энергию в электрохимической (химической) форме, и это наиболее используемое устройство для хранения энергии из всего их многообразия. По сути, для компактных систем аккумулирования электроэнергии сегодня нет альтернативы. Различают три основных типа химических (электрохимических) источников тока: первичный гальванический элемент, который необратимо преобразует химическую энергию в электрическую, вторичный или перезаряжаемый элемент (аккумулятор), также отдельно рассматривают топливные элементы, которые выделяются тем, что имеют внешнюю подпитку химическими веществами для протекания реакции. Для создания устройств необходимой емкости и напряжения отдельные ячейки электрохимических элементов объединяют в единую батарею. Реакция в таких батареях также является обратимой, что позволяет производить зарядку извне, при исчерпании заряда. Сравнение различных электрохимических аккумуляторов приведено на рис. 3.

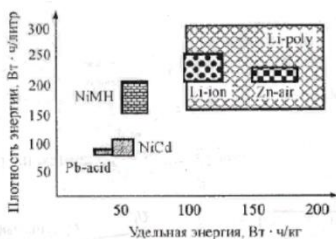


Рис. 3 Удельная энергия и плотность энергии различных электрохимических аккумуляторов

Ниже приведена сравнительная таблица методов аккумуляции.

Таблица – Сравнительная характеристика основных методов аккумуляции энергии

Параметры	Система			
	Аккумулятор	ГАЭС	Сжатый воздух	Супермаховик
Эффективность, %	70	75	85	90

Энергоемкость, Вт·ч/кг	150	–	–	300
Количество циклов	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>
Жизненный цикл, лет	3–5	20	20	20+
Время заряда	ч	ч	ч	мин
Выходная мощность	средняя	очень высокая	очень высокая	высокая
Стоимость	низкая	очень высокая	очень высокая	высокая
Масштабируемость	высокая	низкая	низкая	высокая
Экологические проблемы	средние	высокие	средние	низкие

Исходя из данных сравнения, можно говорить о том, что в настоящее время применение технологий аккумуляции энергии возможно на широком спектре генерирующих установок, в зависимости от поставленной задачи и масштабов реализации. Также по результатам анализа можно сделать вывод, что технологии аккумуляции энергии имеют перспективы для внедрения, как в качестве пиковых компенсаторов традиционных установок, так и для поддержки ВИЭ, имеющих нестабильную генерацию. Однако количество издержек и дороговизна оборудования, на данный момент времени, не позволяют перейти к повсеместному применению данных технологий.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров, А.А. Мировая энергетика и Евразийское энергетическое пространство. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 315 с.
2. Елакина, А. В. Анализ тепловых схем аккумулирования теплоты / А. В. Елакина, Д. В. Выборнов // Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 357-362.
3. Куцев, Л. А. Теоретическое описание процесса анаэробной ферментации в биогазовых установках / Л. А. Куцев, Д. Ю. Суслов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 227-230.
4. Соколов, М. А. Сравнительный анализ систем запасаения энергии и определение оптимальных областей применения современных супермаховиков / М. А. Соколов, В. С. Томасов, Р. Р. Jastrzębski // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – № 4(92). – С. 149-155.
5. Хакимуллин, Б. Р. Гидроаккумулирующие электростанции /

УДК 621.313.333

*Шатило И.А.*

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖКХ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Повышение энергоэффективности является одной из важнейших задач в современном мире. Одной из главных проблем, стоящих перед топливно-энергетическим комплексом России, является энергосбережение. В последние 20 лет, благодаря развитию энергетики и улучшению использования ресурсов, энергосбережение сделало ценный вклад в экономический рост, обеспечивая до 60% его роста. Использование системных мероприятий позволило уменьшить энергопотребление стран мира на 18%, а в развитых – до 25%. В России огромный потенциал для инвестиций в энергосбережение, исследования показывают, что российское потребление энергии для промышленности превышает аналогичные уровни в других странах на 40-220%. Потенциальная экономия составляет 24,2 млрд. долларов США в год при использовании энергоэффективных технологий.

Это особенно актуально для объектов ЖКХ, которые потребляют значительную долю электроэнергии. Решение данной проблемы возможно с помощью использования частотных преобразователей [1], которые позволяют существенно снизить расходы на электроэнергию и повысить срок службы оборудования. В данной статье рассматриваются принципы работы частотных преобразователей и их применение для повышения энергоэффективности на объектах жилищно-коммунального сектора.

На текущий момент для контроля заданных значений рабочих параметров на объектах ЖКХ используются три метода регулирования [2] производительности насосов и воздуходувок, которые включают в себя:

а) дросселирование – ограничение потока жидкости путем перекрытия трубопровода задвижками, заслонками или другими электромеханическими устройствами;



б) старт-стопное каскадное регулирование подачи группы насосов, и старт-стопное регулирование одним насосом с использованием накопительных емкостей для создания необходимой подачи.

Эти методы устарели, так как энергия, используемая для давления воды на механическую преграду в трубопроводе, не используется эффективно, а также из-за быстрого износа механических заслонок и задвижек из-за их циклического использования. Кроме того, из-за грубости механической системы и нелинейной зависимости подачи жидкости от сужения трубопровода, точно выставить определенную подачу практически невозможно.

В настоящее время большинство машин и механизмов работают за счет электрической энергии, используя силу электроприводов, которые потребляют более 65% всей электроэнергии [3]. Однако, из-за роста тарифов на электричество, компании и организации вынуждены искать способы уменьшения расходов на энергию. Стоимость электроэнергии, потребляемой электродвигателем, значительно превосходит его собственную стоимость, поэтому необходимо сокращать нерациональный расход ресурсов с помощью новых технологий.

В основе технологии лежит использование инвертера [4], благодаря которому можно изменять характеристики тока подаваемого на обмотку электродвигателя, благодаря становиться возможным управление частотой вращения электродвигателя, его плавный запуск и останов, изменение направления вращения.

Применение ЧП позволяет экономить в среднем до 40% электроэнергии, в сравнении механическими регуляторами. Кроме того, увеличивается общий срок эксплуатации и надежность оборудования, благодаря исключению пусковых токов, которые крайне негативно влияют на оборудование, особенно при периодическом характере использования электродвигателя [5].

Преимущества ЧП следующие.

1. Регулируемая скорость: Один из самых важных преимуществ частотных преобразователей заключается в том, что они могут изменять скорость двигателя, обеспечивая эффективность работы.

2. Энергоэффективность: Частотные преобразователи могут существенно снижать потребление электроэнергии.

3. Увеличение срока службы оборудования: Включение двигателей происходит плавно, стабильно и без перегрузок, что со временем приводит к увеличению срока службы двигателя и уменьшению расходов на обслуживание.

4. Гибкость и точность управления: частотные преобразователи обеспечивают точное управление скоростью двигателя.

5. Защита оборудования: Частотные преобразователи могут предотвратить повреждение оборудования, благодаря защите от перегрузок, коротких замыканий и низкого уровня напряжения.

6. Меньший шум: Частотные преобразователи уменьшают шум и вибрации, которые возникают при работе двигателя, что способствует повышению комфорта на производстве и уменьшению затрат на звуковую защиту.

7. Возможность контроля производственных процессов: Частотные преобразователи позволяют анализировать данные и управлять производственными процессами, что помогает повышать эффективность работы оборудования и повышать общую производительность.

8. Уменьшение нагрузки на электрическую сеть: Частотные преобразователи помогают регулировать потребление электроэнергии, что сокращает нагрузку на сеть и уменьшает затраты на поддержание стабильности напряжения.

Проведем сравнение дроссельного регулирования и регулирования методом изменения частоты вращения на примере насоса Д-200-95. В (Табл. 1) представлены данные по подаче и мощности для двух методов регулирования.

Таблица 1 – Регулирование насоса Д-200-95

Подача, м <sup>3</sup> /ч	Дроссельное регулирование		Регулирование изменением частоты вращения	
	Степень закрытия вентилей, %	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт
$Q = 75$	0,8	7,59	1428	7,20
$0,95Q = 71,25$	2,5	7,36	1385	6,49
$0,90Q = 67,5$	4,5	7,13	1343	5,83
$0,85Q = 63,75$	6,7	6,91	1302	5,23
$0,8Q = 60$	9,2	6,7	1260	4,67
$0,75Q = 56,25$			1220	4,16
$0,7Q = 52,5$			1190	3,79
$0,65Q = 48,75$			1154	3,37

Как видно из (Рис 1) экономия при использовании частотного преобразователя составляет от 0,4 до 2 кВт, при этом диапазон регулирования значительно увеличивается, что говорит об эффективности применения ЧП.

Через применение частотных преобразователей доступно внедрение систем управления скоростью следующих объектов ЖКХ:

насосы для горячей и холодной воды в системах теплоснабжения и водоснабжения, дополнительное оборудование для котельных, ТЭС, ТЭЦ и котлоагрегатов, вентиляторы, воздуховоды, компрессоры, системы кондиционирования и лифты.

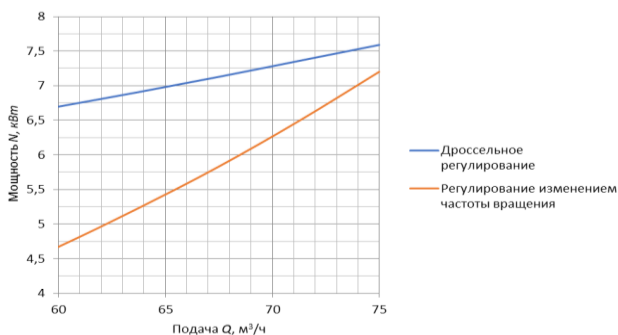


Рис. 1 Сравнение способов регулирования

Использование этих преобразователей позволяет сократить расход неэффективной энергии, создаваемый заслонками, дросселями и другими приспособлениями для регулирования. Распределение воды в соответствии с графиком потребления в системах водоснабжения уменьшает потери как электроэнергии (до 50-75%), так и воды и помогает предотвратить аварийные разрывы трубопровода.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубаев, П.А. Методы автоматизации управления энергоэффективной работой насосов и насосных установок / П.А. Трубаев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 2. С. 142-147.
2. Трубаев, П.А., Погонин А.А., Тарасюк П.Н. Технико-экономическая оценка модернизации районных муниципальных котельных Белгородской области / П.А. Трубаев, А.А. Погонин, П.Н. Тарасюк // Промышленная энергетика. – 2012. – № 2. – С. 12-17.
3. Вольдек, А.И. Электрические машины. Асинхронные машины переменного тока / А.И. Вольдек, В.В. Попов – СПб.: Питер, 2008. – 350 с.
4. Ус, А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий / А.Г. Ус, Л.И. Евминов. – Минск: Пион, 2002. – 457 с.

5. Усуфов, М.М. Применение современных частотных преобразователей как способ повышения энергосбережения в сфере ЖКХ / М.М. Усуфов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2014. – № 1. – С. 22-31.

*УДК 621.577*

*Шатило И.А.*

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В РОССИИ**

Климатический фактор оказывает огромное влияние на развитие энергетики в нашей стране, поскольку основная часть населения проживает в более холодных климатических условиях, чем в Европе и Северной Америке. В сравнении с центральной полосой России, даже в скандинавских странах, отопительный сезон существенно короче и мягче. Исходя из этого, в большинстве регионов потребители тепловой энергии концентрируются в одном месте, ввиду чего более предпочтительным вариантом является использования системы централизованного отопления со всеми её преимуществами и недостатками. Основной упор развития территорий приходится на крупные города, тем самым замедляя развитие и освоение свободных территорий России. Использование тепловых насосов может послужить эффективным инструментом развития энергетики отдаленных населенных пунктов, испытывающих проблемы с энергоснабжением [1]. Стоит отметить, что на данный момент традиционный подход к обеспечению потребителя тепловой энергией очень силен и уровень нынешних заниженных тарифов не является благоприятным фактором для развития малой энергетики и тепловых насосов, поскольку ведет к увеличению сроков окупаемости подобных энергетических установок. Несмотря на это стоит понимать, что отбор теплоты от источника низкопотенциальной энергии, и преобразование ее в энергоноситель с более высокой температурой, путем подвода к ней внешней работы, наиболее эффективный способ получения тепла из окружающей среды.

Теплонасосные установки обладают рядом преимуществ, благодаря которым они значительно выделяются на фоне традиционных установок [2]. Среди основных достоинств можно выделить:

- экологичность (нулевые выбросы при работе оборудования);
- срок эксплуатации (средние показатели работы без капитального ремонта более 20 лет);
- комфорт (при грамотной компоновке и месте установки, уровень шума не превышает значения, установленные СНиП 23-03-2003)
- безопасность (за счет отсутствия легковоспламеняющихся энергоносителей);
- вариативность применения (тепловые насосы совместимы с практически с любой циркуляционной системой отопления и охлаждения помещений).

Для внедрения тепловых насосов главную роль играет наличие источников низкопотенциального тепла, как естественного, так и вторичного. Россия обладает крупными запасами тепла низкопотенциальных источников. К естественным источникам такого тепла, в первую очередь относят различные водоемы (для рек температура колеблется от 2°C зимой, и 10 °С летом) и тепло грунта (на глубине 6 метров температура практически постоянна и находится в пределах 5-8°C) [3]. Схема действия теплового насоса представлена на рис. 1.

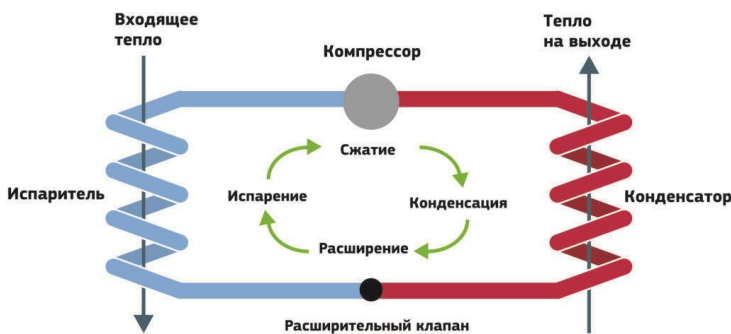


Рис. 1 Схема действия теплового насоса

Экономически развитые крупные города обладают огромными запасами искусственного (вторичного) низкопотенциального тепла: вентиляционный воздух из жилых, офисных и торговых помещений; отработанный воздух и вода из сферы промышленного производства; тепло отработанных газов при сжигании топлива; теплота канализационных стоков и сточных вод. Децентрализованное теплоснабжение позволяет применять современные низкотемпературные системы отопления с температурой теплоносителя

35-60°C, обеспечивающие достаточно высокие коэффициенты преобразования тепловых насосов ( $\mu = 3,5-5,0$ ) [4].

Благодаря этому можно говорить о целесообразности применения тепловых насосов на локальных объектах промышленности и жилищно-коммунального сектора.

В первую очередь, использование тепловых насосов целесообразно в небольших многоквартирных домах и коттеджах. Выбор оборудования основывается, в первую очередь, по нагрузкам, которые необходимо покрыть потребителю тепловой энергии [5]. Ввиду разнообразия климата нашей страны учитываются длительность отопительного сезона, параметры теплоносителя. Это усложняет подбор ТН необходимой мощности и влечет за собой значительные финансовые затраты [6].

Возможно использовать комбинированную систему отопления с использованием теплового насоса и пикового источника, который будет включаться при существенном похолодании. Подобные схемы весьма экономичны и имеют перспективы. Сравнительная характеристика водогрейных котлов и теплового насоса представлена в табл.1.

Таблица – Сравнительная характеристика водогрейных котлов и теплового насоса

Технические характеристики	Газовый котел	Жидкотопливный котел	Электрический котел	Тепловой насос
Отапливаемая площадь, м <sup>2</sup>	200	200	200	200
Мощность установки, кВт	11	11	11	11
Площадь котельной, м <sup>2</sup>	6	6	3	4
Расход электрической энергии, кВт·час	1,5	2	13	2,4
Источник тепловой энергии	Газ	Дизельное топливо	Эл. энергия	Низкопотенциальные источники тепла, эл. энергия
Расход энергоносителя	5000 м <sup>3</sup>	10000 л	69000 кВт	-

В настоящее время главным фактором, сдерживающим распространение теплонасосных установок, является их экономическая нецелесообразность, ввиду низких цен на энергоносители в России. Однако, по существующим оценкам, с учетом темпов распространения малоэтажной застройки и ростом цен на электроэнергию и газ, востребованность к отоплению посредством ТН существенно увеличится к 2035 году, когда срок окупаемости тепловых насосов приблизится к уровню газовых котельных установок.

Ещё одним способом применения насосов может быть их использование в автономных системах ТЭС или ТЭЦ, где установка использует теплоту вторичных энергетических ресурсов [7]. Такие системы устанавливаются в непосредственной близости от потребителя. Данное решение должно повысить эффективность выработки энергоресурса, что особенно актуально в автономных энергетических системах, которые зачастую используются в малых населенных пунктах нашей страны. Для создания таких проектов необходимо развитие государственных программ направленных на изучение альтернативных видов энергии и энергосберегающего оборудования. Следует стимулировать разработку и производство тепловых насосов различной мощности, тогда тепловые насосы смогут занять свою нишу на рынке генерации тепла, дополнив, а не заменяя традиционные установки выработки тепловой энергии.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Малая энергетика Севера: Проблемы и пути развития / И. Ю. Иванова, Т. Ф. Тугузова, С. П. Попов, Н. А. Петров ; Ответственный редактор доктор технических наук, профессор Б.Г.Санеев. – Новосибирск : "Наука", 2002. – 188 с.
2. Трубаев П.А. Тепловые насосы: учеб. пособие / П.А. Трубаев, Б.М. Гришко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010 – 143 с.
3. Сериков, С. В. Перспективы использования тепловых насосов в системах отопления малоэтажных жилых домов Белгородской области / С. В. Сериков, Р. Ю. Мухамедов // Современные научные исследования и инновации. – 2011. – № 2(2). – С. 2.
4. Хакимуллин Б.Р. Опыт создания и внедрения тепловых насосов в России / Б.Р. Хакимуллин, И.З. Багаутдинов // Инновационная наука. – 2016. – № 4-3. – С. 192-194.
5. Сергеев В. В. Анализ эффективности генерации тепловой и электрической энергии ТЭЦ при использовании тепловых насосов большой мощности / В. В. Сергеев, Н. Т. Амосов, И. Д. Аникина //

Энергетические системы. – 2017. – № 1. – С. 80-84.

6. Хакимуллин, Б. Р. Перспективы использования тепловых насосов в системе отопления и горячего водоснабжения / Б. Р. Хакимуллин, И. З. Багаутдинов // Инновационная наука. – 2016. – № 4-3. – С.

7. О перспективах использования тепловых насосов в регионах России / В. М. Филенков, Л. Н. Козина, Д. О. Бухонов // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 12(43). – С. 94-97.

**УДК 697.432**

**Шатило И.А.**

*Научный руководитель: Трубаев П.А., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ЖАРОТРУБНЫХ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ**

История развития энергетического оборудования в целом и котлостроения в частности насчитывает сотни лет. За это продолжительное время сформировались различные направления и конструкции. В настоящее время развитие данной отрасли сконцентрировано на увеличении КПД установок, их долговечности, универсальности, надежности эксплуатации, а также модернизации действующего оборудования под современные производственные и экологические нормы. В настоящее время выделяют 2 принципиальные конструкции котлов – водотрубные и жаротрубные, различающиеся нахождением в трубном пространстве воды или продуктов сгорания [1]. Каждая конструкция имеет собственные преимущества и недостатки в зависимости от конфигурации их использования. В данной статье приводится краткая характеристика и оценка современного состояния водогрейных жаротрубных котлов.

Жаротрубный водогрейный котел состоит труб, внутри которых движутся продукты сгорания топлива и межтрубного пространства, где циркулирует теплоноситель [2]. Большая часть котлов предполагает форм-фактор горизонталью размещённого цилиндра с множеством трубок внутри. Рассмотрим конструкцию данных котлов на примере котла ТТ100 схема которого изображена на (Рис. 1). Данный жаротрубный трехходовой котел выполнен в горизонтальной компоновке. В центре аппарата расположена жаровая труба 1, поток



газа после её прохождения попадает в трубы второго хода 2, затем в трубы третьего хода 3, благодаря наличию многоходовой системы интенсифицируется процесс теплообмена. Конвективные поверхности 2 и 3 расположены симметрично радиально относительно жаровой трубы. Проходя из жаровой трубы в трубы второго хода дымовые газы нагревают поверхность первой поворотной камеры 4, которая образована торосферической крышкой 5 и задней трубной решеткой. На выходе из труб второго хода поток газа попадает во вторую поворотную камеру 6, образованную передней трубной решеткой и углублением футеровки 7.

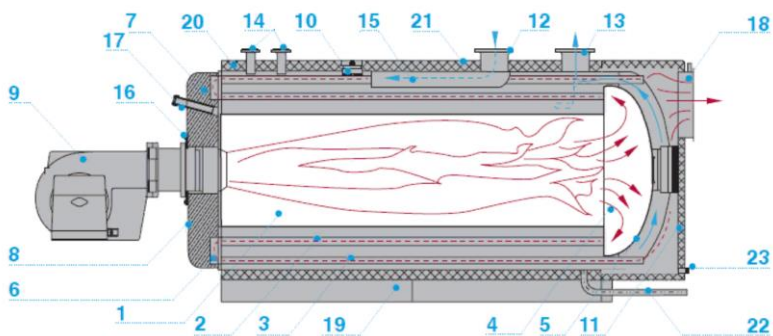


Рис. 1 Схема устройства котла ТТ100:

- 1 – жаровая труба; 2 – дымогарные трубы второго хода; 3 – дымогарные трубы третьего хода; 4 – первая поворотная камера; 5 – торосферическое днище;
- 6 – вторая поворотная камера; 7 – футеровка фронтальной дверцы;
- 8 – фронтальная дверца котла; 9 – горелка; 10 – смотровой люк; 11 – люк-лаз;
- 12 – патрубок входа воды; 13 – патрубок выхода воды; 14 – патрубок аварийной линии; 15 – водонаправляющий элемент; 16 – горелочная плита;
- 17 – смотровой глазок; 18 – патрубок отвода дымовых газов; 19 – стальные несущие опоры; 20 – теплоизоляция; 21 – рифленое алюминиевое покрытие;
- 22 – дренажный патрубок; 23 – сливной штуцер

В целях реализации доступа к внутренним поверхностям котла для его ремонта и обслуживания на котле предусмотрена фронтальная дверца 8, в отверстие которой монтируется горелка 9. При необходимости дверца открывается вместе с горелкой, что повышает удобства доступа внутрь котла. В данном котле теплоноситель движется в межтрубном пространстве и для его контроля и наблюдения предусмотрен смотровой люк 10. Для очистки коллектора дымовых газов предусмотрен люк-лаз 11. Теплоноситель подается через патрубок входа воды 12 и отводится через патрубок выхода воды 13. Оба

патрубка расположены в верхней части котла на одной оси. Также в верхней части установлен патрубок аварийной линии 14. В целях повышения интенсивности распределения потока воды внутри котла [3], под патрубком входа уст наваливается водонаправляющий элемент 15. На дверце также имеется горелочная плита 16, необходимая для установки горелки. Для регулярных наблюдений за состоянием факела в топке имеется смотровой глазок 17. Патрубок отвода дымовых газов 18 расположен на задней стенке котла. Стальные несущие опоры 19, необходимые для монтажа котла, расположены в нижней части. Теплоизоляция 20 выполняется из листовых минераловатных материалов различной толщины и конфигураций. Рифленое алюминиевое покрытие 21 служит внешней облицовкой. Для слива конденсата предусмотрен дренажный патрубок 22.

Котлы данной конструкции обладают рядом преимуществ, среди которых:

- низкое аэродинамическое сопротивление, благодаря которому упрощается подбор горелок;

- анкерная система, выполняющая функцию температурных компенсаторов, снижающих напряжения, возникающие в металлах во время изменения температур;

- более высокий КПД среди аналогичных водотрубных котлов сопоставимой мощности, габаритов и стоимости;

- широкий диапазон допустимых нагрузок (от 25% номинальной);

- удобство обслуживания, ввиду простого доступа к поверхностям нагрева.

Ввиду этих факторов применение котлов данной конструкции является довольно оптимально вариантом не только при строительстве новых объектов, но и при модернизации действующих. При переводе угольных котлов на газ показатели эффективности работы оборудования значительно улучшаются, однако ввиду технических ограничений такие котлы всё равно хуже, по показателям, чем изначально разработанные котлы под газ. Учитывая дороговизну мероприятий по реконструкции котла, часто более рациональным выбором оказывается полная замена котлов на более эффективные жаротрубные котлы, которые проще в монтаже и меньше в габаритах чем аналогичные водотрубные.

Несмотря на ряд преимуществ, говорить о повсеместном распространении таких котлов не приходится, ввиду нескольких причин. Среди них:

- более жесткие требования к качеству воды, что значительно удорожает переход на жаротрубные котлы при несоответствии водоподготовительного оборудования [4];
- необходимость более регулярного обслуживания;
- ввиду низких скоростей теплоносителя, на внутренних поверхностях нагрева температура распределяется неравномерно, за счет чего происходит отложения накипи на локальных участках, что вызывает перегрев некоторых участков труб [5];
- более длительный выход на рабочие параметры;
- высокая металлоемкость;
- большой водяной объем заключенный в котле, требующий повышенной осторожности при эксплуатации.

Наибольшее количество проблем при эксплуатации котлов данной конструкции возникает при недостаточном уровне водоподготовки и больших ненормативных потерь воды в котловом контуре [6]. Совокупность этих двух факторов создает условия устойчивого накопления накипи. В ряде случаев, при таком режиме работы оборудования выход котлов из строя, при недостаточно регулярном обслуживании, мог происходить в течении одного отопительного сезона. Регулярное отложение накипи вызывает пережог котловых труб, что в свою очередь является критической проблемой, требующей оперативного вмешательства. При наличии этих факторов, применение данных котлов (несмотря на преимущество по номинальным характеристикам по сравнению с водотрубными конструкциями) считается нерациональным.

Технология жаротрубных котлов за всю свою историю прошла большой путь и современные экземпляры не уступают водотрубным, а по ряду параметров превосходят их. Во многих странах жаротрубные котлы получили широкое распространения, однако объемы их производства и применения напрямую зависят от локальных условий производства и существующей технологической базы, что не позволяет назвать данную технологию универсальной.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бузников, Е. Ф. Производственные и отопительные котельные / Е. Ф. Бузников, К. Ф. Родатис, Э. Я. Берзиньш; 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.
2. Кудрин, Е. А. Жаротрубные водогрейные котлы. Их преимущества и недостатки / Е. А. Кудрин // Наука, техника и образование. – 2019. – № 3 (56). – С. 43-46.

3. Хаустов, С. А., Заворин А. С. Современные тенденции проектирования жаротрубных котлов / С. А. Хаустов, А. С. Заворин // Вестник науки Сибири. – 2014. – № 2 (12). – С. 21-28.

4. Лукьянов, А. В. Водоподготовка газотрубных теплогенераторов / А. В. Лукьянов // Энергетические системы. – 2016. – № 1. – С. 342-346.

5. Игнатов, В. Ю. Особенности эксплуатации жаротрубных водогрейных котлов / В. Ю. Игнатов, А. В. Васильев, Ю. Е. Николаев // Инновационные механизмы решения проблем научного развития. Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2017. – С. 37-42.

6. Влияние накипи на работу систем отопления / В.А. Минко, А.С. Семенов, И.В. Гунько и др. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 21-23.

**УДК 621.31**

**Шатчилембе В.Л.**

*Научный руководитель: Фролов В.Я., д-р техн. наук, проф.  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ СИНХРОННЫХ МАШИН С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Ветрогенераторы это механизмы, предназначенные для преобразования части кинетической энергии ветра в полезную механическую энергию в виде крутящего момента и скорости вращения. Количество энергии, извлекаемой из ветра, зависит от конструктивных параметров турбины, скорости ветра и скорости вращения турбины [1].

Аэродинамический момент ротора:

$$M_a = \frac{P}{\omega} = \frac{C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3}{2\omega}, \quad (1)$$

где  $P$  – мощность, кВт,  $c_p$  – коэффициент мощности (зависит от быстротходности  $\lambda$ ),  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup> (примем  $\rho = 1,25$ );  $S$  – ометаемая ротором ВЭУ площадь, м<sup>2</sup>,  $V$  – скорость ветра, м/с.

$$P_a = \frac{C_p \cdot \rho \cdot S \cdot V^3}{2}, \quad (2)$$

Коэффициент мощности ( $C_p$ ) является мерой того, насколько эффективно ветряная турбина преобразует энергию. Выразим КИЭВ через формулу быстроходности:

$C_p = f(\lambda)$ , где  $\lambda = \frac{\omega \cdot r}{V}$ , здесь  $\omega$  – частота вращения ветроколеса;  $r$  – радиус ротора;  $V$  – скорость ветра.

Синхронный генератор с постоянными магнитами (Permanent Magnet Synchronous Generator - PMSG) может иметь большое количество полюсов, что устраняет необходимость в коробке передач, в дополнение преимуществом является тот факт, что он не имеет обмоток на роторе, следовательно, не требуется использовать преобразователь для питания цепи ротора.

Синхронный генератор на постоянных магнитах также имеет преимущество полного контроля активной мощности и реактивной, работает в широком диапазоне скоростей ветра и устраняет необходимость в коробке передач, когда генератор имеет большое количество полюсов, сводя к минимуму механические неисправности.

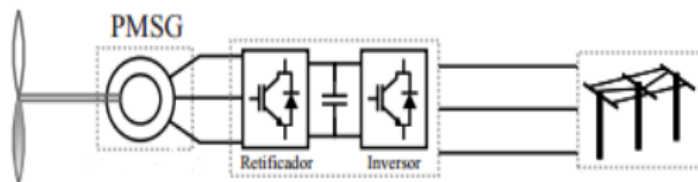


Рис. 1 Топология синхронного генератора с постоянными магнитами

Для точной оценки системы ветряной турбины в различных режимах работы была построена имитационная модель ветряной турбины через пакет программ Matlab/Simulink. Что представлено на рисунке 2.

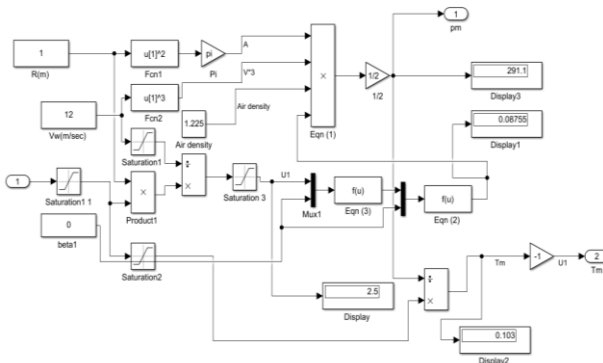


Рис. 2 Модель второй подсистемы уравнений

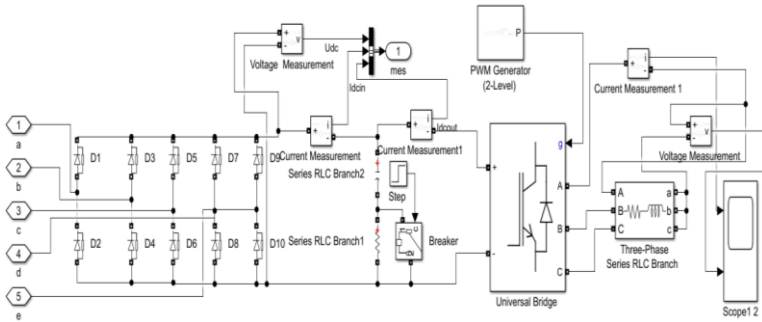


Рис. 3 Модель второй подсистемы уравнений

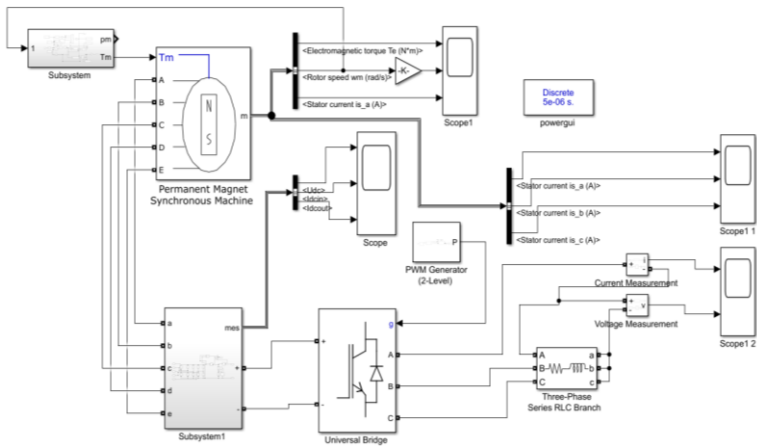


Рис. 4 Объединенная имитационная модель ВЭУ

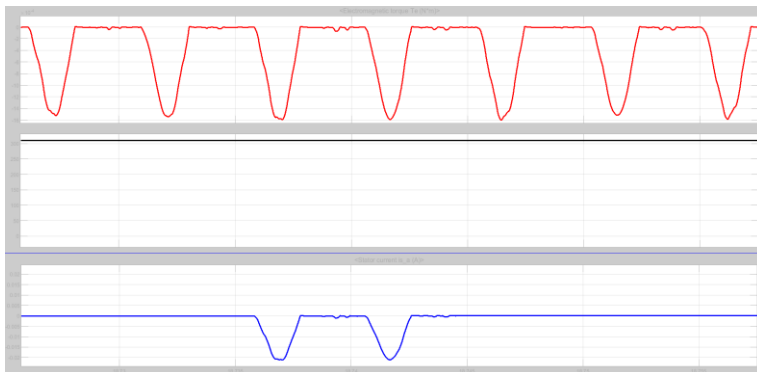


Рис. 4 Результаты моделирования electromagnet torque, stator current

В зависимости от условий работы турбины, разработанная модель полностью отражает реальные процессы, происходящие в ветроэнергетических установках, использующих синхронный генератор с постоянными магнитами. Однако, наличие высокого значения потерь все же заметно. Для точной оценки необходимо дополнить имитационную модель детальной моделью энергосистемы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Халилов М. Т. «Синхронные двигатели с постоянными магнитами описание и преимущества». Статья в журнале. Журнал «Энигма». Издательство «Шелистов Никита Александрович». 2020 год. Выпуск 22-2. Стр. 211-215. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43171887> свободный (16.11.2020).
2. Инженерные решения. Синхронный двигатель с постоянными магнитами. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://engineeringsolutions.ru/motorcontrol/pmsm/#control> свободный (28.11.2020).
3. IEA-Technology Roadmap: Wind Energy. Режим доступа <http://www.iea.org/publications/freepublications>.

*УДК 621.31*

*Шмачкова Е.О.*

*Научный руководитель: Нигматзянова Л.Р., ст. преп.*

*Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия*

## **ЗНАЧИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В РАЗВИТИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ**

На сегодняшний день обстоятельства развития мирового хозяйства характеризуются нескончаемым подъемом мирового внутреннего валового продукта (ВВП), который связан с неизменным распространением промышленных производств, ростом объемов выпуска промышленной продукции, увеличением численности населения планеты. Данные направления влекут за собой непрерывный рост спроса на потребление энергетических ресурсов, по большей части электрической энергии. Электрическая энергия считается универсальным энергоносителем, способным в собственной конечной форме без значительных расходов с немалой скоростью передаваться на довольно значимые расстояния, а именно потребителям электроэнергетики. Электрическая энергия может трансформироваться в

различные формы энергии, такие как механическая, тепловая, химическая и световая. Выдающиеся качества применения электроэнергии привели к тому, что население и все секторы экономики России не могут без неё существовать.

Масштабы энергопотребления в России обычно считаются показателем работы экономики государства. Чем значительнее происходит потребление электрической энергии внутри страны, тем больше объем её деятельности, а также происходит увеличение количества обрабатываемого сырья и изготовленной продукции. Связь динамики и размеров потребления электричества и ВВП по паритету покупательной способности (ППС) дает характеристику размера потребления электроэнергии в объемах экономики государства, которая напрямую пропорциональна масштабам ВВП по ППС, что связано с подъемом значения финансового уровня и увеличением размеров потребления энергоресурсов, в первую очередь электроэнергии.

Область электроэнергетики для экономики РФ может являться инструментом внешней политики. Если брать во внимание значимость энергетического фактора в процессе экономического развития стран мира, а также быстро развивающиеся процессы глобализации, то эффективность потребления энергоресурсов оказывает существенное воздействие на характеристики конкурентоспособности деятельности каждой национальной экономики в критериях массового экономического пространства. Вследствие этого одним из главных направлений политики долговременного стратегического продвижения экономики, как в России, так и в других странах мира считается становление компетенций в области сбережения энергии и увеличения энергетической производительности.

У каждой страны характеристика энергетической эффективности национальной экономики может принципиально отличаться от характеристики любой другой страны. Это связано с несколькими моментами, такими как выработка и потребление энергоресурсов, потребители энергоресурсов, степень оснащения энергосберегающего оборудования. Чаще встречающимся и более справедливым индикатором считается электроемкость национального дохода (ВВП), которая позволяет проводить сравнительную оценку эффективности электропотребления международных экономик. Электроемкостью ВВП является показатель, характеризующий количественный расход электрической энергии, затрачиваемой на единицу валового внутреннего продукта (национального дохода). Экономическая сущность показателя электроемкости кроется в измерении затрат электроэнергии на производство одной денежной единицы ВВП. Чем



меньше значение потребляемой электроэнергии при создании товаров на ту же сумму, тем государство энергетически эффективнее. К примеру, в случае если в Германии при создании товаров на сумму \$5000 расходуется меньше энергии, чем в Мексике, то разумеется энергоэффективная экономика Германии превосходит экономику Мексики.

Совместно с показателем электроёмкости ВВП, еще одной из важных характеристик, показывающей эффективность потребления энергоресурсов в государствах мира, является показатель величины электропотребления на душу населения страны. Электропотребление на душу населения – отношение количества электроэнергии, потребляемой за конкретный этап времени, к численности населения. Экономическая сущность показателя электропотребления на душу населения применяется для сравнительной оценки эффективности использования электрической энергии в странах мира и отображает уровень применения электроэнергии касательно одного жителя страны. Для различных стран мира данный показатель имеет своё значение. У России же показатель потребления электроэнергии на душу населения отстает от большинства развитых стран, например, от Исландии, Норвегии, Швеции и других, что говорит о более производительном применении энергоресурсов в обозначенных странах в пересчете на 1 человека. В России данный показатель примерно равен показателям Израиля и Омана.

Не обращая внимания на существенные масштабы электроэнергетического комплекса России, отставание характеристик энергетической эффективности использования электрической энергии значимо воздействует на конкурентоспособность и эффективность национальной экономики. Невысокая энергоэффективность потребления электроэнергии в России в первую очередь связана с устаревшим энергопотребляющим оборудованием, применяемым на промышленных предприятиях и крупных потребителях энергоресурсов. По причине невысоких характеристик качества потребления электроэнергии экономика России каждый год утрачивает сотни миллиардов рублей. Увеличение энергетической эффективности потребления электроэнергии дает главным образом поднять конкурентоспособность функционирования российской промышленности. В свою очередь увеличение энергетической эффективности потребления электроэнергии позволит повысить прибыль федерального бюджета от экспорта углеводородов, уменьшить затраты бюджетов всех степеней на закупку электроэнергии, сделать лучше экологическое положение. На первый взгляд, низкая

энергетическая эффективность экономики России считается моментом, сдерживающим финансовый подъем, но также считается моментом, содержащим значительный потенциал для увеличения конкурентоспособности и уровня экономического развития.

Резюмируя все вышесказанное, с экономической точки зрения Россия является государством, которое сосредотачивает в себе важный электроэнергетический потенциал. Он выражается как в объемах потребления энергии, так и в существующей развитой инфраструктуре, позволяющей гарантировать электроснабжение потребителей при вероятном подъеме растущего спроса на потребление электроэнергии. Осуществление мер в области увеличения энергетической эффективности в масштабах экономики России должно быть изначально ориентированно на выполнение комплекса действенных мероприятий особенно в рамках промышленного раздела, обеспечивающего ведущую долю спроса на электропотребление и производящего важнейшую часть национального ВВП.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Никифоров Г.В., Никифоров В.К., Заславец Б.И., Шеметов А.Н. Управление энергопотреблением и энергосбережение / М-во образования и науки Российской Федерации, Магнитогорский гос. тех. ун-т им. Г.И. Носова. Магнитогорск: Магнитогорский гос. тех. ун-т 1. 2013. 422 с.
2. Мелентьев Л.А., Штейнгауз Е.О. Экономика энергетики СССР. М.: Государственное энергетическое изд-во, 1959. 397 с.
3. Вайнзихер Б.Ф. Электроэнергетика России 2030: Целевое видение. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 360 с.
4. Милов В. Какая национальная энергетическая политика нужна России? Национальный доклад. – М.: Институт стратегического развития ТЭК, 2003.
5. Малинина Т.В., Таратин В.А. Экономика отраслей топливноэнергетического комплекса. учеб. пособие / Т. В. Малинина, В. А. Таратин; М-во образования и науки Рос. Федерации, С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. СПб., 2004.