

**ПАО  
«МРСК Северного  
Кавказа»**



**Министерство науки и высшего  
образования РФ  
ФГБОУ ВО  
«Дагестанский государственный  
технический университет»**



**ПАО «РусГидро»  
Дагестанский филиал**



**РусГидро**

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

## **МАТЕРИАЛЫ**

**VI Всероссийской научно-технической конференции  
«Современные проблемы электроэнергетики и пути их  
решения»**

**15-16 декабря 2021 года**

**г.Махачкала, 2021 г.**

**Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения:** материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. – Махачкала: ДГТУ, 2021. - 191 с.

В сборнике представлены материалы VI Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы электроэнергетики и пути их решения», который состоялся в Махачкале 15-16 декабря 2021 года. Доклады и статьи отражают такие направления работы конференции как современные проблемы электроэнергетики и пути их решения; нетрадиционные источники энергии и их реализация; инновационная энергетика; вопросы энергосбережения и аудита.

Сборник может быть полезен для студентов, аспирантов, преподавателей, научных и практических работников электроэнергетической отрасли.

### **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:**

#### **СОПРЕДСЕДАТЕЛИ:**

Суракатов Н.С., к.э.н., ректор ФГБОУ ВО "ДГТУ",  
Гамзатов Т.Г., к.э.н., директор ПАО «Федеральная гидрогенерирующая компания  
РусГидро» - ДФ

#### **ЗАМЕСТИТЕЛИ СОПРЕДСЕДАТЕЛЕЙ:**

Ирзаев Г.Х., к.т.н., доцент, проректор по НиИД ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", г.Махачкала  
Алижанов Х.Д. – первый зам управляющего, гл.инженер АО «Дагестанская сетевая компания».

#### **СОСТАВ ОРГАНИЗАЦИОННОГО КОМИТЕТА:**

|                 |                                                                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Евдулов О.В.    | д.т.н., доцент кафедры ТиОЭ ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", г.Махачкала        |
| Павлов Р.А.     | к.ф.-м.н., доцент старший преподаватель, начальник курса Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова         |
| Лебедев А.Г.    | К.т.н, доцент ФГАОУ СПбПУ им.Петра Великого                                                                     |
| Багамаев А.А.   | Руководитель группы сопровождения энергорынков филиал ПАО «Федеральная гидрогенерирующая компанияРусГидро» - ДФ |
| Кобзаренко Д.Н. | д.т.н., зав. Лабораторией информационных технологий в энергетике институте проблем геотермии ДНЦ РАН            |
| Мелехин В.Б.    | д.т.н., профессор кафедры ПОВТиАС ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", г.Махачкала  |
| Мустафаев А.Г.  | д.т.н., профессор кафедры ИБ ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет», г.Нальчик             |
| Нуцалов Ш.К.    | Гл.специалист Дагестанского РМЭС филиал ПАО «ФСК ЕЭС» Северо-Кавказского ПЭМС                                   |
| Рашидханов А.Т. | Зам.зав.кафедрой ЭЭиВИЭ ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", г.Махачкала            |
| Хазамова М.А.   | К.т.н., доцент кафедры ТиОЭ ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", г.Махачкала        |
| Юсуфов Ш.А.     | к.т.н., доцент, декан ФКТВТиЭ ФГБОУ ВО "Дагестанский государственный технический университет", г.Махачкала      |

#### **ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:**

Серета Н.В. – ст. преподаватель кафедры ЭЭиВИЭ ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет», г.Махачкала

**ISBN 978-5-907484-68-9**

© Дагестанский государственный технический университет, 2021.

© Оформление. ИП Тагиев Р.Х., 2022.

## СОДЕРЖАНИЕ

### *Секция 1*

#### ***СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ***

##### **СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Валеева Г.Р. .... 8

##### **ИЗМЕРЕНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ**

Гаджибабаев Г.Р., Гаджибабаев Э.Г. .... 11

##### **РАЗВИТИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН В ПЕРИОД НЕЗАВИСИМОСТИ**

Назаров Б.И., Джураев Д.С. .... 17

##### **ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Жуков А.А. .... 23

##### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЕАМ-СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

Наушаева А.С., Джамбеков А.М. .... 25

##### **ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Седалищев В.Н. .... 29

##### **ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ СЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ 220 КВ И ВЫШЕ И ОБЪЕКТОВ ГЕНЕРАЦИИ 25 МВт И БОЛЕЕ**

Гюльмагомедова Г.С. .... 34

##### **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Салихова Д.Н. .... 37

### *Секция 2*

#### ***АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ***

##### **СОВРЕМЕННЫЕ КРИТЕРИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Павлов Р.А., Белоусов В.В. .... 41

##### **ГИДРОЭНЕРГОПОТЕНЦИАЛ ПРИЛИВНОЙ И ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Салихова Д. Н. .... 46

##### **ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГИЯ – ОСНОВА БУДУЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ПРОМЫШЛЕННЫЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА**

Агеева В.А. .... 50

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>ИНТЕГРИРОВАННАЯ КОМПОНОВКА ВЕТРЯНОЙ<br/>ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕЁ УПРАВЛЕНИЯ</b>                                |    |
| Салихова Д.Н. ....                                                                                                       | 55 |
| <b>ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ<br/>ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ</b>                                                  |    |
| Грачева Е.К. ....                                                                                                        | 58 |
| <b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ<br/>ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, С РЕГУЛИРУЕМЫМ УГЛОМ НАКЛОНА,<br/>В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН</b> |    |
| Микаилов М.И. ....                                                                                                       | 64 |
| <b>МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА</b>                                                                                             |    |
| Леденева А.А. ....                                                                                                       | 68 |
| <b>АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ:<br/>СУЩНОСТЬ, ВИДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</b>                                       |    |
| Карпец А.В., Малахова О.Ю. ....                                                                                          | 72 |
| <b>АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ<br/>НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ:<br/>СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ</b>         |    |
| Сим Ю.А., Студенихин С.А., Малахова О.Ю. ....                                                                            | 78 |
| <b>ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ<br/>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА<br/>И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ</b>                 |    |
| Руди Д.Ю. ....                                                                                                           | 82 |
| <b>СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА К ЭНЕРГЕТИКЕ НА<br/>БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ</b>                       |    |
| Соломина А.С. ....                                                                                                       | 88 |
| <b>ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ<br/>ВОЗОБЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ</b>                                   |    |
| Габитов И.А., Егоров В.В. ....                                                                                           | 93 |

### **Секция 3**

#### **ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ<br/>ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ<br/>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b> |     |
| Магомедова М.С., Магомедова Е.С. ....                                                                                      | 99  |
| <b>ОБЕПЕЧЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ<br/>ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИИ</b>                                            |     |
| Качаева Г.И., Вардидзе Р.Т., Абдулхаликов М.А. ....                                                                        | 104 |
| <b>ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ<br/>В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ</b>                                                        |     |
| Середа Н.В. ....                                                                                                           | 107 |

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЫТА**

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Середа Н.В..... | 110 |
|-----------------|-----|

### ***Секция 4***

#### ***ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ЭНЕРГОАУДИТ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ***

##### **ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО**

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Агеева В.А..... | 115 |
|-----------------|-----|

##### **О СОКРАЩЕНИИ ЗАТРАТ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Мартыненко А.-А.М., Винник А.О. .... | 119 |
|--------------------------------------|-----|

##### **МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА №1 ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ЯМБУРГ»**

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Масков Л.Р., Корнилов В.Ю. .... | 124 |
|---------------------------------|-----|

##### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ MES-СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Муртазаева А.А., Джамбеков А.М. .... | 131 |
|--------------------------------------|-----|

##### **КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Рашидханов А.Т., Мамедшахов Г.К. .... | 137 |
|---------------------------------------|-----|

##### **ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

|                      |     |
|----------------------|-----|
| Ю.Б. Прибытков ..... | 141 |
|----------------------|-----|

##### **ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ**

##### **ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ**

|                     |     |
|---------------------|-----|
| Рашидханов А.Т..... | 147 |
|---------------------|-----|

### ***Секция 5***

#### ***СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭНЕРГЕТИКЕ***

##### **ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ**

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Исаев А.С. .... | 151 |
|-----------------|-----|

##### **ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ РЕАЛИЗАЦИИ ДАТЧИКА ГОЛОЛЕДНОЙ НАГРУЗКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ**

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| Гаджибабаев Г.Р., Рашидханов А.Т..... | 157 |
|---------------------------------------|-----|

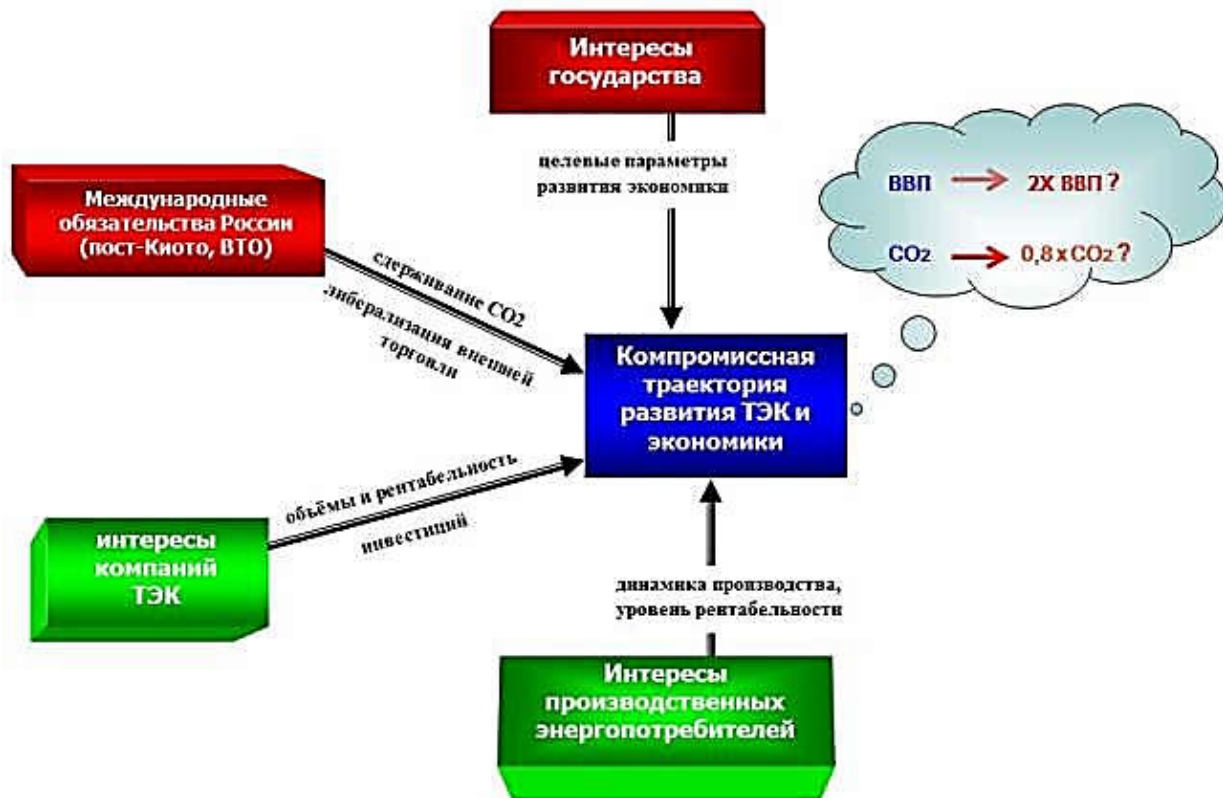
##### **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ МАТЛАВ**

|                   |     |
|-------------------|-----|
| Дадабаев Ш.Т..... | 163 |
|-------------------|-----|

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ<br/>РАЗВИТИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ И ОТРАСЛИ<br/>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ЦЕЛОМ</b>                                             |     |
| Мансуров С.М., Магомедова Е.С. ....                                                                                                                                        | 168 |
| <b>СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ<br/>ПРОЦЕССАМИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ</b>                                                                                   |     |
| Назаров Б.И., Джураев Д.С. ....                                                                                                                                            | 172 |
| <b>СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ERP-СИСТЕМ В<br/>ЭНЕРГЕТИКЕ</b>                                                                                                        |     |
| Дубровина А.В., Джамбеков А.М. ....                                                                                                                                        | 176 |
| <b>РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА<br/>РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА<br/>ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРА И АРКТИКИ</b>                                      |     |
| Местников Н.П., Альзаккар Ахмад Мухаммед-Насер, Васильев П.Ф. ....                                                                                                         | 182 |
| <b>СОДЕРЖАНИЕ ВЫСШИХ ВРЕМЕННЫХ ГАРМОНИК<br/>В ВЫХОДНОМ НАПРЯЖЕНИИ СИНУС-ФИЛЬТРА В ЗАВИСИМОСТИ<br/>ОТ КОЭФФИЦИЕНТА МОДУЛЯЦИИ ШИМ-НАПРЯЖЕНИЯ<br/>ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ</b> |     |
| Пустоветов М.Ю. ....                                                                                                                                                       | 186 |

## Секция 1

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ



## СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Валеева Гузель Разилевна, магистрант, студент  
ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический  
университет»

*Аннотация:* применение устройств накопления электрической энергии являются перспективным направлением в современной энергетике. В работе представлены преимущества и недостатки ключевых видов накопителей электрической энергии, а также наиболее экономически выгодные и экологичные варианты их применения в современной энергетике.

*Ключевые слова:* накопители, энергетика, химические накопители электроэнергии, отработавшие накопители.

Накопителями электроэнергии называются устройства, способные аккумулировать электрическую энергию для ее дальнейшего использования. Наиболее удобными для эксплуатации являются химические накопители электроэнергии, так как они удобны в эксплуатации, в том числе при транспортировке и установке на потребляющий объект[1].

Наиболее перспективным видом химических накопителей электроэнергии являются литий ионные накопители электроэнергии. Данный вид накопителей имеет следующие преимущества[2]:

Преимущества:

- Высокая энергетическая плотность (ёмкость).
- Низкий саморазряд.
- Высокая токоотдача.
- Большое число циклов заряд-разряд.
- Простота обслуживания.

Недостатки:

- Опасность возгорания.
- Потеря работоспособности при перезаряде.
- Потеря емкости при низких температурах.

На сегодняшний день, большую часть массового производства литий-ионных аккумуляторов занимают следующие виды:

- Литий-кобальтовые  $\text{LiCoO}_2$ .
- Литий-марганцевые  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ .
- Литий-феррофосфатные  $\text{LiFePO}_4$ .

В Таблице 1 представлены ключевые характеристики для сравнения

накопителей электроэнергии.

Таблица 1. Сравнение видов литий-ионных накопителей

| Параметр                      | Литий-<br>кобальтовые | LiMn2O4     | LiFePO4     |
|-------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| Уд. плотность энергии, Втч/кг | 150-190               | 100-135     | 90-120      |
| Жизненный цикл                | 500-1000              | 500-1000    | 1000-2000   |
| Время быстрой зарядки, ч      | 2-4                   | Менее 1     | Менее 1     |
| Терпимость к перезарядке      | отсутствует           | отсутствует | отсутствует |
| Номинальное напряжение V      | 3,6                   | 3,8         | 3,3         |
| Максимальное V                | 4,2                   | 4,2         | 3,6         |
| Минимальное V                 | 2,5-3,0               | 2,5-3,0     | 2,5-2,8     |
| Миним. t работы               | -10                   | -10         | -30         |

Кобальтовые накопители энергии в большей степени склонны к возгоранию. При этом, при температуре +10 °С снижается емкость батарей.

Самым удобным для эксплуатации являются ферритные литий-ионные накопители. Они обладают высокой взрывобезопасностью, способны при температуре -30 °С. Также данный вариант является наиболее бюджетным в связи с относительной дешевизной составных элементов.

Накопители электроэнергии являются перспективным направлением развития энергетической системы. При рациональном выборе моделей, они позволяют сэкономить большое количество денежных средств, а также обеспечить надежную и безопасную работу системы собственных нужд электрической станции[3].

Для обеспечения надежности снабжения ответственных накопителей электрической энергии, предлагается применение накопителей электроэнергии в системе собственных нужд электрических станций, поскольку именно система собственных нужд обеспечивает бесперебойность функционирования агрегатов основного технологического процесса[4].

В качестве экономичного решения предлагается принять накопители электроэнергии, отработавшие в сфере электротранспорта и спецтехники. Решение является наиболее экономически целесообразным, а также экологичным, поскольку увеличивается срок полезной эксплуатации накопителей.

Накопители считаются отработавшими в сфере электротранспорта и спецтехники, если держат 80% заряда, и меньше, что делает их наиболее пригодными для стационарного использования в системе собственных нужд.

Целесообразнее всего применение накопителей электроэнергии на

крупных генерирующих объектах, например КЭС, поскольку они располагаются вдали от населенных пунктов, и, соответственно, имеют большую площадь под размещение накопителей.

Применение накопителей электроэнергии является целесообразным решением, поскольку их внедрение способно обеспечить надежное и бесперебойное снабжение электрической энергией ответственных потребителей при кратковременном (установка накопителей небольшой емкости) или долговременного нарушения снабжения электроэнергией (установка накопителей большой емкости). К тому же, применение накопителей электроэнергии в пиковые часы способно снизить нагрузку с оборудования станции. Как известно, на собственные нужды станций уходит от 3 до 9% вырабатываемой электроэнергии. Благодаря способности накопителей держать заряд, появляется возможность потребления электроэнергии в часы минимума (например, в ночные часы) и расход энергии в пиковые часы (утренние и ночные пиковые часы)[5].

### **Список литературы:**

1. Бахтеев К.Р./Повышение эффективности функционирования систем централизованного и автономного электроснабжения путем комплексного применения электрохимических накопителей энергии, малой генерации и форсировки возбуждения синхронных машин, дис. к.н. / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-funktsionirovaniya-sistem-tsentralizovannogo-i-avtonomnogo-elektros>
2. ГОСТ Р 58092.3.1-2020. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Проектирование и оценка рабочих параметров/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200173637>
3. Савина Н.В., Лисогурская Л.Н., Лисогурский И.А./Накопители электрической энергии как средство повышения надёжности и экономичности функционирования электрической сети/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakopiteli-elektricheskoy-energii-kak-sredstvo-povysheniya-nadyozhnosti-i-ekonomichnosti-funktsionirovaniya-elektricheskoy-seti>
4. ГОСТ Р 58092.5.1-2018. Системы накопления электрической энергии (СНЭЭ). Безопасность систем, работающих в составе сети/ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200159406>
5. Чудновец С.П., Харитонов С.А./Накопители электрической энергии для систем генерирования электрической энергии (аналитический обзор) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nakopiteli-elektricheskoy-energii-dlya-sistem-generirovaniya-elektricheskoy-energii-analiticheskiy-obzor>

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ

Гаджибабаев Гаджибуба Ражиудинович, к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный  
университет имени М.М. Джембулатова»,

Гаджибабаев Эльдар Гаджибубаевич, магистрант,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»

В работе анализированы известные устройства определения ветровых нагрузок на воздушные высоковольтные линии. Ветровые нагрузки совместно с гололедными нагрузками оказывают отрицательное влияние на высоковольтные линии, сопровождаемое с возможными поломками опор, обрывами и короткими замыканиями проводов. Существующие устройства имеют низкую точность и не позволяют произвести замеры ветровых нагрузок на протяженных участках линии.

В статье проведены расчеты по предлагаемому методу, согласно которым получены достаточно точные значения ветровых нагрузок на участках линии различной протяженности.

Полученные результаты могут быть использованы для проверки конструктивной надежности линий для возможной модернизации их. Особенно актуальным является применение предлагаемого метода в системах прогнозирования гололеда и совместное воздействие гололедно-ветровых нагрузок оказывают наибольшее отрицательное влияние на воздушные линии.

Учет гололедно – ветровых нагрузок на воздушные линии позволяют определить соответствие параметров их конструкций в части противодействия таким нагрузкам. Особенно важным является знание интенсивностей гололедно – ветровых нагрузок в гололедных районах с возможным гололедообразованием воздушных линий, где совместное их воздействие значительно усиливают нагрузки [1].

Известные устройства измерения ветровых нагрузок имеют подвижные механические узлы и поэтому отличаются меньшей точностью измерения и конструктивной надежностью и отсутствием возможности дистанционной передачи сигналов.

В настоящее время получили распространение датчики гололедно-ветровой нагрузки, функционирующие на основе метеорологических данных и также применяют гравитационный метод. Наибольшее распространение получил гравитационный метод, где происходит преобразование различных механических перемещений, изменение магнитных и других

параметров в электрический сигнал. Характерными их недостатками являются конструктивная сложность, низкая точность различения гололедной и ветровой нагрузок, контроль только одного-двух пролетов, отсутствие фиксации гололедных отложений в начальный момент и не универсальны.

Разновидностью гравитационного метода диагностики является аэродинамический способ обнаружения отложений, заключающийся в том, что на промежуточном пролёте линии одновременно измеряются относительное направление ветра, скорость ветра и величина фактической ветровой нагрузки на провод, после чего рассчитывается величина ожидаемой ветровой нагрузки на провод и выполняется её сравнение с величиной фактической ветровой нагрузки.

Недостатком описываемого устройства и ему подобных является сложная конструкция с наличием трудоемкого монтажа, что объясняется необходимостью внесения значительных изменений в стандартизированную конструкцию изолирующей подвески проводов.

В предлагаемом способе [2], при использовании уравнений линий с распределенными параметрами и отсутствии затуханий высокочастотного (ВЧ) сигнала, использовано соотношение.

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} = Z_c \quad \text{при} \quad \beta = \frac{2n+1}{2} \pi \quad (1)$$

где,  $U_1, I_1$  – действующие значения напряжения и тока в начале контролируемого участка;

$U_2, I_2$  – действующие значения напряжения и тока в точке с координатой  $x$ , отсчитываемой от контролируемого участка;

$Z_c$  – волновое сопротивление;

$\beta$  – коэффициент фазы в радианах на единицу длины.

$n$  – натуральное число, включая нуль.

Ниже приведены известные уравнений линий с распределенными параметрами с учетом затухания сигнала

$$U_1 = U_2 \cosh \gamma x + I_2 Z_c \sinh \gamma x = U_2 \cosh(\alpha + j\beta)x + I_2 Z_c \sinh(\alpha + j\beta)x \quad (2)$$

$$I_1 = I_2 \cosh \gamma x + \left(\frac{U_2}{Z_c}\right) \sinh \gamma x = I_2 \cosh(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{U_2}{Z_c}\right) \sinh(\alpha + j\beta)x$$

где  $U_1, I_1$  – комплексные напряжение и ток в начале контролируемого участка;

$U_2, I_2$  – комплексные напряжение и ток в точке с координатой  $x$ , отсчитываемой от начала контролируемого участка;

$\gamma$  – коэффициент распространения;

$\alpha$  – коэффициент затухания в децибелах на единицу длины;

$\gamma = \alpha + j\beta$ .

Зададимся произвольными значениями

$$I_2 = 0,2 \text{Exp}\left(-\frac{j\pi}{6}\right), U_2 = 50 \text{ В}, x = 10 \text{ км}$$

при напряжении линии  $U = 10 \text{ кВ}$ . Для волнового сопротивления примем значение  $Z_c = 350 \text{ Ом}$ .

Пользуясь соотношением из [2] для частоты

$$f = \frac{(2n+1)\pi}{2 \cdot x \cdot 0,208 \cdot 10^{-4}}, \text{ Гц}$$

и при  $n = 0$  имеем

$$f = \frac{\pi}{2 \cdot 10 \cdot 0,208 \cdot 10^{-4}} = 7,55 \text{ кГц}, \left(\beta x = \frac{\pi}{2} \text{ рад.}\right),$$

Согласно [3] затухание сигнала определяется выражением

$$\alpha = 0,005\sqrt{f} + 0,0002f \left[\frac{\text{дБ}}{\text{км}}\right]. \quad (3)$$

При данной частоте **7,55 кГц** из (3) имеем

$$\alpha = 0,005\sqrt{22,66} + 0,0002 \cdot 22,66 = 0,028, \frac{\text{дБ}}{\text{км}}.$$

Подставляя приведенные значения в (2) имеем

$$U_1 = U_2 \text{ch}(\alpha + j\beta)x + I_2 Z_c \text{sh}(\alpha + j\beta)x = 50 \text{ch}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + \frac{j\pi}{2}) + 0,2 \text{Exp}\left(-\frac{j\pi}{6}\right) \cdot 350 \text{sh}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + \frac{j\pi}{2}) \quad (4)$$

$$I_1 = I_2 \text{ch}(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{U_1}{Z_c}\right) \text{sh}(\alpha + j\beta)x = 0,2 \text{Exp}\left(-\frac{j\pi}{6}\right) \text{ch}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + \frac{j\pi}{2}) + (50/350) \text{sh}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + j\pi/2)$$

Согласно формуле изобретения [2] изменением частоты ВЧ сигнала получено равенство согласно (1) в виде  $\frac{U_1}{I_2} \approx \frac{U_2}{I_1}$  и с учетом (4) можно записать

$$U_1/I_2 = \|U_2 \text{ch}(\alpha + j\beta)x + I_2 Z_c \text{sh}(\alpha + j\beta)x\|/I_2 = \|50 \text{ch}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + \frac{j\pi}{2}) + 0,2 \text{Exp}\left(-\frac{j\pi}{6}\right) \cdot 350 \text{sh}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + \frac{j\pi}{2})\|/0,2 = 352,565 \text{ Ом}$$

$$U_2/I_1 = U_2 / \|(I_2 \text{ch}(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{U_1}{Z_c}\right) \text{sh}(\alpha + j\beta)x)\| = 50 / \|(0,2 \text{Exp}\left(-\frac{j\pi}{6}\right) \text{ch}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + \frac{j\pi}{2}) + (50/350) \text{sh}(0,115 \cdot 0,028 \cdot 10 + j\pi/2))\| = 353,456 \text{ Ом}$$

Получены практически одинаковые значения волновых сопротивлений линии

$$I_1 = U_1/I_2 = 344,671 \text{ Ом}, Z_{c2} = U_2/I_1 = 344,683 \text{ Ом}$$

с погрешностью

$$\delta = (Z_c - Z_{c1})100/Z_c = (350 - 353,456) * 100/350 = 1\%.$$

В таблицах 1-2 приведены расчеты для участков, за которым отсутствуют ответвления. Согласно рисунку, этому соответствует участок I линии 10 кВ, отходящей от подстанции с датчиком напряжения и тока 1 и аналогичным датчиком 2. Здесь Тр1 – Тр3 являются концевыми трансформаторами участков.

Таблица 1 – Погрешности измерения волнового сопротивления линии в функции действующих значений напряжения и тока ВЧ сигнала при отсутствии ответвления за датчиками:  $Z_c = 350 \text{ Ом}$ ,  $U = 10 \text{ кВ}$

| № п/п | Напряжение ВЧ сигнала, В, рад. | Ток ВЧ сигнала, А, рад. | Погрешности $\delta$ (значения затуханий $\alpha$ указаны в скобках), в зависимости от частоты ВЧ сигнала и протяженности контролируемого участка, % |               |                |
|-------|--------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------|
|       |                                |                         | 7,55 кГц, 10 км                                                                                                                                      | 15,1кГц, 5 км | 75,5 кГц, 1 км |
| 1     | 50 Exp(0)                      | 0.2Exp(-jPi/6)          | -1,0 (0,015)                                                                                                                                         | -0.7 (0,022)  | -0.4 (0,059)   |
| 2     | 50 Exp(0)                      | 0.7Exp(-jPi/6)          | -0.2 (0,015)                                                                                                                                         | -0.3 (0,022)  | -0.11 (0,059)  |
| 3     | 100 Exp(0)                     | 0.3Exp(-jPi/6)          | -0,6 (0,015)                                                                                                                                         | -0,8 (0,022)  | -0,5 (0,059)   |
| 4     | 200 Exp(0)                     | 0.7Exp(-jPi/6)          | -0,6 (0,015)                                                                                                                                         | -0,8 (0,022)  | -0,5 (0,059)   |
| 5     | 200 Exp(0)                     | 0.2Exp(-jPi/6)          | -0,5 (0,015)                                                                                                                                         | -0,8 (0,022)  | 0,16 (0,059)   |

Таблица 2 – Погрешности измерения волнового сопротивления линии в функции аргументов напряжения и тока ВЧ сигнала при отсутствии ответвления за датчиками:  $Z_c = 350 \text{ Ом}$ ,  $U = 10 \text{ кВ}$

| № п/п | Напряжение ВЧ сигнала, В, рад. | Ток ВЧ сигнала, А, рад | Погрешности $\delta$ ( значения затуханий $\alpha$ указаны в скобках), в зависимости от частоты ВЧ сигнала и протяженности контролируемого участка, % |
|-------|--------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                |                        | 7,55 кГц, 10 км                                                                                                                                       |
| 1     | 100 Exp(0)                     | 0.3Exp(-jPi/6)         | -0,7 (0,015)                                                                                                                                          |
| 2     | 100 Exp(jPi/6)                 | 0.3Exp(0)              | -0.7 (0,015)                                                                                                                                          |
| 3     | 100 Exp(j2Pi/6)                | 0.3Exp(jPi/6)          | -0,7 (0,015)                                                                                                                                          |
| 4     | 100 Exp(j3Pi/6)                | 0.3Exp(j2Pi/6)         | -0,7 (0,015)                                                                                                                                          |
| 5     | 100 Exp(j4Pi/6)                | 0.3Exp(j3Pi/6)         | -0,7 (0,015)                                                                                                                                          |

Вариантом реализации устройства может быть достаточно близкое расположение друг от друга датчиков (например, менее 1 км, вплоть до одного – двух пролетов) и при этом количество синхронно качающихся проводов в пролетах увеличатся (особенно для одного – двух пролетов).

Точность измерения частоты колебаний проводов повышается, позволяющая контролировать ее снижение с вероятным появлением гололедных отложений. Такие замеры позволяют уточнить устойчивость конструкций воздушных линий к ветровым нагрузкам и при необходимости повысить их надежность.

Дополнительное затухание имеет место при наличии ответвлений. Поскольку концевыми нагрузками в линиях 10 кВ являются трансформаторы и для ВЧ сигналов, приложенных между фазой и землей можно получить емкостную нагрузку [4]. Здесь емкость силового трансформатора 110 кВ лежит в пределах 900-1600 пФ и с снижением напряжения емкость также снижается, поэтому для напряжения 10 кВ принято это значение с запасом равным 1000 пФ.

Согласно рисунку, участок III является ответвлением для участка II. Затухание, вносимое данным ответвлением можно рассчитать аналогично примеру, приведенном в [5].

При длине участка III  $L = 2$  км на частоте  $f = 15,1$  кГц  $= 15,1 \cdot 10^3$  Гц (см. таблицу 3) и емкости Тр3  $C = 1000$  пФ  $= 10^{-9}$  Ф на фазу и скорости распространения ВЧ сигнала  $v = 3 \cdot 10^8$  м/с можно получить параметры для одной фазы

- длина волны  $\lambda_{\phi} = v/f = 3 \cdot 10^8 / 15,1 \cdot 10^3 = 20$  км;
- относительная длина ответвления  $m = L/\lambda_{\phi} = 2/20 = 0,1$ ;
- относительная емкость  $C^{\square} = C/L = 10^{-9}/2 = 0,5 \cdot 10^{-9}$  Ф = 500 пФ.

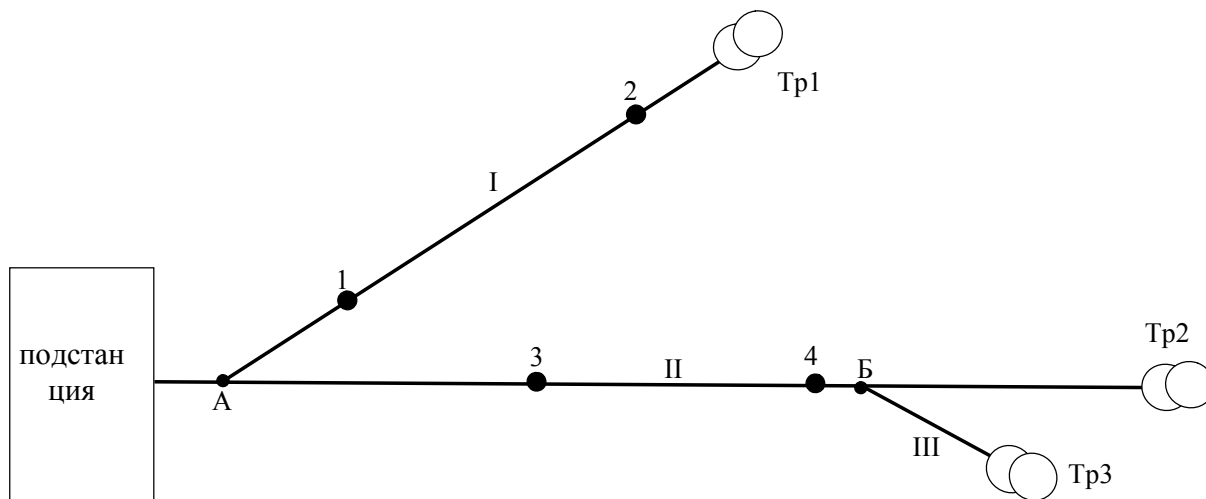


Рисунок - Схема установки датчиков ветровой нагрузки ВЛ 6 – 10 кВ

Из рисунка [5] можно получить дополнительное затухание  $\alpha_{\text{зат}} \approx 1$  дБ. При длине участка II (между точками А и Б)  $L_1 = 5$  км, затухание на единицу длины, вносимое ответвлением будет  $\alpha_{\text{зат1}} = \alpha_{\text{зат}}/L_1 = 1/5 = 0,2$  дБ/км. С учетом затухания таблицы 1 для данного случая можно получить суммарное значение  $\alpha_{\text{сум}} = \alpha_{\text{зат1}} + \alpha = 0,2 + 0,022 = 0,222$  дБ/км.

Таблица 3 – Погрешности измерения волнового сопротивления линии в функции действующих значений напряжения и тока ВЧ сигнала при наличии ответвления за датчиками:  $Z_c = 350$  Ом,  $U = 10$  кВ,  $L = 5$  км,  $L_1 = 10$  км

| № п/п | Напряжение ВЧ сигнала, В, рад. | Ток ВЧ сигнала, А, рад. | Погрешности $\delta$ (значения суммарных затуханий $\alpha_{\text{сум}}$ указаны в скобках), в зависимости от частоты ВЧ сигнала и протяженности контролируемого участка, % |                |
|-------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|       |                                |                         | 7,55 кГц, 10 км                                                                                                                                                             | 15,1 кГц, 5 км |
| 1     | 50 Exp(0)                      | 0.2Exp(-jPi/6)          | -1,0 (0,46)                                                                                                                                                                 | -0.7 (0,022)   |
| 2     | 50 Exp(0)                      | 0.7Exp(-jPi/6)          | -0.2 (0,46)                                                                                                                                                                 | -0.3 (0,022)   |
| 3     | 100 Exp(0)                     | 0.3Exp(-jPi/6)          | -0,6 (0,46)                                                                                                                                                                 | -0,8 (0,022)   |
| 4     | 200 Exp(0)                     | 0.7Exp(-jPi/6)          | -0,6 (0,46)                                                                                                                                                                 | -0,8 (0,022)   |
| 5     | 200 Exp(0)                     | 0.2Exp(-jPi/6)          | -0,5 (0,46)                                                                                                                                                                 | -0,8 (0,022)   |

С проведением расчетов, аналогичным вышеприведенным в таблице 3 получены погрешности измерения волнового сопротивления для некоторых значений  $L$  и  $L_1$ ,  $C = 1000$  пФ, согласно рисунку 4.5 [5].

### Список литература

1. Кабашов В. Ю. Повышение надежности сельских воздушных линий электропередачи 10 (6) кВ в условиях воздействия ветровых и гололедных нагрузок. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва 2011.
2. Патент №2732037 «Способ мониторинга гололедно-ветровых нагрузок воздушных линий электропередач». Опубликовано: 10.09.2020 Бюл. № 25, Гаджибабаев Г.Р., Гаджибабаев Э.Г.
3. Шкарин Ю.П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи (ч.1, ч.2). М., МТФ «Энергопресс». Энергетик», 2001. 216 с.
4. Матвеев Д.А., Гилязов М.З. Входные емкости силовых трансформаторов и автотрансформаторов для расчета грозовых и высокочастотных перенапряжений. Журнал Энергоэксперт, № 4 – 2011, с. 40 – 43.
5. Микуцкий Г. В., Скитальцев В. С. Высокочастотная связь по линиям электропередач. М.: Энергия, 1987. – 448 с.

## РАЗВИТИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН В ПЕРИОД НЕЗАВИСИМОСТИ

Назаров Бобожон Исматиллоевич, докторант PhD 2-го года обучения

Джураев Дадахон Собирджонович, к.т.н., ст. преподаватель

Худжандский политехнический институт Таджикского технического  
университета им. академика М.С.Осими, г.Худжанд, Таджикистан

**Аннотация:** Рассмотрены проблемы эффективного и надежного использования гидроэнергетического ресурса Республики Таджикистана и пути их решения. В целях развития гидроэнергетики страны, приняты стратегические программы по реабилитации, внедрение новых технологий и использования современных автоматизированных систем по управлению. Составлены перспективные планы по строительству несколько крупных гидроэлектростанций, а также строительство малых гидроэлектростанций на речках горных районов республики.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, гидроэнергетика, гидроэнергетический ресурс, электроэнергия, выработка, реабилитация, Республика Таджикистан, независимость.

Гидроэлектростанция (ГЭС) – электростанция, использующая в качестве источника энергии энергию водных масс в русловых водотоках и приливных движениях. Главную роль в функционировании электроэнергетической системы (ЭЭС), содержащей ГЭС занимают процессы производства электроэнергии и их физические основы. [1].

Таджикистан - это страна гор и рек, 93% его территории составляют горы. Самое сокровенное богатство республики – её реки и озера, имеющее системно – ледниковое питание. Республика Таджикистан является одной из самых обеспеченных этим возобновляемым и экологически чистым источником энергии. Таджикистан занимает 8 – ое место в мире по запасам гидроэнергоресурсов. Потенциальные возможности выработки гидроэлектроэнергии оцениваются в 527 млрд.кВт\*час/год, но использует всего 16 – 17 млрд.кВт\*час(менее 5%). В случае полного их использования республика может стать крупнейшим экспортером электроэнергии в регионе. Наличие гидроэнергоресурсов определило направление развития энергетики республики по пути строительства ГЭС, что, в свою очередь, создало возможность размещения в Таджикистане энергоёмких производств.

Крупнейшими гидроэлектростанциями республики являются Нурекская ГЭС на реке Вахш мощностью 3000 МВт (1972-1979г.), со среднегодовой выработкой электроэнергии более 11,2 млрд. кВт\*час. и Байпазинская ГЭС мощностью 600 МВт (1988г.), с годовой выработкой электроэнергии 2,5 млрд. кВт\*час. Сангтудинская ГЭС-1 (2009 г.), с установленной мощностью 670 МВт, с годовой выработкой электроэнергии 2,7 млрд.кВт\*час, Сангтудинская ГЭС-2, с установленной мощностью 220 МВт (2011 г), годовая выработка электроэнергии 0,9 млрд.кВт\*час. Кроме того, на реке Вахш построены и успешно работает Каскад Вахшских ГЭС, три гидроэлектростанции, с общей мощностью 285 МВт (1962г.), с годовой выработкой электроэнергии 1,6 млрд.кВт\*час, на реке Варзоб -Каскад Варзобских ГЭС общей мощностью 25 МВт (1936-1949г.), на реке Сырдарья - Кайраккумская ГЭС мощностью 126 МВт (1958г.), с годовой выработкой 0,7 млрд.кВт\*час, на Памире, на реке Гунт Хорогская ГЭС (1971-1973) и Памирская ГЭС-1 (1984-2005) с общей мощностью 37 МВт. Итого в Таджикистане выработка электроэнергии в год составляет около 20 млрд.кВт\*час. Но из-за устаревания оборудования на многих гидроэлектростанциях вырабатываемая электроэнергия составляет меньше своего номинала.

В 2018 году 16 ноября состоялся запуск первого агрегата одного из крупнейшей гидроэлектростанции в Центральной Азии Рогунский ГЭС с мощностью 120 МВт и в 9 сентября 2019 году в честь Дня независимости Таджикистана был запущен второй агрегат с такой же мощностью как первый. Рогунская ГЭС строящаяся гидроэлектростанция на реке Вахш и входит в состав Вахшского каскада, являясь верхней ступенью. Рогунская ГЭС представляет собой ГЭС приплотинного типа с высотной каменно-набросной плотиной. Каменно-набросная плотина с противофильтрационным ядром из суглинка высотой 335 м и объемом 73,6 млн.м<sup>3</sup>. После завершения проекта, плотина ГЭС станет самой высокой в мире. Проектная мощность ГЭС 3600 МВт, среднегодовая выработка – 13,8 млрд.кВт\*час. В здании ГЭС будут установлены шесть гидроагрегатов мощностью по 600 МВт с радиально-осевыми турбинами. По состоянию на 2021 год эксплуатируются два гидроагрегата мощностью по 120 МВт, турбины которых работают на временных рабочих колёсах, с генераторами типа СВ 1140/280-48 УХЛ4. В годы 2018-2019 среднегодовая выработка 1,6 млрд.кВт\*час. Ввод в эксплуатацию всех шести гидроагрегатов заплани-

рован в конце 2029 года.

В целях эффективного и надёжного исполнения своих задач, а также в соответствии с Государственной Стратегией развития и инвестиционной Программой реабилитации производственной базы, внедрения новых технологий в настоящее время в энергетическом секторе Республики Таджикистан осуществляется реализация ряда организационных и технических мероприятий:

- восстановление и реабилитация существующего электроэнергетического комплекса;
- повышение генерирующего потенциала, в том числе за счёт строительства новых объектов и модернизации действующих генерирующих станций;
- развитие транспортной инфраструктуры энергосистемы, в том числе реабилитация действующих и строительство новых подстанций и линий электропередач различных классов напряжений;
- использование современных автоматизированных систем диспетчерского управления и учёта энергии;
- повышение энергоэффективности, снижение технологических и коммерческих потерь электроэнергии, повышение экономической эффективности энергосистемы [2].

В настоящее время из-за устаревшего оборудования в некоторых гидроэлектростанциях республики начата их реабилитация. В 2019 году было запущена проект “Реабилитация Нурекской ГЭС”. Реализация проекта по модернизации Нурекской ГЭС позволит увеличить производственную мощность гидроэлектростанции с 3000 МВт до 3300 МВт. Таким образом, после полной модернизации ГЭС, ее мощность увеличится на 10%. В том же году 23 августа на севере Таджикистана была запущена ещё одна проект по модернизации Кайраккумской гидроэлектростанции. Кайраккумская ГЭС находится на реке Сырьдарье в городе Гулистоне (бывший Кайраккум, который в 2016 году был переименован в Гулистон). Кайраккумская ГЭС была построена и сдана в эксплуатацию в 1958 году. Мощность станции составляет 126 МВт. В ходе модернизации планируется замена шести турбин и генераторов, а также части вспомогательных систем. Общая установленная мощность станции будет увеличена на 38% и составит 176 МВт. На работы отведены 57 месяцев, таким образом, гидроэлектростанция будет полностью модернизирована к 2023 году.

Достижение энергетической независимости определено Правительством Республики Таджикистан в качестве одной из трех стратегических задач в рамках Национальной стратегии развития до 2030 года. В Национальной стратегии развития Таджикистана до 2030 года в энергетической части определены основные индикаторы – “10/10/10/10-500”, что обозначает увеличения установленной мощности генерации до 10 ГВт, снижение технических и коммерческих потерь в сетях до 10%, увеличение экспорта электроэнергии до 10 млрд.кВт\*час в год, диверсификация источников генерации на 10% и дополнительное получение более 500 млн.кВт\*час в год за счет возобновляемых источников энергии и применения энергоэффективных технологий [4]. Сегодня около 95% электроэнергии вырабатывается на гидроэлектростанциях.

В 2020 году Таджикистан выработал, в общей сложности, 19 млрд. 770,5 млн. кВт\*час электроэнергии. На экспорт из этого пошло 1 млрд. 528,4 млн. кВт\*час электроэнергии на сумму более \$56,4 млн. Выработанной электроэнергии по сравнению с 2019 годом меньше на 905,7 млн. кВт\*час. За последние четыре месяца 2020 года в Таджикистане поэтапно увеличилась поставки электроэнергии соседним странам почти на 80%. В сентябре прошлого года таджикская электроэнергия поставлялась внешним потребителям на сумму более \$1,9 млн, в октябре – около \$2 млн, в ноябре – свыше \$2,7 млн, а в декабре – почти \$3,4 млн. В целом за 2020 год экспорт электроэнергии осуществлен на сумму более \$56,4 млн, что на 40% меньше чем в 2019 года [3].

В «таблице 1» приведены проекты крупных и малых гидроэлектростанций которые находятся на плане.

Таблица 1 - Крупные и малые гидроэлектростанции в перспективе

| № п/п                       | Наименование крупных гидроэлектростанций | Мощность, МВт |
|-----------------------------|------------------------------------------|---------------|
| Крупные гидроэлектростанции |                                          |               |
| 1.                          | Даштиджумский                            | 4000          |
| 2.                          | Джумар                                   | 2000          |
| 3.                          | Хаставский                               | 1200          |
| 4.                          | Ширгават                                 | 1000          |
| 5.                          | Шураб                                    | 850           |
| 6.                          | Язгулам                                  | 830           |
| 7.                          | Гарм                                     | 400           |
| 8.                          | Кокчин                                   | 350           |

|                           |              |              |
|---------------------------|--------------|--------------|
| 9.                        | Пиш          | 320          |
| 10.                       | Баршор       | 300          |
| 11.                       | Нурабад-1    | 200          |
| 12.                       | Санобад      | 200          |
| 13.                       | Нурабад-2    | 160          |
| 14.                       | Айни         | 160          |
| 15.                       | Зарафшон     | 150          |
| 16.                       | Фондарья     | 135          |
| 17.                       | Обурдан      | 120          |
| Малые гидроэлектростанции |              |              |
| 1.                        | Домбрачи     | 15           |
| 2.                        | Себзор       | 11           |
| 3.                        | Хафткул-1    | 10           |
| 4.                        | Хафткул-2    | 8            |
| 5.                        | Искандардарё | 6            |
| 6.                        | Назармерган  | 4,7          |
| 7.                        | Ёрмазор      | 2,3          |
| <b>Итого</b>              |              | <b>12432</b> |

Таблица 2 - Мощности электростанции Республики Таджикистан на период независимости

| Годы                                                          | 1991      | 1995      | 2000      | 2005      | 2010      | 2015      | 2019      |
|---------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Все электростанции                                            |           |           |           |           |           |           |           |
| Установленная мощность, МВт                                   | 4438      | 4451      | 4424      | 4404      | 5105      | 5414      | 6700      |
| Производство электроэнергии, млн. кВт*час                     | 1759<br>7 | 1476<br>8 | 1424<br>7 | 1709<br>0 | 1643<br>5 | 1690<br>0 | 2070<br>0 |
| Гидроэлектростанции:                                          |           |           |           |           |           |           |           |
| Установленная мощность ГЭС, МВт                               | 4044      | 4069      | 4069      | 4071      | 4787      | 4997      | 6100      |
| Производство электроэнергии ГЭС, млн. кВт*час                 | 1639<br>1 | 1459<br>6 | 1402<br>5 | 1696<br>7 | 1640<br>1 | 1660<br>7 | 1910<br>0 |
| Импорт, экспорт и потребление электроэнергии:                 |           |           |           |           |           |           |           |
| Импорт электроэнергии из-за пределов республики, млн. кВт*час | 6941      | 4860      | 5242      | 4637      | 432       | 7         | 294       |
| Экспорт электроэнергии за пределы рес-                        | 5390      | 4198      | 3909      | 4402      | 286       | 1353      | 3175      |

|                                             |           |           |           |           |           |           |           |
|---------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| публики, млн.кВт*час                        |           |           |           |           |           |           |           |
| Потреблено электро-<br>энергии, млн.кВт*час | 1914<br>8 | 1543<br>0 | 1558<br>0 | 1732<br>5 | 1658<br>1 | 1562<br>0 | 1683<br>0 |

В «таблице 2» приведены данные о выработанных электроэнергии в республике в годы независимости с учетом гидроэлектростанций и других источников энергии, а также экспорт электроэнергии на другие страны как Афганистан, Узбекистан и Киргизстан, полученные электроэнергии из других стран и потребление [5].

**Вывод.** Итак, гидроэнергетика республики в течение периода независимости не очень так и ни изменялось. Но на некоторых гидроэлектростанциях уменьшились выработка электроэнергии, из-за того, что они уже отслужили свой срок годности. А также в республике до сих пор используется менее 5% гидроэнергетического ресурса.

Отсюда требуется всесторонняя научная экономическая и техническая проработка возможных основных направлений эффективного использования потенциала энергетических ресурсов и внедрение новых технологий, создание малых гидроэлектростанций а также использование возобновляемых источников энергии.

### Список литературы

1. Chao Ma. Short-term hydropower dispatching optimization of cascaded hydropower stations based on two-stage optimization. 2010 2nd International Conference on Industrial and Information Systems, IIS 2010; United States. IEEE Press; 2010. Vol.1. pp.230-233.
2. <http://energo-cis.ru/file/2017> Электроэнергетика Республики Таджикистан.
3. <http://polpred-com/news>
4. <http://www.mewr.tj/> Производство и потребление.
5. <http://www.stat.tj/> Макроэкономические показатели.

## ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**Жуков Артём Алексеевич, студент,  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»**

*Аннотация:* В статье рассмотрены проблемы энергетического сектора и пути их решения. Это исследование включает в себя подробный анализ глобальных проблем, стоящих перед энергетической отраслью.

*Ключевые слова:* энергетический сектор, спрос, проблемы, решения, энергия, инновации

За последние 25 лет спрос на электроэнергию значительно возрос; ее значение таково, что в настоящее время она является жизненно важным компонентом экономического прогресса любой страны. Увеличение численности населения привело к увеличению потребностей в энергии в сочетании с индустриализацией и социально-экономическими обязанностями; энергоснабжение не поспевает за спросом. Это привело к мрачному энергетическому сценарию, при котором производство и использование электроэнергии из альтернативных источников энергии стало очень необходимой. В промышленном контексте электрическая энергия используется для получения желаемой продукции при наличии всего необходимого сырья [1]. Промышленный сектор является крупнейшим потребителем всей электроэнергии, которая коммерчески вырабатывается для утилизации, и перерабатывающих отраслей, таких как удобрения, цемент, сахар, текстиль, алюминий, бумага и т.д.; являются чрезвычайно энергоемкими по своей природе. Для сокращения растущего разрыва между спросом и предложением необходимо либо генерировать больше промышленной энергии, либо снизить существующее потребление энергии без какого-либо ущерба для качества или количества продукции. Темпы роста внутреннего сектора легко превосходят темпы роста промышленного сектора. В случае нехватки электроэнергии промышленный сектор получает преимущество перед другими секторами, таким образом, внутренний сектор всегда несет основную тяжесть длительных или постоянных отключений электроэнергии. Влияние роста цен на энергоносители оказывает катастрофическое воздействие на повседневную деятельность промышленных и бытовых потребителей, при этом цены на товары, продукты и даже основные услуги, как правило, стоят дороже. В связи с ростом цен на энергоносители, непосредственно влияющим на цены на продукцию, в дополнение к увеличению разрыва между спросом и предложением энер-

гии, отраслям рекомендуется заниматься энергосбережением в дополнение к использованию нескольких источников энергии. Это можно точно оценить, проведя соответствующий энергетический аудит.

Хороший и всесторонний энергоаудит приведет к составлению списка вариантов энергосбережения, которые могут быть приняты. Подробное обсуждение результатов аудита приводит к разработке программы управления энергопотреблением. Некоторые из вариантов энергосбережения требуют дополнительных инвестиций. Для крупных инвестиций анализ стоимости жизненного цикла (LCC) является полезным инструментом, поскольку он оценивает предложение в течение разумного периода времени с учетом всех соответствующих затрат и временной стоимости денег [2]. Также важно помнить, что для внедрения возобновляемых источников энергии в процесс необходимы дополнительные системы, которые касаются вопросов качества электроэнергии. Информационная система управления энергопотреблением (EMIS) - это специализированное программное прикладное решение на базе ИТ, которое обеспечивает регулярный сбор и анализ энергетических данных, используемых в качестве инструмента для непрерывного управления энергопотреблением. EMIS предоставляет конфиденциальную информацию для управления энергопотреблением во всех аспектах и, следовательно, является важным элементом программы управления энергопотреблением. Вся организация должна продемонстрировать свою приверженность управлению энергией, проводя четко определенную энергетическую политику. Энергетическая политика должна быть окончательной, прямой и достаточно мотивирующей, чтобы все сотрудники могли внести свой вклад в достижение целей организации [3].

Таким образом, управление энергопотреблением в промышленных коммунальных службах-это выявление и реализация возможностей энергосбережения, что делает его технической и управленческой функцией, требующей участия всех сотрудников, чтобы энергия использовалась с максимальной эффективностью.

#### **Список литературы**

1. Блюмин С.Л., Правильникова В.В. Система управления микроклиматом здания с прогнозированием ресурсопотребления // Экология центрально-черноземной области Российской Федерации. - 2014. - №1-2 (32-33). - С. 198-203.
2. Телегин В.В. Компьютерное моделирование эффективности использования систем альтернативной энергетики // Естественные и технические науки. - 2012. - №5 (61). - С. 309-312.
3. Шаратов А.И., Мякотина Е.Ю., Пешкова А.В. Энергосбережение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха // Проблемы современной науки. - Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2016. - С. 296-298.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЕАМ-СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Наушаева Айгуль Сагындыковна,**

студентка 3го курса специальности среднего профессионального образования 09.02.04 «Информационные системы (по отраслям)»

**Джамбеков Азамат Матифулаевич,**

научный руководитель, к.т.н., преподаватель отделения «Связь и телекоммуникации» факультета среднего профессионального образования Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань

*Аннотация.* Методология ЕАМ предоставляет возможность за счет использования информационных технологий, не покупая новое оборудование, увеличить производственную мощность предприятия. ЕАМ-системы дают возможность согласованно управлять следующими процессами: техническое обслуживание и ремонт; материально-техническое снабжение; управление складскими запасами (запчасти для технического обслуживания); управление финансами, качеством и трудовыми ресурсами в части технического обслуживания, ремонтов и материально-технического обеспечения. Ремонт оборудования энергетики по фактическому состоянию способен: уменьшить количество расходов на обслуживание от 35% до 75%; сократить количество беспричинных обслуживаний от 50% до 70%; ослабить число отказов.

*Ключевые слова.* ЕАМ-система, карточка-паспорт оборудования, управление основными фондами, оборудование энергетики, ремонт по фактическому состоянию.

### ЕАМ-системы

ЕАМ-системы (Enterprise Asset Management Systems) – системы управления активами предприятия. По большей части, под активами подразумевают основные производственные фонды организации, в частности – оборудование [1].

Внедрение ЕАМ-решения в большей степени эффективно в горнодобывающей промышленности, металлургии, нефтяной и газовой промышленности, энергетике, машиностроении и т.д.

Для построения комплексных решений предусматривают интеграцию с системами управления закупками для обеспечения автоматической регистрации запросов и поступлений материально технического снабжения, например, деталей на склад.

При выборе наиболее подходящей для организации ЕАМ-системы

нужно детально проработать требования и соответствие их потенциальной системе, оценить перспективы по развитию решения, продумать вопрос по наличию собственных специалистов, поддерживающих решение, продумать процесс обучения и адаптацию решения в организации.

В зависимости от степени необходимости адаптации ЕАМ-системы под нужды организации средний срок внедрения системы составляет от нескольких недель до 2-3 лет и более.

### **Методология ЕАМ**

Методология ЕАМ предоставляет возможность за счет использования информационных технологий, не покупая новое оборудование, увеличить производственную мощность предприятия.

По историческим данным, ЕАМ-системы появились из CMMS-систем (систем управления ремонтами) [1]. На сегодняшний день модули ЕАМ считаются составляющими крупных пакетов управленческого программного обеспечения, таких как ERP-систем.

Абсолютно каждому ЕАМ-объекту, независимо от того, к какому уровню он принадлежит, присваивается карточка-паспорт. Она учитывает десятки административных, технических и экономических параметров оборудования. Также эта карточка-паспорт оборудования может иметь связь с корпоративной СУБД (Системой Управления Базами Данных) для передачи данных.

### **Предназначение ЕАМ-систем**

ЕАМ нацелена на оптимальное управление физическими активами и режимами их работы, рисками и расходами на протяжении всего жизненного цикла для достижения и выполнения стратегических планов организации. Применение ЕАМ-систем направлено на сокращение затрат технического обслуживания, ремонт и материально-техническое обеспечение без снижения уровня надежности или повышение качества работы оборудования без увеличения затрат [2].

ЕАМ-системы дают возможность согласованно управлять следующими процессами: техническое обслуживание и ремонт; материально-техническое снабжение; управление складскими запасами (запчасти для технического обслуживания); управление финансами, качеством и трудовыми ресурсами в части технического обслуживания, ремонтов и материально-технического обеспечения.

Достоинства ЕАМ-систем: сокращает трудоемкость процессов управления главными фондами; повышает показатели готовности оборудования и срок его работы; предоставляет совместное планирование ремонтов оборудования и уменьшает сроки их проведения; увеличивает производи-

тельность работы персонала по ремонту оборудования; сокращает объем запасов склада ТМЦ и повышает качество расходов на выполнение заявочной компании; способны оценить расходы и результативность деятельности подразделений по обеспечению работоспособности оборудования.

### **Применения ЕАМ-систем в энергетике**

В последнее десятилетие значительно увеличился интерес к развитию систем управления основными фондами (ЕАМ-систем). В нынешнее время многие предприятия с интересом начали заниматься изучением систем управления фондами, а также начали приобщаться к их возможностям и функционалу. На это есть объяснение: понимание полезности и необходимости таких систем, а также изменение экономической ситуации, которая позволила рассмотреть вопрос о внедрении ЕАМ-систем в свое предприятие.

Предприятия энергетической отрасли во всем мире различаются большим объемом основных фондов, значит и высоким количеством затрат на их техническое обслуживание и ремонты (ТОиР). Неординарностью подавляющего большинства энергетических предприятий часто является изношенность производственного оборудования и суровые климатические условия, это и увеличивает аварийные ситуации, преизбыточные затраты на поддержку работоспособности как основного, так и вспомогательного оборудования [3].

Во всех ЕАМ-системах имеются следующие виды технического обслуживания.

- По аварийному ремонту. Применяется к оборудованию, отказ от которого не вызывает аварии или простоя, а также тяжело и более или менее дорого прогнозировать его состояние. К достоинству такого вида обслуживания можно отнести то что, нет излишнего ремонта оборудования, дополнительных затрат на диагностику. Однако есть и недостатки: большой риск множественных отказов, высокая продолжительность отключений, внеурочные работы, высокая цена для запчастей, угроза безопасности.
- По календарному и планово-предупредительному ремонту. Используется по отношению к надзорному и застрахованному оборудованию, которое находится на гарантии. Отказ от обслуживания может привести к аварии. Достоинства: техническое обслуживание выполняется контролируемым образом, маленькая вероятность катастрофических отказов, большой контроль за запчастями и затратами, уменьшение общего числа отказов. К недостаткам можно отнести: ремонт оборудования при отсутствии неисправностей, большие затраты на обслуживание,

есть вероятность внеплановых отключений.

- По фактическому состоянию. Применяется к дорожному в обслуживании оборудованию. Отказ может привести к остановке или аварии и может вызвать множество проблем. К достоинству такого типа относится: уменьшение вероятности внеплановых отключений, заказ запчастей по мере их необходимости, составление плана по выполнению технического обслуживания, увеличивается срок службы оборудования. К недостаткам можно отнести: большие инвестиции и требование к дополнительной квалификации [3].

Технологические комплексы включают в себя как сложные компоненты, которые требуют, как ремонт по фактическому состоянию (РФС), так и процесс простого ремонта (ППР).

Позиции работ, которые могут возникать как в РФС, так и в ППР: перетяжка провода; замена стойки одностоечной деревянной опоры без подкоса при трех проводах; установка деревянного подкоса без приставки; ремонт выключателя; ремонт трехполюсного рубильника; окраска оборудования подстанции вручную; восстановление надписей на оборудование по трафарету; ремонт разъединителя с приводом; ремонт предохранителя; доливка масла в силовой трансформатор.

РФС – это та методология, применение которой может очень существенно повысить эффективность ЕАМ-системы.

Такой ремонт оборудования по фактическому состоянию способен: уменьшить количество расходов на обслуживание от 35% до 75%; сократить количество беспричинных обслуживаний от 50% до 70%; ослабить число отказов.

### **Список литературы**

1. ЕАМ-система / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ЕАМ-система> (дата обращения: 03.11.2021).
2. ЕАМ Системы. Общий обзор / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://osnova.ru/eam-sistemy-obshhij-obzor/> (дата обращения: 03.11.2021).
3. Системы управления основными фондами - прогрессивные методы в техобслуживании / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://isup.ru/articles/67/226/> (дата обращения: 03.11.2021).

## **ПЬЕЗОТРАНСФОРМАТОРНОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ УРОВНЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Седалищев Виктор Николаевич, д.т.н., профессор  
Краев Роман Владимирович, аспирант,  
ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет**

Приведено описание принципов построения и особенностей функционирования датчиков уровня сыпучих материалов, применимых для эксплуатации на тепловых электростанциях (ТЭС) в условиях высоких температур, сильных механических воздействий. Разработанные устройства предназначены для контроля уровня золы в бункерах систем золоудаления, уровня угольной пыли в системах подготовки топлива. В качестве чувствительных элементов датчиков используются составные пьезотрансформаторы с согласованными размерами, представляющие собой колебательные системы с двумя степенями свободы. Реализация дифференциальной схемы формирования выходного сигнала датчика, позволила существенно уменьшить влияние различных дестабилизирующих факторов. Описан механизм чувствительности датчика, представлены результаты имитационного моделирования его работы.

*Ключевые слова:* датчик уровня сыпучих материалов; составной пьезотрансформатор; колебательная система с двумя степенями свободы; имитационное моделирование.

В настоящее время существуют определенные трудности контроля уровня сыпучих материалов на тепловых электростанциях (ТЭС), работающих на угле. В частности, в системах контроля уровня пылеугольной смеси в системах топливоподачи, контроля уровня золы в бункерах систем золоулавливания. Применяемые для этих целей датчики уровня должны обладать высокой чувствительностью к измеряемым параметрам и быть устойчивы к сильным механическим и тепловым воздействиям. Датчики уровня сыпучих материалов, используемые в настоящее время на ТЭС, не удовлетворяют в полной мере предъявляемым требованиям.

К настоящему времени для этой цели наиболее широкое применение нашли электромеханические преобразователи, в которых для возбуждения механических колебаний и съема выходного сигнала используется пьезоэффект. Датчики такого типа имеют простую конструкцию, низкую стоимость, надежны в работе, технологичны в изготовлении [1,2,3].

К основным недостаткам измерительных устройств такого типа мож-

но отнести малый диапазон рабочих температур и возможность разрушения пьезоэлементов в результате сильных механических воздействий. С целью устранения этих недостатков было разработано новое поколение пьезорезонансных датчиков, основанное на использовании связанных колебаний в сложных динамических системах с конечным числом степеней свободы и в системах с распределенными параметрами [4].

Чувствительные элементы таких датчиков могут состоять из двух и более взаимосвязанных резонаторов, что позволило повысить чувствительность датчиков к измеряемым параметрам, снизить влияние дестабилизирующих факторов, расширить функциональные возможности и область их практического применения. К настоящему времени на их основе были разработаны и внедрены опытные образцы измерительных устройств различных типов [5].

На рисунке 1 представлено устройство датчика уровня сыпучих материалов на базе составного пьезоэлектрического трансформатора (ПЭТ) с согласованными размерами. Чувствительный элемент датчика состоит из дискового ПЭТ с системой входных и выходных обкладок, элемента акустической связи (ЭС) и металлического вибратора (В).

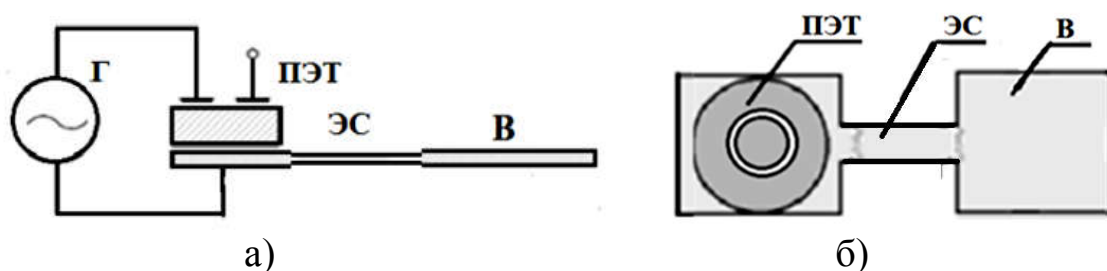


Рисунок 1 – Структурная схема (а) и конструкция чувствительного элемента (б) датчика на базе составного ПЭТ

Принцип работы такого преобразователя основан на управлении в функции измеряемого воздействия величины акустических потерь и контактной жесткости вибратора. Теоретической базой для описания механизма чувствительности датчика такого типа могут служить результаты исследования связанных колебаний в системе с двумя степенями свободы [6].

Точное аналитическое описание динамических процессов в реальных системах является достаточно трудной задачей. Формулы, описывающие выходные характеристики измерительного преобразователя (ИП) на основе взаимосвязанных резонаторов имеют громоздкий вид, ненаглядны. В связи с этим было выполнено имитационное моделирование режимов работы ИП с использованием эквивалентной электрической схемы замещения (ЭЭСЗ) ИП в виде двух взаимосвязанных контуров (рисунок 2).

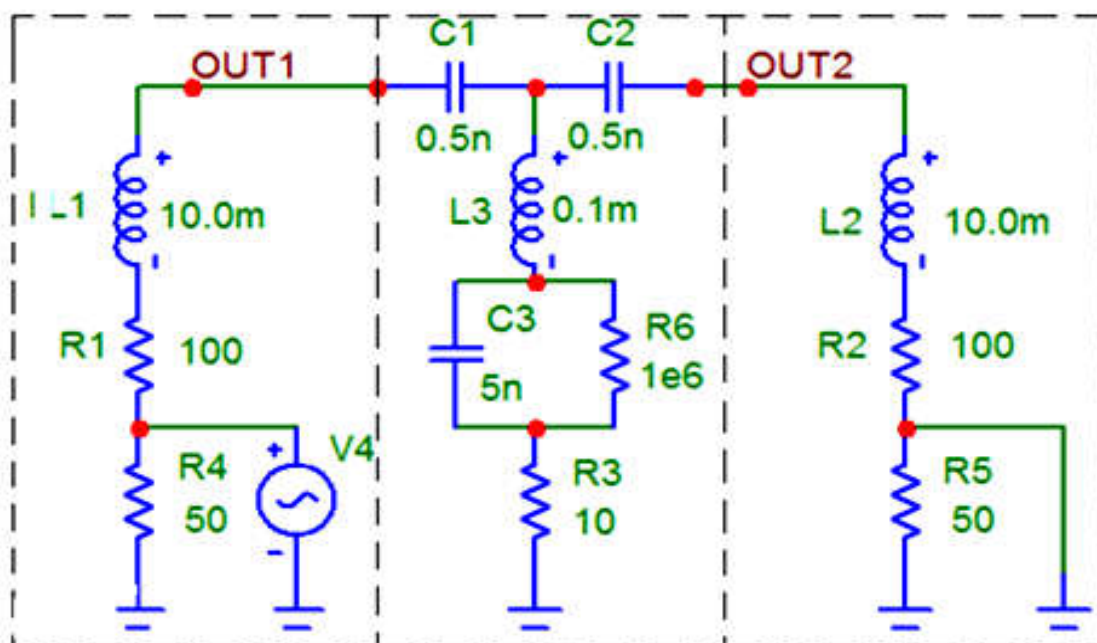
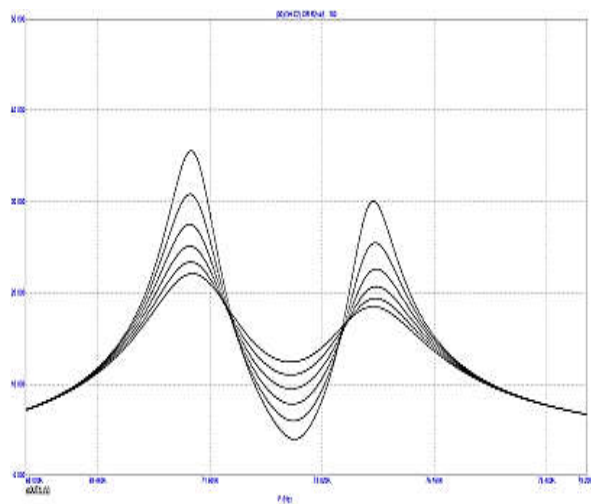
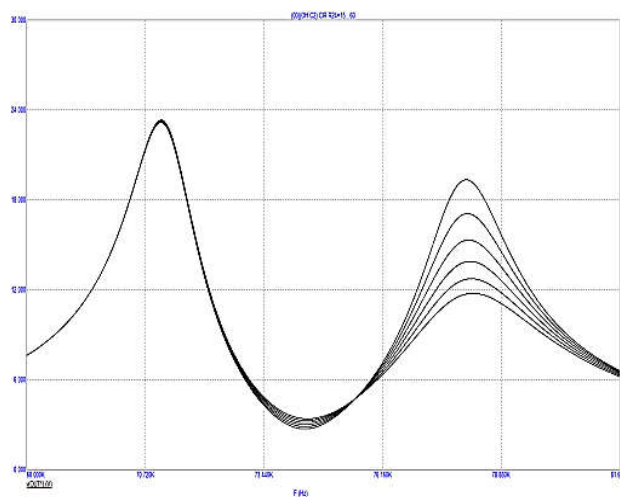


Рисунок 2 – ЭЭСЗ ИП на базе составного ПЭТ

На рисунках 3, 4 представлен характер изменения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) составного ПЭТ при изменении параметров вибратора и элемента связи, отражающие механизм чувствительности датчика уровня сыпучих материалов.



а)



б)

Рисунок 3 – Влияние уровня сыпучего материала на АЧХ составного ПЭТ в результате диссипации колебаний вибратора (а) и элемента связи (б)

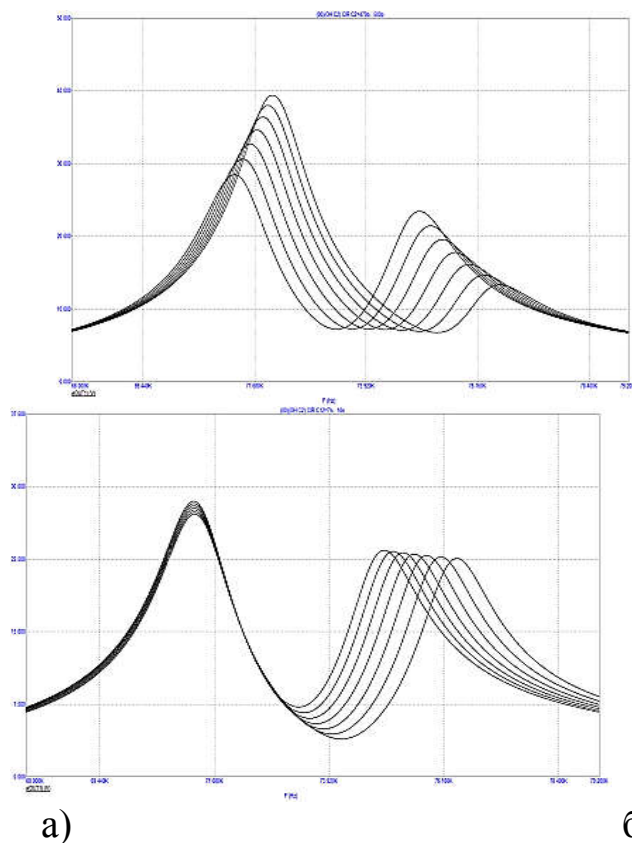


Рисунок 4 – Влияние уровня сыпучего материала на АЧХ ПЭТ в результате изменения контактной жесткости вибратора (а) и элемента связи (б)

Как следует из приведенных графиков изменения параметров вибратора и элемента связи приводит к соответствующим изменениям амплитуд и частот связанных колебаний в системе, что может быть использовано для создания датчиков уровня сыпучих материалов с амплитудным и частотным выходом.

Создание ИП с двумя степенями свободы предоставляет возможность создания датчиков с дифференциальным (логометрическим) выходом. При модуляции акустических потерь с поверхности ЭС в качестве выходного сигнала датчика может быть использована разность (отношение) выходных напряжений ПЭТ, измеренных на нормальных частотах синфазных и противофазных колебаний в системе.

При управлении добротностью вибратора происходят разнонаправленные изменения выходных напряжений ПЭТ на парциальной частоте и нормальной частоте синхронизации (НЧС) связанных колебаний в системе.

При управлении жесткостью элемента связи наиболее сильно изменяется НЧС противофазных колебаний в системе. Это связано с тем, что на частоте противофазных колебаний ЭС участвует в колебаниях, а на НЧС синфазных колебаний не происходит взаимообмена энергией между

контурами [7].

На рисунке 5 представлены конструкция датчика уровня сыпучих материалов на базе составного ПЭТ с протяженным элементом связи и один из возможных способов установки его в емкости.

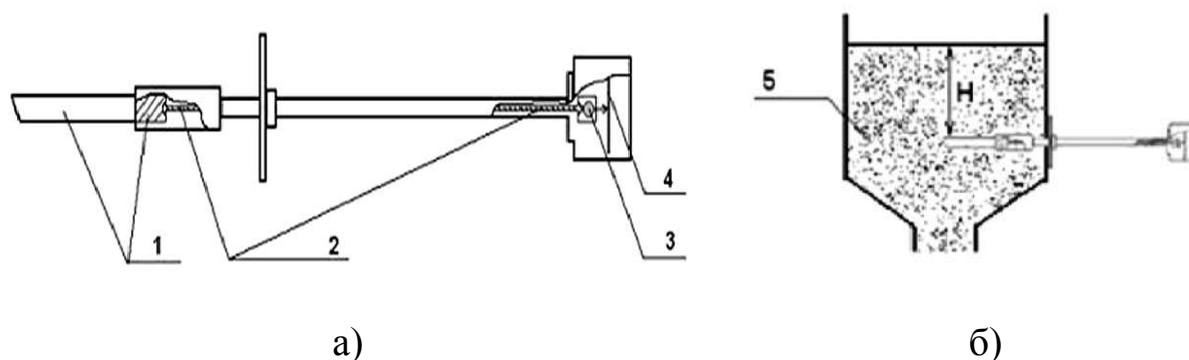


Рисунок 5 – Устройство датчика уровня сыпучих материалов на базе составного ПЭТ с протяженным элементом связи (а) и вариант установки его в емкости (б):

1 – вибратор; 2 – элемент связи; 3 – ПЭТ; 4 – электронный блок;  
5 – контролируемая среда

К достоинствам устройства контроля уровня сыпучих материалов на базе составного ПЭТ можно отнести высокую чувствительность, простоту конструкции, низкую стоимость, возможность использования в тяжелых условиях эксплуатации.

### Список литературы

1. Малов В. В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
2. Седалищев В. Н., Хомутов О. И. Высокочувствительные пьезорезонансные датчики с использованием связанных колебаний для экстремальных условий эксплуатации: монография. – Барнаул, Изд-во Алт. техн. ун-та, 2006. - 184 с.
3. Седалищев В. Н. Пьезотрансформаторные измерительные преобразователи: монография. - Барнаул, Изд-во Алт. ун-та, 2015. – 167с.
4. Андронов А. А., Хайкин С. Е., Витт А. А. Теория колебаний. - М.: Наука, 1981. - 563 с.
5. Sedalischew V., Sergeeva Ya. Simulation of measuring transducers based on inter connected piezoresonators//X International Conference on High-performance computing systems and technologies in scientific research, automation of control and production (HPCST) 2020. Barnaul, 24-25 April 2020. / J. Phys.: Conf. Ser. Vol. 1615, article: 012030.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ СЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ 220 КВ И ВЫШЕ И ОБЪЕКТОВ ГЕНЕРАЦИИ 25 МВТ И БОЛЕЕ**

**Гюльмагомедова Гюльнара Самудиновна, студент,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический уни-  
верситет», г.Махачкала**

Утвержденная правительством РФ в прошлом году новая Энергетическая стратегия России закрепила внедрение цифровых технологий дистанционного управления энергетическими объектами в качестве одного из магистральных направлений развития отрасли на перспективу до 2035 года. За 15 лет в ЕЭС России должен быть осуществлен переход на 100-процентное автоматическое дистанционное управление режимами работы сетевых объектов 220 кВ и выше и объектов генерации 25 МВт и более. Таким образом, развитие новой технологии признано без преувеличения задачей государственной значимости.

*Ключевые слова:* автоматическое управление, генерация, электросетевое оборудование, дистанционное переключение.

Внедрение и применение автоматического дистанционного управления применимо только к объектам, технологически готовых к этому. В настоящее время к автоматическому дистанционному управлению готовы только подстанции нового поколения, т.е. только некоторые электросетевые объекты электроэнергетики.

Внедрение дистанционного управления имеет сразу множество положительных эффектов:

### **1. Общесистемные**

- Повышение точности, надежности и эффективности управления режимами работы энергосистемы.
- Ускорение восстановления режимно-балансовой ситуации в ЕЭС России при предотвращении развития и ликвидации аварий.
- Сокращение длительности ограничения электроснабжения потребителей электроэнергии.
- Кратное снижение продолжительности неоптимальных режимов энергосистемы.

## 2. Экономические

- Увеличение времени работы энергосистемы по плановому графику и, как следствие, снижение необходимости загрузки дорогой генерации в ситуациях непланового отклонения потребления или изменения топологии сети.

- Повышение экономической эффективности объектов генерации за счет перехода на внутричасовой цикл расчета планов балансирующего рынка.

- Сокращение расходов на техническое обслуживание оборудования за счет снижения степени ее износа.

- Сокращение расходов за счет оптимизации численности оперативного персонала.

- Получение экономической выгоды за счет участия в автоматическом третичном регулировании (для владельцев генерирующих объектов)

## 3. Технологические

- Увеличение скорости и надежности доведения плановых диспетчерских графиков и диспетчерских команд.

- Сокращение длительности выполнения режимных мероприятий, в том числе времени производства оперативных переключений.

- Оптимизация схем оперативного обслуживания объектов электроэнергетики

- Эффективная интеграция в энергосистему ВИЭ, имеющих переменные графики нагрузки

## 4. Организационные

- Снижение риска ошибочных действий оперативного персонала при производстве оперативных переключений.

- Снижение нагрузки на оперативный персонал

- Повышение безопасности оперативного персонала

Дистанционное управление объектами сейчас либо уже реализовано, либо активно развивается во всех крупных энергосистемах мира. Целесообразность внедрения таких инноваций обусловлена необходимостью поддержания эффективной работы энергосистем – за последние десятилетия они стали значительно больше, сложнее, и этот процесс постоянно продолжается.

| Оборудование                                                                                                                                               |  Время выполнения операций традиционным способом |  Время выполнения операций с использованием АПП |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <b>Выключатель</b><br>(отключение, разборка схемы)                       | 15–20 мин                                                                                                                         | 1 мин 21 с                                                                                                                         |
|  <b>Система шин</b><br>(отключение, разборка схемы)                       | 20–60 мин                                                                                                                         | 4 мин 28 с                                                                                                                         |
|  <b>Автотрансформатор</b><br>(отключение, разборка схемы)                 | 30–40 мин                                                                                                                         | 2 мин 13 с                                                                                                                         |
|  <b>Линия электропередачи</b><br>(отключение, разборка схемы, заземление) | 40–90 мин                                                                                                                         | 2 мин 19 с                                                                                                                         |

**Рисунок - Время выполнения операций с «ручным» переключением и с дистанционным управлением с использованием АПП.**

Чтобы понимать, насколько автоматизированное дистанционное управление улучшает стабильность функционирования энергосистемы, достаточно сравнить показатели «ручных» переключений, которые осуществляются оперативным персоналом объекта по командам диспетчера, с переключениями при использовании системы дистанционного управления с АПП (рисунок 1).

В этом случае компьютер сам реализует сложный алгоритм переключения, осуществляя пошаговую проверку выполнения каждой операции и получая подтверждения от АСУ ТП объекта. Во-вторых, дистанционное управление коммутационными аппаратами объектов электроэнергетики принесет безусловную пользу владельцам объектов.

### Список литературы

1. Астафьев, В.Е. Экономика электрического производства, М, «Высшая школа», 2009 - 126с.
2. Багиев, Г.А. Организация, планирование и управление промышленной энергетикой. М.: Высш. шк., 2008. - 361 с.
3. Реформа предприятий: метод. рекомендации. М.: Ось-89, 2009. - 124 с.
4. Романова, Л.Е. Анализ хозяйственной деятельности: Учебное пособие для высших учебных заведений. М.: Юрайт - издат. 2004. - 220 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Салихова Джамиля Набиюлаевна, студент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический  
университет», г.Махачкала**

Многие исследователи в области энергетики обращаются к инновационным технологиям, в частности, искусственному интеллекту, с целью найти новые способы создания и извлечения выгоды из цифровых технологий. Ключевой задачей является устранение проблем и недостатков – узких мест – при переходе на энергоносители.

*Ключевые слова:* цифровизация, инновации, устойчивая энергетика, искусственный интеллект, узкие места, энергетическая система

Являясь основной системой энергоснабжения и самой сложной искусственной системой, электроэнергетическая система претерпевает революционные изменения, включая возобновляемые источники энергии, сложные сети с огромной передачей данных и многочисленные силовые устройства с особенностью двунаправленного потока энергии. Разработка интеллектуальной энергетической системы становится всё более актуальной для продвижения революции производства и потребления электроэнергии и построения чистой, безопасной и эффективной энергетической системы. В настоящее время искусственный интеллект, как недавно разработанная научная технология, используемая для имитации, растяжения и расширения теории, метода, технологии и применения человеческого интеллекта, оказывает большую поддержку для продвижения революции интеллекта в электроэнергетической системе. Таким образом, безопасность, надежность и гибкость электросети могут быть значительно улучшены. Революция электроэнергетической системы может быть сильно ускорена.

В последнее время большое внимание уделяется новым способам создания и извлечения выгоды из децентрализованного производства и потребления энергии. Исследования в области энергетики и социальные науки обращают внимание на инновации бизнес-моделей и появление общественных солнечных батарей, эффекты одноранговой торговли электроэнергией и возможности для улучшения управления распределением энергии.

Последние достижения в области цифровизации указывают на фундаментальные последствия для бизнеса во всех отраслях. Эффективные цифровые технологии, такие как блокчейн, открывают новые формы цифровых транзакций в финансовой индустрии и за её пределами. Цифровые технологии создают новую основу для индустрии совместного использования и обеспечивают новые связи и взаимодействия между различными заинтересованными сторонами. В целом цифровые платформенные технологии открывают широкий спектр новых возможностей и открывают многосторонние рынки.

Различные виды неэффективности, которые принято называть узкими местами, нарушают энергетический переход. Несмотря на то, что устранение узких мест является важной задачей для предпринимательства особый интерес представляет понимание того, как устраняются конкретные узкие места с помощью цифровых технологий.

Чтобы понять последствия цифровизации в области электроэнергетики рассмотрим данные из крупного исследовательского и инновационного проекта «Местные розничные рынки электроэнергии для потребительских услуг интеллектуальных сетей» исследования Horizon 2020 ЕС. Он основан на понимании того, что значительное сокращение выбросов парниковых газов и повышение энергоэффективности требуют радикальных изменений в способах производства и потребления энергии.

Некоторая текущая динамика в электроэнергетике - появление новых технологий (таких как децентрализованное производство энергии) и появление новых заинтересованных сторон (например, частных инвесторов, ориентированных на устойчивое развитие) – аналогична динамике в других отраслях, как, например, обсуждается в экономике совместного использования. Одной из наиболее значительных тенденций в европейском электроэнергетическом секторе в последние годы является увеличение и распространение децентрализованных мощностей по производству энергии. Инновационная бизнес-модель в базе данных сосредоточена вокруг инновационных продуктов и услуг, которые предоставляют возможность для самостоятельного производства и потребления энергии. Снижение удельных затрат на децентрализованные энергетические технологии, такие как распределённые фотоэлектрические системы, предоставляет всё большему числу домашних хозяйств возможность инвестировать в системы, которые позволяют самостоятельно производить энергию.

Цифровые технологии - важный инструмент, способствующий появлению новых услуг, облегчающих управление и координацию децентрализованной деятельности. Например, бизнес-модель Next Kraftwerke создаёт виртуальную электростанцию для координации распределённых биогазовых заводов. Разработка новых технологий для управления и коорди-

нации децентрализованной деятельности лежит в основе многих новых бизнес-моделей в энергетическом секторе. Усилия по координации довольно сложны, поскольку они охватывают многие центральные аспекты, которые также охватываются существующими бизнес-моделями. Например, компания Lichtblick разработала SwarmDirigent, технологическую платформу, которая учитывает различные потребности рулевого управления в децентрализованном энергетическом контексте. SwarmDirigent обеспечивает взаимосвязь таких видов деятельности, как энергоснабжение, децентрализованное энергоснабжение, управление сетью, прогнозирование и оптимизация, эксплуатация завода, торгово-логистическое управление или управление взаимоотношениями с клиентами. Для этих видов деятельности платформа имеет дело с возобновляемыми источниками энергии, мобильными и стационарными накопителями, комбинированными теплоэлектростанциями, обменом электроэнергией, резервными рынками, интеллектуальными сетями, партнёрами по внешнему рынку, бытовыми и коммерческими потребителями.

Цифровизация открывает новые возможности для создания стоимости за счёт интеграции децентрализованных подразделений в существующую систему с центральным доминированием. Варианты решений, которые предлагает инновационные бизнес-модели для устранения узких мест, разнятся в зависимости от их отношения к существующим решениям и рыночным структурам.

### **Список литературы**

1. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1991. – 343 с.
2. Перспективы и проблемы геотермальной энергетики. Геотермальная энергетика / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://szemp.ru/geo/geothermalnaya-energetika.html> (дата обращения: 29.11.21)
3. Солнечная энергия / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_энергия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_энергия) (дата обращения: 29.11.21).
4. Цифровизация энергетики / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdf.sciencedirectassets.com/305759/1-s2.0-S2214629620X00065/1-s2.0-S2214629620303157/main.pdf?X-Amz-Security-Token> (дата обращения: 29.11.21).
5. Thomas Engel, Philip Reid. Quantum Chemistry and Spectroscopy. Pearson Education, 2006. 500 с.

# **Секция 2**

## ***АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ***



## СОВРЕМЕННЫЕ КРИТЕРИИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Павлов Роман Александрович к.ф.-м.н., доцент старший преподаватель, начальник курса Физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,**

**г. Москва, РФ. E-mail: pavlov.roman.msu@gmail.com**

**Белоусов Виталий Валерьевич, н.с. Лётно-исследовательский институт имени М. М. Громова, г. Жуковский, РФ. E-mail: xqwerty2126@gmail.com**

*Аннотация:* в статье анализируются возможности внедрения высокоэффективных энергосистем, использования вторичных энергоресурсов

*Ключевые слова:* высокоэффективная энергетика, высокоэффективные энергетические системы, независимые энергосистемы

**Введение** С началом XXI века исследования и реализации идей высокоэффективной энергетики приняли массовый характер как в развитых, так и в развивающихся странах. Особенно ярко данная тенденция наблюдается в энергоэффективности зданий и сооружений – если в конце XX века нормы по тепловому энергоснабжению зданий составляли до 100 Вт на квадратный метр, то в настоящее время подобные здания вовсе не строятся. Сегодня актуальны высокоэффективные сооружения (не более 20-40 Вт/м.кв), пассивные (выработка энергии равно потребностям и потерям) и даже активные (вырабатывают ЭЭ и тепла больше чем расходуют). Таким образом, за последние 30 лет взгляд на эффективное использование энергии кардинально изменился.

Разработка и внедрение высокоэффективных энергетических систем в современных зданиях по направлениям электроснабжения, отопления, кондиционирования, горячего и холодного водоснабжения при получении, хранении и использования электрической и тепловой энергии.

Можно выделить типовые эпохи энергоиспользования:

1. Прямое потребление – расточительность, крайне низкий КПД до 5-10% – паровая машина (до начала-средины XX века);
2. Улучшенное потребление – КПД до 20-40 % - ДВС (вторая половина XX века);
3. Тепловые насосы и энергоэффективность – «Пассивные дома» (конец XX века, начало XXI века);
4. «Активные дома» - 20е годы, XXI век – этап активного внедрения;

## 5. Бросовое тепло – Майнинг – Самостоятельная генерация-применение смежных и гибридных технологий.

Актуальность: современное отношение к энергии во всех сферах жизнедеятельности человека активно меняется в сторону более рационального ее использования, вплоть до 10 и более раз эффективнее, чем на протяжении последних 5-10 лет, а в некоторых сферах и в последние 2-3 года. Данная тенденция имеет место как во всем мире, так и в России.

**Научная новизна:** в первую очередь связана с появлением новых областей и секторов науки и техники (например, майнинг криптовалют, автомобилей на электрической тяге), а та же с развитием уже существующих (например, Солнечных электростанций, внедрение «зеленого тарифа»), благодаря чему необходимо поставить, рассмотреть и раскрыть вопрос о пересмотре отношения к энергетике в целом.

Цель - разработка, создание и внедрение активных и/или независимых энергосистем с положительным балансом энергии, которые могут быть применены как в недвижимости (домохозяйства, промышленные и административные строения), так и в различных транспортных системах (электромобили, речной транспорт).

Потребление энергии в целом показано на рисунке 1. Стоит отметить, резкий рост энергопотребления со середины XX века, а также малую часть внедрения альтернативных и высокоэффективных энергетических систем.

Современное состояние вопроса в энергетике можно рассмотреть в виде следующей структуры:

- 1. Теория систем высокоэффективной генерации энергии;**
  - 1.1. Классическая энергетика;**
  - 1.2. Виды энергии – тепловая, электрическая;**
  - 1.3. Ископаемое топливо, КПД генерации;**
  - 1.4. Возобновляемые источники энергии;**
  - 1.5. Тепловые насосы;**
- 2. Системы высокоэффективной передачи и преобразования энергии;**
  - 2.1 Передача электрической энергии;**
  - 2.2 Передача тепловой энергии;**
- 3. Высокоэффективное хранение энергии;**
  - 3.1 Хранение электрической энергии;**
  - 3.2 Применение «Зеленого тарифа»;**
  - 3.3. Хранение тепловой энергии;**
  - 3.4. Водоподготовка для бытовых и промышленных нужд;**

### 3.5. Экзотические виды хранения энергии;

#### Global direct primary energy consumption

Direct primary energy consumption does not take account of inefficiencies in fossil fuel production.

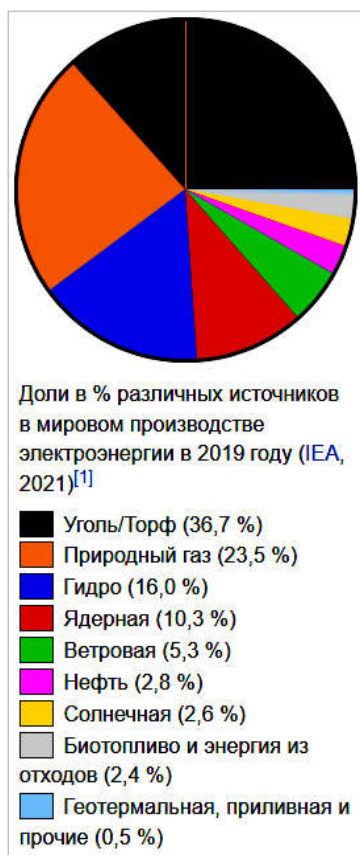
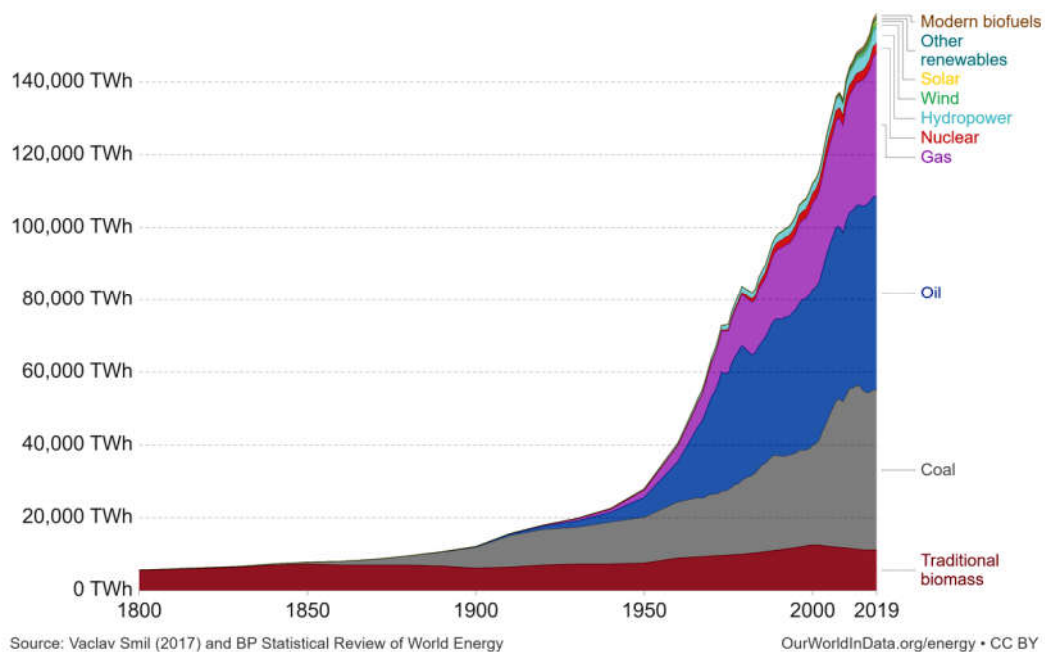


Рисунок 1. Глобальный расход энергии в XIX- начале XXI века и его структура по видам топлива.

#### **4. Высокоэффективное использование энергии в современных системах жизнеобеспечения;**

##### **4.1. Отопление;**

##### **4.2 Энергоснабжение;**

##### **4.3. Водоподготовка;**

##### **4.4. Майнинг криптовалют;**

##### **4.5. Транспортные средства;**

##### **4.6. Летательные аппараты, БПЛА**

#### **5. Комплексное использование высокоэффективной энергетики**

##### **5.1 Объединение технологий**

##### **5.2. Развитие и замещение технологий**

В рамках темы высокоэффективного применения энергии тематика майнинга криптовалют интересна с двух точек зрения – использование бросового тепла и компенсация стоимости электроэнергии. При работе вычислительных комплексов происходит постоянное бросовое тепловыделение в масштабе до 2-3 кВт на единицу вычислительных устройств, причем комплекс может содержать от 1-2 до десятков и даже сотен устройств.

Применение комплексное решений с объединением различных систем, например, – электромобиль с установленными солнечными панелями и майнинговым оборудованием для отопления.

В 2020-2022 годах наблюдается удешевление солнечных батарей с 1\$ до 0,6\$ за Вт вырабатываемой мощности при КПД до 20% .

Тенденция удорожание тарифов на энергоносители является устойчивой во всем мире, что приводит к снижению срока окупаемости автономных систем с 12-10 до 4-5 лет;

Низкое потребление и напряжение источников света, делает целесообразным применение АКБ в автономных системах, при этом их срок службы не уменьшается

Тенденция уменьшения применения солнечных коллекторов в сторону систем солнечная батарея-ТЭН позволяет упростить и удешевить систему, сделать ее более гибкой и эффективной.

Применение в системах генерации «Зеленого тарифа» позволяет уменьшить зависимость от самого дорогого и ненадежного элемента АКБ, а также отдавать сгенерированную энергию обратно в сеть, для положительного баланса энергии.

Установка солнечных батарей над сельхоз угодьями – Агрофотовольтаика, позволяет применять системы слежения за солнцем с поворотом солнечных батарей по одной оси.

Массовое применение водоподготовки позволяет уменьшить энергопотребление посудомоечных, стиральных машин и прочих агрегатов до 5-10 раз.

Как цель энергоэффективности зданий, следует отметить усредненный расход энергии на отопление в районе 20-50 Вт/кв.м. типовых помещений с устойчивой тенденцией уменьшения этого показателя. Вероятно такой подход потребует внедрения в помещениях с большим количеством людей принудительных систем вентиляции с рекуперацией.

Для транспортных средств например автомобиля, типовое значение расхода энергии составляет 150-200 Вт/км пробега, однако целью являются 80-120 Вт/км.

В свою очередь не тяжелые и не скоростные транспортные средства – электрические мопеды, могут достигать значений расхода энергии в 20-40 Вт/км пробега.

Для летательных аппаратов, например, БПЛА многороторного типа, целевыми показателями являются 80-120 Вт/кг мощности на удержания в воздухе массы летательного аппарата

**Заключение.** В настоящее время, высокоэффективная энергетика и эффективность использования ресурсов во всех сферах жизнедеятельности человека выходит на передний план. За последние 5-10 лет появились новые отрасли, которые в значительной степени требуют изменение взгляда на качественные и количественные показатели использования энергетика на производстве, транспорте и быту. Сегодня необходимо рассматривать и создавать системы преимущественно пассивного и активного типа, которые могут самостоятельно генерировать энергию.

### Литература

1. Павлов Р.А., Подсевалов И.С. Итоговый отчет по разработке и созданию грузо-пассажирского квадрокоптера. М., 2021. 122 с.
2. <https://russiandrone.ru/> - портал гражданских БПЛА
3. <http://www.ehang.com/ehang184/>
4. <https://www.volocopter.com/en/>

## ГИДРОЭНЕРГОПОТЕНЦИАЛ ПРИЛИВНОЙ И ВОЛНОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

**Салихова Джамиля Набиюлаевна, студент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический универси-  
тет», г.Махачкала**

В настоящее время не ослабевает интерес к проектам электростанций, работающих на энергии приливов и волн. Рост цен на органическое топливо, исчерпание его запасов, экологические проблемы выдвигают развитие проектов по использованию энергии приливов морских волн в разряд актуальных.

*Ключевые слова:* возобновляемая энергетика, приливная энергетика, энергия океана, волновая энергия

Океаны Земли хранят в себе огромный запас возобновляемой энергии. Технологии использования потенциала морской энергии начали своё развитие значительно недавно, но тем не менее, эта отрасль возобновляемой энергетики уже привлекла к себе много внимания и продолжает развиваться. Энергия приливов и волн – это два типа энергии океана, которые являются наиболее изученными, наиболее применяемыми и, как ожидается, внесут значительный вклад в развитие возобновляемой энергетики. Важным шагом на пути к развитию использования океанской энергии является характеристика и картирование энергетических ресурсов океана. Оценка волновых энергетических ресурсов включает в себя идентификацию районов с высокой волновой энергией, количественную оценку средних энергетических ресурсов и описание ресурсов. Точные оценки и описание имеющихся волновых энергетических ресурсов необходимы для тщательного планирования и оптимизации проектирования существующих энергоустановок, работающих на энергии океана. В последние годы энергетические ресурсы океанских волн и приливов оценивались на глобальном, региональном и местном уровнях. Прогнозирование выполнялось статистическими методами, которых достаточно для использования в электроэнергетических компаниях. Для оценки приливных ресурсов также применяются методы 2D и 3D моделирования.

Так как энергию океана мы отнесли к возобновляемым источникам, то естественно возникает вопрос о том, насколько экологически безопасно использование приливных и волновых энергоустановок. Энергия приливов и волн не является экологически чистой. Деятельность, связанная с производством, эксплуатацией и обслуживанием энергоустановок оказы-

вает различное воздействие на окружающую среду – смертность рыб, проходящих через турбины, риск столкновения морских млекопитающих с приливными речными фермами. Исследования показали, что значительные изменения будут наблюдаться после установки приливных массивов, которые влияют на экосистему. Некоторые исследователи всё же утверждают, что недостаточно оснований полагать, что работа приливных электростанций приводит к повышению смертности организмов, обитающих в море. Критической проблемой считается шум в водах, от энергоустановок, который всё-таки наносит вред морским млекопитающим. Воздействие непосредственно от волновых энергоустановок – шум и вибрация, электромагнитные поля, изменение качества воды и возможное загрязнение. В целом, воздействие на окружающую среду зависит от размера установки и выбранного местоположения. Иногда наблюдаются и положительные эффекты – создание мест ночлега и улучшение среды обитания морских птиц.

Важным аспектом при рассмотрении использования энергии океана является экономическая составляющая. Интеграция в энергосистему установок, работающих на приливах и волнах, создаёт некоторые проблемы. Их подключение к сети обходится дорого, так как требуется несколько компонентов – массив, подводная электрическая система и подводное кабельное соединение с берегом. Также очень часто районы с достаточным количеством энергоресурсов являются удалёнными и не связаны с существующей электросетью, что требует модернизации сети. Плюс ко всему, нестабильность производства электроэнергии от океанских энергоустановок приводит к таким проблемам, как перегрузка сетей и нестабильность напряжения. Как уже сказали, энергия океана является переменным ресурсом. Приливные течения очень изменчивы на почасовой основе, но достаточно стабильны для более длительных временных промежутков (месяцы, годы). Энергия волн же наоборот, неизменчива в течение нескольких часов, но не на более длительных периодах. Установка, эксплуатация и техническое обслуживание океанских энергетических устройств относительно дороги. Одним из способов снижения затрат является стандартизация оборудования, использование инструментов моделирования для улучшения компоновки и проектирования массива, что приведёт к повышению эффективности устройств и снижению затрат. Наиболее распространённой проблемой, с которой сталкиваются при установке и эксплуатации энергоустановок в океане является коррозия и биообрастание погружных частей устройства. Ещё один важный аспект, касающийся технического обслуживания таких установок – работы могут проводиться только при благоприятных погодных условиях, что требует более тщательного подбора стратегий развития отрасли. Несмотря на существую-

ший ряд проблем, в мире есть несколько успешно реализованных проектов приливных и волновых электростанций, которые вырабатывают достаточное количество энергии.

Рассмотрим некоторые из существующих приливных электростанций. ПЭС «Ля Ранс» (Франция, 1966). Выбор места строительства электростанции был обусловлен значительными приливами в устье реки, высота которых достигает 8-13,5 м. Установленная мощность — 240 МВт. Использует 24 турбины, находящиеся в работе в среднем 2 200 часов в год. Объём производства составляет около 600 млн кВт/ч. Сихвинская ПЭС (Южная Корея, 2011) – обладает установленной мощностью 254 МВт. На данный момент является крупнейшей ПЭС мира, оттеснив на второе место многолетнего лидера — французскую ПЭС Ля Ранс. Объём водохранилища ПЭС составляет 324 миллионов м<sup>3</sup>. Расход морской воды приблизительно 160 миллионов м<sup>3</sup>/день. Годовая выработка 550 ГВт/ч (ориентировочно соответствует потребности города в полмиллиона человек). Кислогубская ПЭС (Россия) - экспериментальная приливная электростанция, расположенная в губе Кислая Баренцева моря, вблизи посёлка Ура-Губа Мурманской области. Первая и единственная приливная электростанция России. Состоит на государственном учёте как памятник науки и техники. Мощность станции — 1,7 МВт (первоначально 0,4 МВт). Станция установлена в узкой части губы Кислая, высота приливов в которой достигает 5 метров. Конструктивно станция состоит из двух частей — старой, постройки 1968 года, и новой, постройки 2006 года. Новая часть присоединена к одному из двух водоводов старой части. В здании ПЭС размещено два ортогональных гидроагрегата — один мощностью 0,2 МВт (диаметр рабочего колеса 2,5 м, находится в старом здании) и один ОГА-5,0 м мощностью 1,5 МВт (диаметр рабочего колеса 5 м, находится в новом здании).

Что касается волновых электростанций, то известны следующие - Oceanlinx (Австралия, 2005). Работа станции основана на принципе «осциллирующего водяного столба». Мощность установки сейчас составляет 450 кВт. ВЭС в Агусадоре (Португалия, 2009). Это установка-пионер, которая использует непосредственно механическую энергию волны. Работа станции основана на принципе «колеблющегося тела», мощность станции составила 2,3 МВт. Wave Hub (Великобритания). Электростанция оборудована 4-мя генераторами мощностью по 150 кВт каждый. Работа станции основана на принципе «колеблющегося тела».

В настоящее время существует проект Пенжинской ПЭС, которая строится на побережье Охотского моря и будет состоять из двух частей — «Северный створ» и «Южный створ». Северный створ будет иметь расчётную мощность 21 ГВт (72 млрд кВт/ч в год), а Южный створ - 87,4 ГВт

(более 200 млрд кВт/ч в год). Эти показатели являются рекордными для отечественной энергетической отрасли и дают понять перспективы развития этого направления. Постройка Пенжинской ПЭС позволит обеспечить электроэнергией весь дальневосточный регион России и создать условия для экспорта. Также в Северной Корее запланировано строительство ещё трёх приливных электростанций помимо Сихвинской (в бухтах Гарорим (500 МВт), Инчхон (1320 МВт), Хонсу (700 МВт)). В Москве может быть начато строительства производственного научно-исследовательского предприятия, которое будет разрабатывать модуль поплавковой волновой электростанции. Инвестор планирует строительство опытно-промышленного предприятия, включающего в себя производственную научно-исследовательскую лабораторию.

Производство энергии, является необходимым средством для существования и развития человечества. В нашу жизнь настолько твёрдо вошла тепло- и электроэнергия, что мы не представляем своего существования без неё. Увеличение цен на топливо, истощение ресурсов, острые экологические проблемы (изменение климата, кислотные осадки, всеобщее загрязнение среды и другие) - все эти признаки энергетического кризиса вызвали в последние годы во многих странах значительный интерес к новым источникам энергии, в том числе к энергии Мирового океана.

### **Список литературы**

1. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика. – М.: Физматлит. 2012. 256 с.
2. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1991. – 343 с.
3. Денисов В. В., Гутенев В. В., Денисова И. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Ростов н/Д.: Феникс. 2015. – 382 с.
4. Некрасов А.В. Энергия океанских приливов. – М.: Гидрометеиздат. 1999. – 421 с.

## **ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГИЯ – ОСНОВА БУДУЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ПРОМЫШЛЕННЫЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА**

**Агеева Виктория Алексеевна, магистрант  
Донской государственной технической университет**

*Аннотация:* основа энергетики будущего, прежде всего, состоит в качественном поиске альтернативных источников энергии, которые будут способны на достойном уровне обеспечивать качество жизни населения, рост экономики, а также защиту внешней экономической ступени. Именно поэтому, проблема разработки альтернативных энергоносителей в России, занимает одно из ведущих мест для успешного экономического развития страны. Также, в связи с ограниченным запасом не возобновляемых природных ресурсов и негативными последствиями добычи углеводородного горючего, данная проблема приобретает наибольшую актуализацию.

*Ключевые слова:* альтернативные источники энергии, альтернативная энергетика, водородная энергия, газификация угля, алюмоводородная технология

Альтернативные источники энергии – это системы, способствующие выработке электрической энергии, путём замены традиционного энергетического сырья (уголь, нефть, газ, торф).

Альтернативная энергетика – перспективные способы выработки энергии, без существенного нанесения отрицательного воздействия на экологическую систему. Данное понятие включает достаточно широкий спектр различных видов энергии – это: 1) возобновляемые источники энергии - ветряная, солнечная энергия, гидроэнергетика, биоэнергетика 2) нетрадиционные технологии – водородная, ядерная энергетика, синтетическое топлива и др. 3) технологически оснащённые установки различного назначения.

Рассмотрим наиболее перспективный нетрадиционный источник энергии. Водородная энергия - является экологически привлекательным направлением, для выработки энергии на основе водорода, поскольку побочным продуктом его сгорания является вода. Водород – чистое топливо, данный элемент нашёл применение во многих отраслях промышленности: металлургия, химическая, пищевая, транспортная промышленность. Сырьём для получения водорода служат природный газ, биомасса (отходы

сельскохозяйственного производства), атомная энергия. Такие методы как: газификация угля, электролиз, алюмоводородная технология, также позволяют качественно получать водород, без лишних энергозатрат [1].

Метод получения водорода из природного газа, в настоящее время, является широко распространённым и достаточно изученным. Около 85% этого вещества получают путём паровой конверсии метана. Суть процесса состоит в отщеплении водорода от природного газа, в трубчатой печи при температуре 740-850°C, на каталитических поверхностях. Первая ступень реакции заключается во взаимодействии метана с водяным паром, далее полученная смесь расщепляется на синтез-газ и водород. Следующим этапом реакции является превращение монооксида углерода и воды в водород и диоксид углерода. Отрицательной стороной описанного процесса являются большой расход природного газа и образование токсичных побочных продуктов. Однако, стоимость энергии, полученной данным способом, является самой низкой.

Также, водород можно получить методом газификации угля. Это один из старейших способов, суть которого состоит в парокислородной конверсии топлива при температуре 800-1400°C. В результате воздействия высоких температур на воду, происходит её разложение и высвобождение водорода, при этом, уголь служит не только энергоносителем, но и химическим реагентом.

Получение водорода из биомассы является не только экономически выгодным, поскольку основным сырьём служат сельскохозяйственные, промышленные отходы, но и практически экологичным. Существует две разновидности данного способа: термохимический и биохимический. Первый протекает без доступа кислорода, при этом нагрев биомассы осуществляют при температуре 500-800°C, что значительно ниже температуры процесса газификации. В результате термохимического метода помимо основного продукта - водорода, наблюдается образование побочных – метан и токсичный монооксид углерода. Что же касается биохимического способа, то здесь водород вырабатывают анаэробные бактерии, что значительно повышает экологичность процесса [2].

Электролиз – получение водорода из воды. Суть процесса состоит в разложении воды, под действием электрического поля. Принципиальная установка электролизёра представлена на рисунке 1.

На данный момент, достаточно распространён электролитический метод, который в большей степени технически развит, в отличие от термохимического, фотохимического и биохимического. Данный способ, в от-

личие от приведённых выше промышленных методов, является экологически перспективным, технологические установки получения водорода имеют достаточно широкий диапазон производительности, а побочным продуктом является – газообразный кислород. Однако, электролиз не получил значительного распространения, из-за высокой стоимости, что послужило причиной разработки нового направления получения водорода, путём усовершенствования старого.



Рисунок 1 – Установка получения водорода электролизом воды

В настоящее время наибольший интерес изучения проявлен к нетрадиционной альтернативной энергии, методы получения которой, не нашли широкого промышленного освоения.

Одним из новых методов получения водорода является способ усовершенствования процесса электролиза воды, который позволяет получить водород высокого качества с минимальными затратами. Успех проведения этого процесса состоит в увеличении мощностей электролизёра, техническом усовершенствовании электродов, повышении давления, за счёт чего, увеличивается температура процесса, а также в использовании новых стойких материалов (перфторированные полимеры). Несмотря на достаточное число положительных свойств, данный способ имеет существенный недостаток - сложное аппаратное оформление.

Еще одним современным методом получения водородной энергии является технология на основе алюминия. Разработка алюмоводородной технологии, состоит в сжигании алюминия в водной среде, которая позво-

лит избавиться от монополизма углеводородной энергетики. Основным сырьём для получения энергии является алюминий, который достаточно распространён в природе среди металлов. Поскольку в свободном состоянии, данный химический элемент не встречается, его основная масса локализована в бокситах, каолинах, алунитах и др. Технология производства водорода из алюминия относится к методу, протекающему на базе возобновляемых ресурсов. Схема перемещения алюминия, как энергоносителя состоит в его сжигании до  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , дальнейшего восстановления оксида алюминия до алюминия при помощи электролиза, а также последующего использования в качестве энергоносителя. В качестве побочных продуктов во время сжигания 1 кг алюминия, помимо тепловой энергии, удаётся получить экономически выгодные компоненты: гидроксид – бемит, оксид – корунд, массой более 2 кг [3].

Технология получения водорода из алюминия позволяет решить ряд проблем, таких как: безопасное перемещение, поскольку алюмоводородные генераторы работают на жидком водороде, а алюминий относится к четвёртому классу безопасности, не представляя угрозы во время транспортировки; удобное хранение – ещё одно преимущество данной технологии, так как содержание алюминия не требует наличия специальных ёмкостей и заправочных систем, при этом его срок хранения практически не ограничен; компактность сырья – алюминий имеет высокую плотность ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ), в отличие от углеводородных горючих ( $0,8 \text{ г/см}^3$ ).

В настоящее время, большой интерес приобретает метод получения водородной энергии из водорослей. Применение данной биомассы, позволит не только сократить токсичные выбросы в атмосферу, но и даст возможность получить возобновляемый источник энергии, благодаря которому появится шанс обеспечить глобальный спрос на транспортное топливо. Энергия полученная на основе водорослей, более контролируема, в отличие от возобновляемых источников энергии, также оставшиеся побочные продукты можно использовать как биологическое удобрение, или корм в рыбоводческих фермах [4]. На рисунке 2 представлен биореактор для сбора водорослей.



Рисунок 2 – Сбор водорослей

В заключении, хочется отметить, что в связи с дефицитом мировых запасов углеводородного топлива, перед человечеством стоит цель всемирного характера – найти и научиться правильно применять альтернативные источники энергии. Среди всех энергоносителей, водород является главным претендентом на эту роль. В технически развитых странах, уже через 10-15 лет намечается замена органических энергоносителей водородной энергией, которая способна заменить энергию как на суше, так и на море.

### Список литературы

1. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики : учеб. пособие / В.Я. Ушаков ; Томский политехнический университет. – Т. : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 448 с.
2. Рац Г.И. Развитие альтернативных источников энергии в решении глобальных энергетических проблем / Г.И. Рац, М.А. Мординова // Известия ИГЭА. – 2012. № 2. – С.132–136.
3. Радченко Р. В. Водород в энергетике : учеб. пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа; – Е. : Урал. ун-та, 2014. – 229 с.
4. Олешкевич М.М. Нетрадиционные источники энергии : учеб. пособие / М. М. Олешкевич ; – Минск : Изд-во БНТУ, 2016. – 205 с

## ИНТЕГРИРОВАННАЯ КОМПОНОВКА ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕЁ УПРАВЛЕНИЯ

Салихова Джамиля Набиюлаевна, студент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Рассмотрены существующие методы оптимизации расположения объектов ветряных электростанций, в частности, генетический алгоритм.

*Ключевые слова:* ветряная электростанция, интеграция, оптимизация, ветроустановка, генетический алгоритм

В последние годы наблюдается быстрый рост числа электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, среди которых ветряные электростанции занимают одно из ведущих мест. Применение энергии ветра стремительно растёт, но тем не менее есть ряд проблем, возникающих при проектировании, установке и эксплуатации ветроустановок. Существующие подходы оптимизации не в полной мере отвечают потребностям, потому что не решают проблемы, связанные со строительством и логистикой.

Вопрос о размещении ветряных электростанций рассматривается с учётом возможности их интегрирования в существующие энергосистемы с наименьшей деформацией и минимальными затратами. Одним из путей решения является строительство ветряных электростанций в местах с наибольшим числом использования номинальной мощности ветротурбин. Однако обоснование ветроэнергоресурсов на площадке строительства является затруднительным из-за необходимости приобретения измерительных приборов и компьютерных программ.

В процессе строительства и эксплуатации ветряных электростанций не обходится без технических рисков проектов, которые вызваны чрезвычайными ситуациями (наводнения, сход снежных лавин, землетрясения и т. д.). Приоритетом при строительстве ветропарка является поиск местоположения. Затем, позиционирование ветряных турбин. Чтобы использовать максимальную возможную мощность от определённой электростанции, следует учитывать комплексную оценку размещения ветроустановок.

По результатам некоторых исследований был выявлен эффект взаи-

мовления турбин ветрогенераторов (рисунок 1). При изучении этого эффекта пользовались двумя подходами. Первый заключался в использовании аналитических выражений, которые были получены на основании физических законов. Он так и называется, аналитический подход. Второй – основан на использовании компьютерных моделей и называется имитационным.

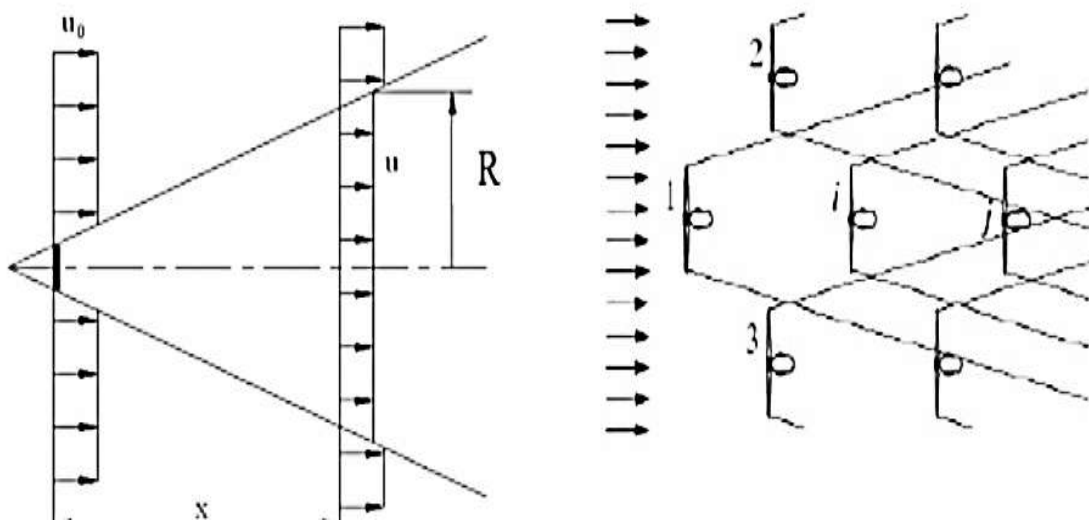


Рисунок 1. Влияние одной ветротурбины и взаимовлияние множества ветротурбин на скорость воздуха.

Оптимизация же расположения ветротурбин проводилась при помощи таких методов как «рой частиц», «муравьиный алгоритм», «эволюционный алгоритм», «алгоритм имитации отжига» и метода Монте-Карло. Однако самым популярным и наиболее применяемым является генетический алгоритм, подвид эволюционного. Он способен находить оптимальное решение тех или иных задач независимо от их сложности. Начальной операцией в генетическом алгоритме обычно является кодирование. Площадь, занимаемая ветряной электростанцией, делится на квадраты с одинаковыми сторонами. Кодом определяются координаты ветротурбин. Этот код также определяет местоположение относительно построенной сетки. Описанные действия обеспечивают достаточную гибкость в компоновке ветротурбин. Код доступен в наборе инструментов генетического алгоритма MATLAB. После процесса инициализации выдаётся случайный набор решений, анализируемых скриптом MATLAB, который вычисляет расчётную выработку электроэнергии и стоимость ветряной электро-

станции.

В настоящее время оптимизация конфигураций ветряных электростанций является одной из самых больших проблем энергетических сообществ. Процедура оптимизации направлена на поиск оптимального расположения ветряной электростанции и наилучшей компоновки её составляющих частей. По результатам различных исследований, оптимизация ветряной электростанции ведёт к увеличению её генерирующей мощности до 15 %, и к снижению стоимости на 10 %.

### **Список литературы**

1. Алхасов А. Б. Возобновляемая энергетика. – М.: Физматлит. 2012. - 256 с.
2. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1991. – 343 с.
3. Власов В.К. Ветроэнергетические установки. – М.: Инфоинженерия, 2020. 316 с.
4. Денисов В. В., Гутенев В. В., Денисова И. А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Ростов н/Д.: Феникс. 2015. – 382 с.
5. Некрасов А. В. Энергия океанских приливов. – М.: Гидрометеиздат. 1999. – 421 с.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

**Грачева Екатерина Константиновна, студент,  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический универси-  
тет»**

**Аннотация:** В статье рассмотрены перспективы применения и использования геотермальной энергии. Геотермальная энергия является достаточно специфичной и подходит далеко не всем странам.

**Ключевые слова:** возобновляемая энергия, геотермальная энергия, энергетика, экология, перспективы

**Геотермальная энергия** – это тепло, исходящее из-под поверхности земли и получаемое с помощью различных технологий и подходов. Геотермальные установки для выработки электроэнергии используют пар из резервуаров под поверхностью земли. Как правило, если вода и пар, используемые геотермальными установками, закачиваются обратно в резервуар, то выбросы на заводе будут низкими. Помимо использования для производства электроэнергии, геотермальная энергия может нагревать воду и воздух и обладает огромным потенциалом; по данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, геотермальная энергия используется для удовлетворения более 90 процентов потребностей в отоплении в Исландии. Основным преимуществом этой формы возобновляемой энергии является то, что она не зависит от погоды.

Геотермальные ресурсы могут быть интегрированы во все типы систем производства электроэнергии, от крупных взаимосвязанных континентальных сетей передачи до использования на месте в небольших изолированных деревнях или автономных зданиях.

Технологическая дорожная карта для геотермальной теплоэнергетики предлагает стратегический план по максимальному использованию этих энергетических ресурсов к 2050 году. По прогнозам, к 2050 году геотермальная энергия может вырабатывать 1400 ТВтч электроэнергии в год по сравнению с 67 ТВтч в настоящее время.

Отдельные исследования, проведенные Национальной лабораторией возобновляемых источников энергии (NREL) и Массачусетским технологическим институтом (MIT), пришли к выводу, что в ближайшие 15-50 лет

можно будет достичь более 100 000 МВт, соответственно, при разумных и устойчивых инвестициях в исследования и разработки.

Поскольку геотермальная энергия обычно обеспечивает производство электроэнергии с базовой нагрузкой, интеграция новых электростанций в существующие энергосистемы не представляет серьезной проблемы. Действительно, в некоторых конфигурациях геотермальная энергия может обеспечить ценную гибкость, такую как возможность увеличения или уменьшения производства или запуска/выключения по мере необходимости. Однако в некоторых случаях зависимость геотермальных ресурсов от местоположения требует новых инвестиций в инфраструктуру передачи для доставки геотермальной электроэнергии в центры загрузки [1].

Для непосредственного использования геотермальной энергии проблем с интеграцией не наблюдалось. Для отопления и охлаждения геотермальная энергия (включая ПГП) уже широко распространена в бытовом, общинном и районном масштабах. Сети централизованного теплоснабжения обычно обеспечивают гибкость в отношении первичного источника энергии и поэтому могут использовать низкотемпературные геотермальные ресурсы или каскадное геотермальное тепло (Lund et al., 2010b). Что касается совершенствования технологий и инноваций, то несколько перспектив могут снизить затраты на производство геотермальной энергии и привести к более высокой рекуперации энергии, увеличению срока службы месторождений и повышению надежности. Со временем ожидается, что более совершенные технические решения улучшат производительность электростанции и сократят время простоя в обслуживании.

При разведке требуются НИОКР для обнаружения скрытых геотермальных систем (т. е. без поверхностных проявлений, таких как горячие источники и фумаролы) и для перспектив EGS. Усовершенствование и более широкое использование геотермальных инструментов быстрой разведки, таких как спутниковые гиперспектральные, тепловые инфракрасные, панхроматические и радиолокационные датчики высокого разрешения, может повысить эффективность поисковых работ.

Как только выбрана региональная целевая область, наличие улучшенных экономически эффективных инструментов рекогносцировочных съемок для выявления как можно большего числа геотермальных показателей имеет решающее значение для обеспечения быстрого охвата геологической среды, исследуемой при соответствующем разрешении.

Специальные исследования необходимы для повышения скорости проникновения при бурении твердых пород и для разработки передовых

технологий с узкими отверстиями, а также при бурении скважин большого диаметра через пластичные, ползучие или набухающие пласты.

Бурение должно свести к минимуму повреждение пласта, возникающее в результате сложного взаимодействия бурового раствора (химического, фильтрата и твердых частиц) с пластовой жидкостью и пластом. Цели технологий геотермального бурения и строительства скважин нового поколения заключаются в снижении стоимости и увеличении срока службы геотермальных производственных объектов за счет комплексных усилий.

Улучшения и инновации в области глубокого бурения ожидаются в результате Проектов глубокого бурения, целью которых является проникновение в сверхкритические геотермальные жидкости, которые могут быть потенциальным источником высококачественной геотермальной энергии. Концепция, лежащая в его основе, заключается в подаче сверхкритической жидкости на поверхность таким образом, чтобы она непосредственно превращалась в перегретый ( $>450^{\circ}\text{C}$ ) горячий пар при субкритических давлениях [2]. Это обеспечило бы до десятикратной выработки энергии примерно в 50 МВт по сравнению со средними геотермальными скважинами с высокой энтальпией. Все задачи, связанные с проектированием пласта, требуют более сложного моделирования процессов и взаимодействий пласта, чтобы иметь возможность прогнозировать поведение пласта со временем, рекомендовать стратегии управления для длительной эксплуатации месторождения и минимизировать потенциальное воздействие на окружающую среду.

Проект “Бурение в глубоких, сверхкритических условиях Континентальной Европы” (DESCRAMBLE) предназначен для бурения в сверхкритических геотермальных условиях континентальной коры, для тестирования и демонстрации новых методов бурения для контроля выбросов газов, агрессивной среды и высокой температуры/давления, ожидаемых от глубоководных жидкостей, и для характеристики химического и теплофизического состояния пласта. Результаты проекта дескремблирования будут использованы в рамках последующего проекта для первой демонстрационной экспериментальной установки в Лардерелло.

Оборудование, необходимое для обеспечения отопления/охлаждения и/или электроэнергии из геотермальных скважин, уже доступно на рынке. Однако эффективность различных компонентов системы все еще может быть повышена, и еще более важно разработать системы преобразования, которые более эффективно используют энергию в добываемой гео-

термальной жидкости по конкурентоспособным ценам. В принципе неизбежно, что более эффективные установки (и компоненты) будут иметь более высокие инвестиционные затраты, но цель будет заключаться в том, чтобы обеспечить, чтобы повышенная производительность оправдывала эти затраты.

Еще одной возможностью для эффективного производства геотермальной энергии является использование подходящих нефтяных месторождений. Существует три типа нефтяных и газовых скважин, потенциально способных поставлять геотермальную энергию для производства электроэнергии

1. средне - и высокотемпературные ( $>120^{\circ}\text{C}$  или около того) добывающие скважины с достаточным обводнением;
2. заброшенные колодцы из-за высокого обводнения;
3. рассол под высоким давлением с растворенным газом.

Основное преимущество такой возможности заключается в том, что бурение уже начато и может значительно снизить первоначальные затраты, связанные с разработкой геотермального проекта. Однако эта экономия может быть несколько компенсирована необходимостью обработки (разделения и очистки) многофазных жидкостей совместного производства, состоящих из воды, углеводородов и других газов.

Потенциальная разработка ценных побочных продуктов может улучшить экономику геотермальной разработки, например, извлечение конденсата для промышленного применения после соответствующей обработки, а в некоторых случаях извлечение ценных минералов из геотермальных рассолов (таких как литий, цинк, высококачественный кремнезем и в некоторых случаях золото).

Усовершенствованные геотермальные системы (ЭГС) требуют инновационных методов, некоторые из которых также применимы к электростанциям и проектам прямого использования гидротермальных ресурсов. Усовершенствованная геотермальная система (EGS) – это искусственный резервуар, созданный там, где есть горячая порода, но недостаточная или незначительная естественная проницаемость или насыщенность жидкостью. В ЭГС жидкость закачивается в недра в тщательно контролируемых условиях, которые приводят к повторному открытию ранее существовавших трещин, создавая проницаемость. Повышенная проницаемость позволяет жидкости циркулировать по всей теперь разрушенной породе и переносить тепло на поверхность, где может вырабатываться электричество. В то время как передовые технологии EGS являются молодыми и все

еще находятся в стадии разработки, EGS была успешно реализована в пилотном масштабе в Европе и Соединенных Штатах [4].

Преимущества усовершенствованных геотермальных систем

- EGS практически не выделяет парниковых газов. Большинство геотермальных электростанций используют электростанцию с замкнутым бинарным циклом и не выделяют парниковых газов, кроме водяного пара, который может использоваться для охлаждения

- EGS может способствовать развитию геотермальной энергетики за пределами традиционных гидротермальных районов

Инновационными методами дальнейшего развития EGS являются

- Совершенствование и инновации в технологиях бурения, обсадки, заканчивания и добычи скважин для разведки, оценки и разработки глубоких геотермальных коллекторов

- Совершенствование методов гидравлического стимулирования соединения пластов между нагнетательными и добывающими скважинами для достижения устойчивых коммерческих показателей добычи.

Процедуры стимуляции пластов необходимо усовершенствовать, чтобы значительно повысить производительность при одновременном снижении риска сейсмической опасности. Этому способствовала бы визуализация путей прохождения жидкости, вызванных обработками гидравлической стимуляции с помощью инновационных технологий.

Разработка технологий для создания функциональных резервуаров EGS, независимых от местных условий недр, будет иметь важное значение:

- Разработка/адаптация систем управления данными для междисциплинарной разведки, разработки и добычи геотермальных резервуаров и связанных с ними учебных пособий для повышения компетентности и потенциала людей, которые будут работать в геотермальном секторе.

- Совершенствование численных имитаторов для сопоставления истории добычи и прогнозирования связанных теплогидравлическо-механохимических процессов при разработке и эксплуатации резервуаров. Для точного моделирования резервуаров EGS компьютерные коды должны полностью сочетать поток, химический состав, поро-эластичность и температуру. Разработка подходящих полностью связанных имитаторов коллекторов, включая нелинейную деформируемость трещин, является необходимостью. Также необходимы современные лабораторные установки, способные проводить испытания образцов горных пород в имитируемых скважинных условиях давления и температуры.

Двухфазная смесь воды и  $\text{CO}_2$  может быть получена в течение нескольких лет с последующим получением однофазного сверхкритического  $\text{CO}_2$ . Кроме того, это могло бы обеспечить средства для усиления эффекта использования геотермальной энергии для снижения выбросов  $\text{CO}_2$ , помимо простого производства электроэнергии с использованием возобновляемых ресурсов, не содержащих углерода.

Приходим к выводу, что геотермальная энергетика более стабильна и не зависит от погодных условий, чем другие виды энергетике. Она только начинает свое развитие и на данный момент доля энергии, получаемой за счет разработки геотермальной энергии составляет не более 0,5 %. Самым главным преимуществом является ее неисчерпаемость.

### Список литературы

1. Блюмин С.Л., Правильникова В.В. Система управления микроклиматом здания с прогнозированием ресурсопотребления // Экология центрально-черноземной области Российской Федерации. - 2014. - №1-2 (32-33). - С. 198-203.
2. Медведева Е.А., Женихов Ю.Н., Урванцев И.В., Цыба В.Е. Перспективы использования торфа и продуктов его переработки в коммунальной энергетике сельских и отдаленных районов // Теплоэнергетика. - 2017. - №6. - С. 14-21.
3. Габдрахманова К.Ф., Измайлова Г.Р., Ахмедшин Д.Р., Марупов С.Р. Геотермальная энергия – инновационный метод выработки электроэнергии // Современные технологии в нефтегазовом деле. - Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2018. - С. 227-229.
4. Шпиганович А.А. Анализ влияния вероятностных параметров электрооборудования на эффективность функционирования систем электроснабжения // Вести высших учебных черноморья. - 2013. - №2 (32). - С. 25-32.
5. Гуторов Ю.А., Габдрахманова К.Ф. геотермальная энергия - эффективное средство экономии энергоресурсов на нефтедобывающих объектах России // нефтяная провинция. - 2018. - №1 (13). - С. 99-107.

## ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, С РЕГУЛИРУЕМЫМ УГЛОМ НАКЛОНА, В РЕСПУБЛИКЕ ДАГЕСТАН

**Микаилов Мурад Ильгамович, магистрант  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический универ-  
ситет», г. Махачакала**

**Аннотация:** Ввиду дефицита электроэнергии на территории на территории Республики Дагестан всё более остро стоит вопрос о строительстве новых генерирующих мощностей. В 2022 году компания ООО «СоларСистемс» планирует построить солнечные электростанции мощностью более 150 МВт, в данной статье мы рассмотрим насколько эффективно использовать СЭС с регулируемым углом наклона.

**Ключевые слова:** солнце, электростанция, конструкция, угол наклона, электроэнергия.

Постройка солнечных электростанций является дорогостоящим мероприятием и выборе место расположения необходимо учитывать не только место расположения солнечных панелей, но и их угол наклона относительно к солнцу. Ввиду непостоянства расположения солнца относительно горизонта в течении всего года и дня, для максимально эффективного использования солнечных панелей их необходимо регулировать, но это приводит к дополнительным затратам как капитальным, так и эксплуатационным. В данной статье рассматривается экономическая эффективность СЭС с регулируемым углом наклона панели.

Рассмотрим всё на примере СЭС мощностью 1 МВт, которая будет располагаться в Республике Дагестан. Исходные данные приведены в таблицу 1.

Таблица 1

| Наименование | Мощность СЭС МВт | мощность одного элемента кВт | Площадь одного элемента м <sup>2</sup> | количество солнечных элементов | площадь солнечных элементов м <sup>2</sup> |
|--------------|------------------|------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|
| СЭС 1        | 1                | 0,35                         | 2                                      | 2860                           | 5720                                       |

По данным [1] рассчитаем месячные и годовые суммы солнечной радиации и внесём их в таблицу 2

Таблица 2

| месяц    | Инсоляция в день кВт*ч/м2. | кол-во дней | Инсоляция в месяц кВт*ч/м2. |
|----------|----------------------------|-------------|-----------------------------|
| январь   | 1,55                       | 31          | 48,05                       |
| февраль  | 2,75                       | 28          | 77,00                       |
| март     | 4,13                       | 31          | 128,03                      |
| апрель   | 5,60                       | 30          | 168,00                      |
| май      | 6,45                       | 31          | 199,95                      |
| июнь     | 6,33                       | 30          | 189,90                      |
| июль     | 6,71                       | 31          | 208,01                      |
| август   | 6,32                       | 31          | 195,92                      |
| сентябрь | 5,37                       | 30          | 161,10                      |
| октябрь  | 4,26                       | 31          | 132,06                      |
| ноябрь   | 3,10                       | 30          | 93,00                       |
| декабрь  | 2,49                       | 31          | 77,19                       |
| всего    |                            | 365         | 1678,21                     |

Определим максимальную вырабатываемую по месяцам для каждой станции мощность для нашей станции по формуле (1):

$$P_{\text{макс}} = E * n_{\text{эл}} * P_{\text{эл}} \quad (1)$$

где E- инсоляция, кВт\*ч/м2

$n_{\text{эл}}$ - количество элементов, шт.

$P_{\text{эл}}$ - мощность одного элемента

Данные по каждому месяцу приводим в таблицу 3

Таблица 3

| выработка электроэнергии СЭС в месяц кВт*ч |         |
|--------------------------------------------|---------|
| январь                                     | 48248   |
| февраль                                    | 77077   |
| март                                       | 128128  |
| апрель                                     | 168168  |
| май                                        | 200150  |
| июнь                                       | 190090  |
| июль                                       | 208218  |
| август                                     | 196116  |
| сентябрь                                   | 161261  |
| октябрь                                    | 132192  |
| ноябрь                                     | 93093   |
| декабрь                                    | 77267   |
| Всего                                      | 1680008 |

Угол наклона имеет значительное влияние на солнечное излучение, падающее на поверхность. Если угол наклона неизменен, то максимальная производительность за весь года достигается тогда, когда он равен широте местоположения  $\varphi$  т. е  $\varphi = \beta = 44^\circ$ .

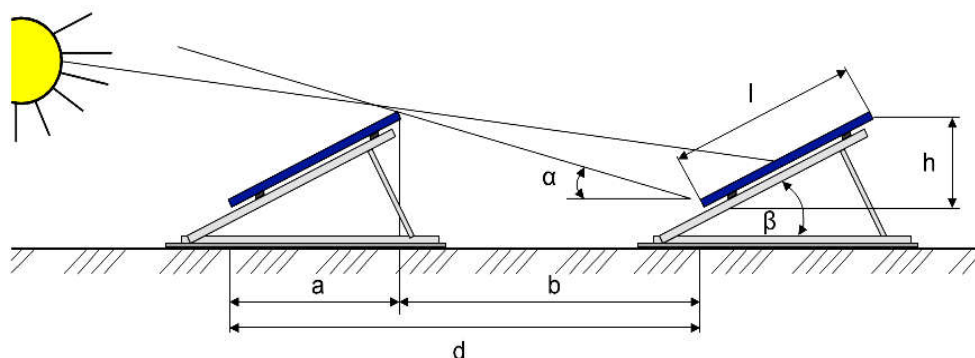


Рис.1

Соответственно угол наклона ФЭМ определяется по формуле (2) [2] в градусах:

$$\beta = 90 - \alpha \quad (2)$$

где  $\alpha$  — угол возвышения (угол высоты) — это высота Солнца на небе измеренная в градусах от горизонтального положения. На восходе угол возвышения равен  $0^\circ$  и  $90^\circ$  — когда Солнце находится выше всего на небе (прямо над головой, что можно наблюдать, например, на экваторе в дни весеннего и осеннего равноденствий) [2].

Из рисунка можно получить угол возвышения в солнечный полдень для северного полушария [2]:

$$\alpha = 90 - \varphi + \delta, \quad (3)$$

где  $\varphi$  — это широта местоположения. Для Республики Дагестан это  $\varphi = 44^\circ$  градуса северной широты.

Склонение можно посчитать по формуле (4), градус:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \sin\left(\frac{360}{365}(d - 81)\right) \quad (4)$$

Необходимо определить оптимальный угол наклона для Республики Дагестан для каждого и месяцев и выработку электроэнергии для каждого из месяцев с учетом принимаемого угла  $\beta=44^\circ$

Таблица 3

|         | $\delta$ | $\alpha$ - угол падения солнца | $\beta$ - угол наклона солнечной панели | Вырабатываемая электроэнергия в кВт*ч |
|---------|----------|--------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| январь  | -17,8    | 28,2                           | 61,8                                    | 36754                                 |
| февраль | -8,7     | 37,3                           | 52,7                                    | 60957                                 |
| март    | 3,6      | 49,6                           | 40,4                                    | 102298                                |
| апрель  | 14,6     | 60,6                           | 29,4                                    | 130198                                |
| май     | 21,9     | 67,9                           | 22,1                                    | 148604                                |
| июнь    | 23,2     | 69,2                           | 20,8                                    | 139865                                |

|          |       |      |      |        |
|----------|-------|------|------|--------|
| июль     | 18,2  | 64,2 | 25,8 | 158260 |
| август   | 8,1   | 54,1 | 35,9 | 155389 |
| сентябрь | -3,8  | 42,2 | 47,8 | 128643 |
| октябрь  | -15,1 | 30,9 | 59,1 | 102077 |
| ноябрь   | -22,0 | 24,0 | 66,0 | 69066  |
| декабрь  | -23,1 | 22,9 | 67,1 | 56871  |

Для наглядности построим график выработки электроэнергии с учетом регулирования угла наклона и без него (рис. 2).

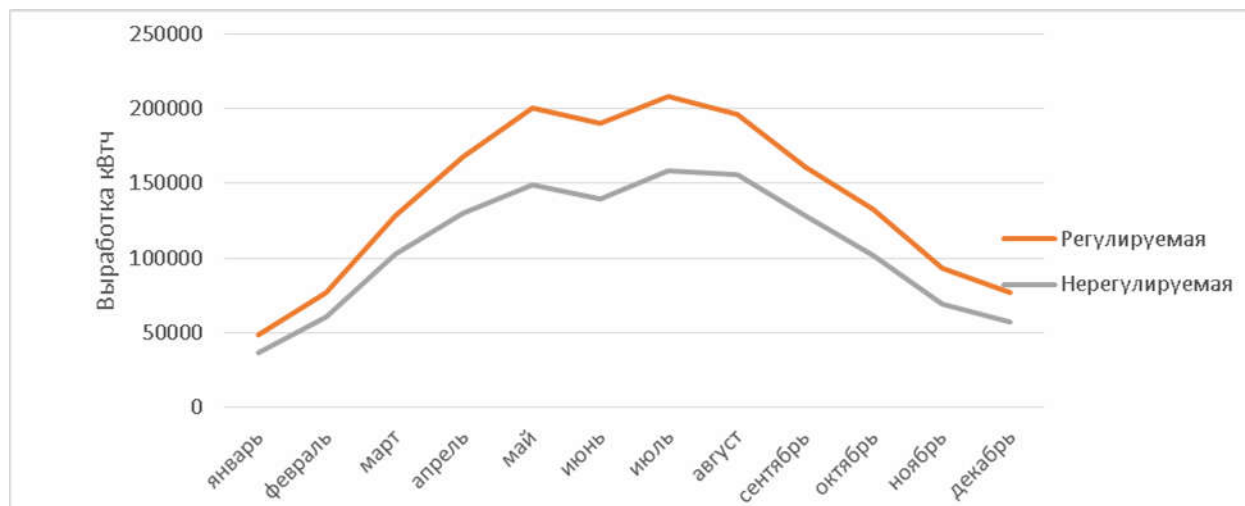


Рис. 2

Из графика мы видим, что выработка с нерегулируемыми фотоэлементами в год на 25 % меньше и составляет порядка 391 027 кВт\*ч, что в пересчете на рубли при примерной стоимости 1 кВт\*ч 4 рубля составит 1,564 млн. рублей в год.

По итогам расчетов мы определили, что сумма потерь от недовыработанный электроэнергии с СЭС мощностью 1 МВт составляет 1,564 и если средняя сумма капитальных и эксплуатационных затрат, за предполагаемый срок службы не превышает это число, то следует принимать к установке фотоэлементы с регулируемым углом наклона

### Список литературы

1. Лукутин, Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учебное пособие / Б. В. Лукутин, И. О. Муравлев, И. А. Плотников. – Томск : Издательство ТПУ, 2015. – С. 47–66.
2. Наземное солнечное излучение [Электронный ресурс] : / ООО «Энергосистемы». – Санкт-Петербург, 2017. – Режим доступа: <http://ust.su/solar/media/section-inner12/637/>

## МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

**Леденева Анастасия Анатольевна, студент  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»**

*Аннотация:* В статье рассмотрена малая гидроэнергетика, как альтернативный способ получения энергии. Хотя сегодня это крупнейший источник возобновляемой энергии, но ей есть куда расширяться.

*Ключевые слова:* гидроэнергетика, технологические изменения, повышение эффективности, устойчивая энергетика, возобновляемая энергия

Гидроэнергетика предполагает преобразование силы воды в электричество или энергию для машин, и широко внедряется во всем мире. Давление играет ключевую роль в выработке этой энергии: как правило, гидроэнергетика используется из высокоскоростного речного течения или из быстро спускающейся воды, берущей начало с высокой точки. В этом последнем варианте, в частности, гидроэнергетика не лишена своих подводных камней; общей проблемой является перемещение жителей вблизи мест строительства гидроэлектростанций и риски дестабилизации берегов водохранилищ, особенно в периоды сильных осадков. В результате большинство “мега-плотин”, как правило, не считаются устойчивыми.

Гидроэнергетика-невероятно древний источник энергии, ее использование восходит к водяным мельницам, которые с древних времен были основным продуктом цивилизации [1]. Ожидается, что изменение климата окажет серьезное влияние на развитие гидроэнергетики, поскольку большие водные ресурсы, необходимые для этой технологии, все чаще оказываются под угрозой.

Изменение климата окажет и уже оказывает серьезное воздействие на весь гидрологический цикл осадков, стока и испарения. Остается все меньше и меньше хороших мест для строительства экологически, экономически и социально приемлемых крупных гидротехнических сооружений, хотя некоторые варианты, безусловно, все еще существуют и могут быть реализованы [2]. Несмотря на глобальное стремление к использованию возобновляемых источников энергии для сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и ограничения изменения климата, гидроэнергетика может оказать серъ-

езное влияние на окружающую среду. Это оттолкнуло многих от источника энергии, утверждая, что энергия не стоит социальной и экологической цены.

Существует потенциал для того, чтобы гидроэнергетика вышла за рамки использования крупномасштабных плотин и ущерба, связанного с такими проектами. Гидроэлектростанции без плотин, также известные как речные электростанции, используют естественный поток рек и небольшие турбогенераторы для производства энергии. Однако на речных заводах не хватает мощностей для хранения энергии, что является серьезным недостатком для большинства возобновляемых источников энергии. Кроме того, в отличие от крупных запруженных гидроэлектростанций, производство было описано как “непредсказуемое” из-за потенциала низкой реки летом и замерзшей реки зимой.

Увеличив цифровизацию гидроэнергетики, General Electric (GE) подсчитала, что это может сократить выбросы углекислого газа на 17 метрических тонн (тонн) при одновременном увеличении производства всего на 1%. Это может привести к экономии эксплуатационных расходов в размере 5 миллиардов долларов.

Малая гидроэнергетика (SHP) относится к группе технологий возобновляемых источников энергии и является одной из форм привлекательной экологической перспективы производства электроэнергии из-за ее потенциала, который можно найти в малых реках и ручьях.

Многие страны используют технологию малой гидроэлектростанции в качестве возобновляемого источника энергии, чтобы минимизировать существующие экологические последствия при производстве электроэнергии и максимально использовать воду, являющуюся возобновляемым ресурсом. Эта технология заняла видное место на мировой арене, оказывая, казалось бы, незначительное воздействие на окружающую среду рек, водных каналов и плотин [3].

Возобновляемые источники энергии могут быть вспомогательными в снижении воздействия на окружающую среду, которое вызывает производство энергии с использованием ископаемого топлива или других невозобновляемых ресурсов в природе, в форме чистого и устойчивого производства. Некоторыми известными формами альтернативной генерации являются гидроэнергетика, ветер, солнечная энергия, геотермальная энергия и биомасса, которые уже присутствуют в энергетической матрице различ-

ных стран, и они высветили то, как правительства предложили извлекать энергию.

По данным Организации Объединенных Наций, технология, применяемая в малой гидроэнергетике (SHP) возобновляемой формы, позволяет развивать сельские районы и обеспечивать доступ к электроэнергии части населения, проживающего в этих регионах, и они способствуют устойчивому развитию и социальной интеграции. Эти факторы являются положительными в оценке правительств и их государственной политики.

#### *Социально-экономические и экологические аспекты.*

Малая гидроэнергетика является ключевым элементом устойчивого развития по следующим причинам:

- Правильное использование водных ресурсов: в малых гидроэлектростанциях небольшие ручьи и ручьи способны обеспечивать и генерировать энергию. Вы можете наслаждаться местным без больших запасов воды, снижая социальные и экологические последствия для местного населения.
- Малая гидроэнергетика является возобновляемым источником энергии: ресурс, используемый SHP, вода, для выработки энергии, является возобновляемым ресурсом. Поэтому этот проект классифицируется как возобновляемая энергия для использования воды и выработки электроэнергии.
- Малые гидроэлектростанции помогают экономить дефицитное ископаемое топливо: использование воды для выработки электроэнергии электростанциями заменяет ископаемое топливо и нефтепродукты. Если есть возможность замены невозобновляемых ресурсов, SHP-хороший выбор.

Низкое загрязнение окружающей среды: одной из важнейших современных проблем является взаимосвязь производства электроэнергии с окружающей средой и снижение негативных воздействий. Возобновляемые источники энергии сокращают выбросы парниковых газов и способствуют устойчивому развитию. Существует исследование, которое рассматривает SHP в качестве возобновляемого источника энергии, который снижает выбросы парниковых газов и способствует устойчивому развитию сель-

ских регионов. Технология SHP должна быть использована для снижения выбросов парниковых газов наряду с другими возобновляемыми формами производства электроэнергии.

Другие области применения: другие преимущества можно найти в регионах, где установлены небольшие заводы, такие как орошение, водоснабжение, туризм, рыболовство и предотвращение наводнений.

Технология малой гидроэнергетики является одной из наиболее распространенных технологий, используемых для производства электроэнергии сельским населением как в развитых, так и в развивающихся странах. Включение остатков этого ресурса в энергетические смеси может привести к устойчивому развитию. Малые гидроэлектростанции способствуют удовлетворению потребностей регионов, где нет значительного технологического развития, и они способны улучшить качество жизни населения за счет создания рабочих мест, увеличения местной экономики и улучшения региона.

### **Список литературы**

1. Телегин В.В. Компьютерное моделирование эффективности использования систем альтернативной энергетики // Естественные и технические науки. - 2012. - №5 (61). - С. 309-312.
2. Шпиганович А.А. Анализ влияния вероятностных параметров электрооборудования на эффективность функционирования систем электроснабжения // Вести высших учебных черноморья. - 2013. - №2 (32). - С. 25-32.
3. Новокрещенов О.В., Старцев А.А. Перспективы малой энергетики // Новая наука: теоретический и практический взгляд. - 2016. - №4-2 (75). - С. 183-185.

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: СУЩНОСТЬ, ВИДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

**Карпец Алексей Валерьевич, студент;**

**Малахова Ольга Юрьевна, к.п.н., доцент**

**Оренбургский институт путей сообщения – филиал ФГОБУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г.Оренбург**

В статье рассмотрены различные виды альтернативных источников энергии; проанализированы их преимущества и недостатки. Представлен взгляд на их реализацию и перспективы развития. Обосновано положение о том, что альтернативные источники энергии – это будущее нашей планеты, они призваны снизить вредные выбросы в окружающий мир и затормозить процесс глобального потепления, укрепить мировое экологическое благополучие.

*Ключевые слова:* энергия, природные ресурсы, альтернативная энергетика, экология.

С каждым годом у населения возрастает потребность в электроэнергии. На сегодняшний день основными источниками энергии являются: древесина, нефть, газ, уголь и вода. Однако запасы природных ресурсов с большой скоростью истощаются, цены на все виды топлива, хотя и медленно, но стабильно растут из года в год, не говоря уже о колоссальном вреде и выбросах в окружающую среду из-за добычи углеводородов [1]. Все эти проблемы активизируют поиск и разработку альтернативных видов энергетике, которые смогут заменить нынешние виды топлива. Альтернативная энергетика – совокупность перспективных способов получения, использования, хранения и передачи энергии. Чаще всего такую энергию получают из возобновляемых источников, таких как гидроресурсы, геотермальные источники, движение воздушных масс, энергия Солнца, сжигания отходов производств и другими способами. Подобные источники энергии в настоящее время развиваются недостаточно быстро из-за относительно невысокой стоимости добычи углеводородов. Альтернативный источник энергии – это способ, устройство или группа сооружений, позволяющих получить какую-либо энергию и преобразовать её в другой требуемый вид энергии (механическая, кинетическая, тепловая, ядерная, химическая и др.). Альтернативный источник призван заменить традиционные источники энергии: с использованием нефти, природного газа, угля.

Рассмотрим несколько наиболее распространённых альтернативных источников энергии, проанализируем их характеристики, преимущества и недостатки. Наиболее распространённые альтернативные источники энергии подразделяются на следующие виды:

## **1. Водные источники**

Ещё несколько тысяч лет назад человечество стало «приручать» водную стихию. Вначале вода служила приводом для рабочих машин, но с ростом научно-технического прогресса сооружения становились грандиознее и мощнее. Например, несколько веков назад на небольших обрывах или водопадах строились мельницы. А спустя годы стали появляться гигантские гидротехнические сооружения, перекрывающие целые реки, так зарождались первые гидроэлектростанции (ГЭС).

С развитием передовых технологий появились способы добычи энергии благодаря циклическим приливам морей и океанов (приливные станции). Основным и самым важным условием для строительства ГЭС или приливных станций является географическое местоположение. Электростанция должна строиться на реках, имеющих сильное течение, находиться недалеко от городов и иметь крайне устойчивую почву из-за колоссальных размеров и массы сооружения. К сожалению, водные ресурсы и ландшафт сильно ограничивают распространение ГЭС, что существенно влияет на реализацию проекта.

К преимуществам следует отнести относительную дешевизну получения энергии, отсутствие вредных выбросов в атмосферу, непрерывную возобновляемость водных ресурсов, долгосрочную эксплуатацию сооружения (до 100 лет).

Но, помимо множества достоинств ГЭС имеют и эксплуатационные недостатки. Например, заболачивание огромных территорий с последующей миграцией животных с затопленных земель, выбросы водяного пара, который ускоряет глобальное потепление, изменение русел рек и другое [2-4].

Несмотря на наличие недостатков, достоинств у такого источника получения энергии намного больше. Самое главное – здесь не требуются полезные ископаемые или токсичное ядерное топливо, а вредных выбросов в атмосферу практически не происходит.

## **2. Геотермальные источники**

Геотермальная энергетика основана на использовании тепла недр Земли. Для приемлемых значений КПД электростанции нужен пар, разо-

гретый до 150-200°C, который находится на больших глубинах и под серьезным давлением. Поэтому подавляющее число ГеоТЭС располагается в зонах повышенной вулканической активности, где горячие источники находятся близко к поверхности. Принцип работы ГеоТЭС прямого цикла крайне прост: из скважин наружу с высокой температурой и большим давлением вырывается пар, который проходит очистку от вредных примесей и вращает турбину. Если идёт не пар, а пароводяная жидкость, то используются теплообменники или расширители. Через них вода будет сброшена на глубину, но перед этим она отдаст дополнительный пар для вращения турбины, которая приводит в действие генератор, вырабатывающий электричество.

Одним из главных достоинств геотермальной энергетики является практически неиссякаемое тепло и полная независимость от окружающей среды. На многих ГеоТЭС с выработкой электроэнергии одновременно происходит добыча полезных ископаемых из рабочей жидкости. Например, в Италии из скважин на каждый 1 килограмм пара приходится 200-700 мг борной кислоты [2-4]. Пар или пароводяная смесь не всегда являются чистым веществом: нередко всего они содержат тяжёлые газы и металлы: борная кислота, свинец, углекислый газ, мышьяк, кадмий, аммиак, фенол, цинк, сера и многое другое. Если такая смесь попадёт в окружающую среду, то произойдёт серьёзнейшая экологическая катастрофа. Но при соблюдении всех правил, рациональном выстраивании процесса выбросы в окружающую среду крайне малы, а вся «грязь» закачивается назад под землю.

### **3. Солнечная энергия**

В последние годы одним из самых мощных источников альтернативной энергетики выступают солнечные электростанции (СЭС). Источником энергии здесь выступает Солнце, на котором постоянно протекают термоядерные реакции. Самым распространённым способом добычи электроэнергии выступают солнечные панели. Поток фотонов падает на поверхность панели, затем поглощается прослойкой из кремния или другого редкоземельного металла. В результате реакции р/п-проводимости фотоны «выбивают» свободные электроны из атомов проводника. В свою очередь, полученный переменный ток через специальные устройства направляется к инверторам, где преобразуется в привычный переменный ток, мощностью 220 Вольт, отправляемый далее потребителю [2-4].

К преимуществам солнечной энергетики следует отнести полное отсутствие выбросов в окружающую среду во время активной фазы использования солнечных панелей, а также стабильное и бесплатное наличие не-

обходимых ресурсов. Солнце будет существовать ещё несколько миллиардов лет, возможно, оно даже переживёт человечество.

Самым значительным недостатком использования солнечных панелей является отсутствие в нужном количестве солнечных лучей из-за пасмурных дней или географического местоположения. Сюда можно отнести и отсутствие практически бесплатных источников хранения электроэнергии, что помогло бы избежать дефицита вырабатываемой энергии на солнечных электростанциях.

Несмотря на все минусы, солнечная энергия становится всё более конкурентоспособным видом альтернативной энергетики: ежегодно количество солнечных электростанций увеличивается на 20%, в ближайшем будущем темпы строительства СЭС будут только расти.

#### **4. Ветроэнергетика**

Человек стал использовать силу ветра, практически одновременно с водной стихией, это произошло несколько тысяч лет назад. Самыми первыми средствами использования такой движущей силы стали ветряные мельницы, которые использовались на лесопилках, насосных станциях и при производстве муки. Принцип работы ветряка до безумия простой: кинетическая энергия воздушного потока превращается при помощи ротора в механическую. А ротор (ветродвигатель), в свою очередь, крутит генератор, который и вырабатывает требуемую электроэнергию. Производство ветряных электростанций крайне дешёвое, но и их мощность тоже невелика, а получаемая энергия (ее объем) сильно зависит от погоды. Несмотря на весьма значительные площади, требуемые для установки ветряков, в сравнении с другими типами электростанций, их повсеместное внедрение набирает обороты.

#### **5. Биоэнергетика**

Биоэнергетика является одним из самых дешёвых и универсальных способов получения электроэнергии: она вырабатывается путём переработки твёрдых, жидких или газообразных отходов органического сырья. Твёрдое биотопливо в виде топливных брикетов (опилки, лузга гречки, ореховая скорлупа и т.д.) используется на ТЭС.

Из отходов некоторых растений можно получить горючее топливо для автомобилей (например, биоэтанол, диметиловый эфир, биобутанол, биодизель и другие). Путём брожения навоза, умерших организмов, растений можно получить газообразное топливо: метан, биоводород и биогаз, используемые для выработки электричества, отопления помещений и др.

Существуют сельскохозяйственные предприятия, которые сами себя обеспечивают электроэнергией и теплом путем переработки навоза.

К преимуществам биоэнергетики можно отнести следующие моменты: постоянную возобновляемость требуемых ресурсов, получения сухого субстрата, который удобно применять в виде удобрения, а также мобильность и снижение выбросов в окружающую среду. Но нужно не забывать и о недостатках подобного горючего: помимо климатических факторов требуется зачистка большой территории для посадки растений, что может привести к гибели лесов. Агрессивное поведение некоторых топливных видов растений пагубно сказывается на местной флоре и фауне.

## **6. Управляемый термоядерный синтез**

Каково это: создать звезду на Земле? Сегодня это – один из самых актуальных вопросов альтернативной энергетики. Управляемый чистый термоядерный синтез способен решить все существующие энергетические проблемы человечества. Термоядерный синтез получается путём соединения лёгких ядер дейтерия и трития в более тяжёлые ядра гелия и высокоэнергетического нейтрона при температуре в несколько миллионов градусов. Официальные лица Международного термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР) – многонационального проекта, базирующегося на юге Франции, объявили, что теперь они находятся всего в 6,5 годах от «Первой плазмы», что является исторической вехой, а сам проект выполнен более чем на 65% [2-4]. На сегодняшний день существуют 2 глобальные проблемы, мешающие разработке термоядерного реактора: отсутствие технологий по длительному поддержанию нужной температуры и давления для соединения ядер и отсутствие магнитного поля для поддержания плазмы (превышающего в 10 раз атмосферное давление Земли). Не говоря уже о том, что будет с планетой, и какими будут возможные последствия, если подобный реактор взорвётся.

Какое будущее у альтернативных источников энергии? Пожалуй, это – один из самых сложных и многоаспектных вопросов. На сегодняшний день во многих странах альтернативная энергетика развивается быстрыми темпами, но, увы, это происходит крайне неравномерно. В некоторых Европейских странах уровень альтернативной энергетики приближается к 40-50% от суммарного общего потребления. Но без государственных льгот и субсидий такого результата достичь было бы просто невозможно.

В России альтернативная энергетика на данный момент мало развита по ряду причин. Одной из главных – нахождение месторождений прямо «под боком»: значительная площадь страны располагается над пластами нефти, газа и угля, что предполагает низкую стоимость производства и

доставки электроэнергии до потребителя, даже в самые отдалённые регионы. Сказывается и географическое положение страны. Например, не везде можно построить ГоеТЭС, СЭС или ГЭС. Во многих регионах по-прежнему. В последние годы, несмотря на все преимущества углеводородов, Россия начинает брать курс на совершенно иные способы получения электроэнергии.

В заключение необходимо отметить, что в ближайшие несколько десятилетий полностью перейти на использование альтернативных источников энергии не представляется возможным по целому ряду причин. Траты на первоначальном этапе строительства не всегда экономически оправданы. Существует большая зависимость от внешних факторов, человек практически не может контролировать погодные условия, водную стихию и уровень приливов. Ещё одним из немаловажных факторов является большое сокращение посевных площадей для продовольственных культур, а ГЭС кардинально изменили условия ведения рыбного хозяйства. Но, несмотря на все недостатки, альтернативная энергия имеет целый ряд преимуществ. Например, полученная из альтернативных источников энергия в долгосрочной перспективе имеет низкую себестоимость. В некоторых регионах нашей страны большую роль играет доступность того, или иного вида источника энергии (вулканические районы или выход к морям). На наш взгляд в будущем альтернативная энергетика сможет стать достойной альтернативой в период серьезного дефицита углеводородных полезных ископаемых.

### **Список литературы**

1. Сагинтаев Е.С., Малахова О.Ю. Векторы профессиональной подготовки будущего инженера: проблемы и перспективы //Инженерное образование: опыт, перспективы, проблемы: материалы Всерос. научно-практ. конф. (Благовещенск, 20 ноября 2020г.) Благовещенск: ДГАУ, 2021. С. 47-54.
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://itexn.com/8446\\_biojenergetika-sposoby-ispolzovaniya-jenergii-biomassy.html](https://itexn.com/8446_biojenergetika-sposoby-ispolzovaniya-jenergii-biomassy.html) (дата обращения: 1.10.21)
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Управляемый\\_термоядерный\\_синтез](https://ru.wikipedia.org/wiki/Управляемый_термоядерный_синтез) (дата обращения: 1.10.21)
4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solarpanel.today/solnechnaya-elektrostanciya-ses/#h3> (дата обращения: 1.10.21)

## **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ: СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**Сим Юрий Андреевич, студент;**

**Студенихин Сергей Алексеевич, студент;**

**Малахова Ольга Юрьевна, к.п.н., доцент**

**Оренбургский институт путей сообщения – филиал ФГОБУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г.Оренбург**

В данной статье рассмотрены различные виды альтернативных источников энергии и возможности их реализации в инфраструктуре железнодорожного транспорта. Исследован теоретический и практический опыт использования альтернативных источников энергии в транспортной сфере. Проанализированы основные проблемы, решение которых позволит минимизировать негативное влияние на окружающую среду.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии, альтернативная энергетика, железнодорожный транспорт.

До недавнего времени нефть, газ, уголь, вода и древесина являлись главными источниками энергии. Но наши природные ресурсы постепенно истощаются, а цены на них растут, к тому же выбросы от их переработки постоянно оказывают негативное влияние на окружающую среду. Поэтому многие страны все больше склоняются к разработке, внедрению и развитию альтернативных решений в области энергетики, которые позволят заменить топливо, основой которого являются нефть и газ.

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) экологически намного более безопасны, они обладают практически неисчерпаемым ресурсом, основой которого являются естественные природные процессы. Их использование в качестве альтернативы традиционным формам энергообеспечения давно привлекает внимание специалистов. Сегодня не менее 20% электроэнергии в мире производится с помощью данных технологий.

Но большой проблемой, которую ученые не в силах решить самостоятельно, остается отсутствие финансирования. Зачастую проекты с использованием традиционных видов топлива обходятся дешевле, чем строительство ветрогенераторов и солнечных электростанций. Рассмотрим основные виды альтернативных источников энергии, сделав акцент на их использовании в сфере железнодорожного транспорта.

### **1. Солнечная энергия**

Одним из наиболее популярных видов топлива в сфере железнодо-

рожного транспорта становится солнечная энергия. Показателен пример австралийских инженеров: они запустили первый «солнечный» состав, который уже успели прозвать «чудом десятилетия», это произошло в конце 2017 года в Байрон-Бей. Для этого был переоборудован поезд 1949 года. Этим экспериментом они смогли показать, что энергия солнца вполне подходит для перевозки пассажиров. На крышах вагонов были расположены гибкие панели, которые питали состав на протяжении всего 3-километрового пути. Проект был «заморожен», и сейчас это, скорее, аттракцион, нежели коммерческий маршрут, но опыт австралийских ученых вдохновил инженеров во всем мире.

Не менее интересны пилотные проекты в Индии. К 2017 году в стране уже внедрялись ВИЭ в транспортную отрасль. Например, составы двигались за счет локомотива на дизеле, а работу кондиционеров и освещения обеспечивала уже солнечная энергия. После нескольких месяцев тестирования были опубликованы планы: к 2025 году построить солнечные и ветряные электростанции, оснастить пассажирские поезда солнечными и литий-ионными батареями, оборудовать солнечными панелями крыши всех вокзалов и иных сервисных сооружений.

Интересен опыт ученых и инженеров из Англии. В Великобритании заинтересовались развитием транспортной солнечной энергетики и предложили установить солнечные панели вдоль железнодорожных путей. Предполагается, что электричество, полученное через эти панели, будет подаваться к вагону в виде тягового тока, энергосеть же из цепочки будет исключена. Такая технология позволит избежать проблем с ограниченной емкостью контактной сети в небольших населенных пунктах и чрезмерными ее нагрузками. Пока эта разработка существует лишь на бумаге, но, при условии решения всех технических задач, идея превратится в реальный проект.

## **2. Водородное топливо**

Использование локомотивов на водородном топливе – одно из наиболее перспективных современных направлений. Главные проблемы, которые встают на пути – дороговизна производства водорода и безопасность топливной инфраструктуры в целом.

Водород, как вид топлива, имеет ряд преимуществ:

- высокая энергоэффективность (в сравнении с топливом, которое используется сегодня на железнодорожном транспорте);
- экологичность;
- возможность использования без электросетей.

Последний пункт крайне актуален в ситуации, которая сложилась в современной России: в нашей стране свыше 40 тыс. км железных дорог не электрифицированы, что составляет почти 50% от общей их протяженно-

сти. Дизельное топливо в энергопотреблении РЖД составляет около 30% от общих затрат, при его сжигании производится огромное количество углекислого газа. Кроме того, в состав выхлопа входят и другие загрязняющие вещества. Переход на водородную тягу позволит минимизировать эти выбросы или же вовсе свести их к нулю. Речь, разумеется, идёт об использовании топливных элементов, производящих электричество для питания тяговых электродвигателей, а не о прямом использовании водорода. Побочными продуктами этого источника энергии являются пар и конденсированная вода [1-4].

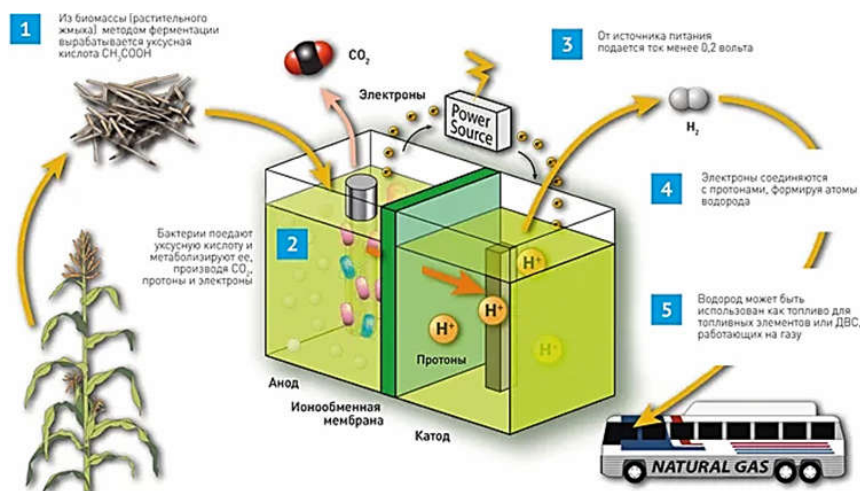


Рисунок - Производство водорода с применением биотехнологий

В мире уже есть примеры действующих электропоездов на топливных элементах: французский Coradia iLint, а к 2022 году запланирован пуск ещё 14 таких поездов.

В России разработки такого рода ведутся уже довольно длительное время: эксперименты с топливными элементами начались около 10 лет назад, и в 2013 году был представлен опытный образец. Проведённые испытания подтвердили возможность, а, главное, целесообразность идеи использования водорода как источника энергии для подвижного состава, однако широкого развития тема тогда не получила. Впрочем, подобные проекты в области железнодорожного транспорта немногочисленны. Несмотря на то, что эффективность топливных элементов за последние десятилетия сильно возросла, главной проблемой все же остаётся дороговизна водорода.

### 3. Энергия ветра

В 2015 году в Нидерландах начали разрабатывать проект по внедрению альтернативной энергетики в железнодорожную отрасль. Обладая

немалыми достижениями в области ВИЭ, инженеры представили общественности поезд на энергии ветра. Электричество для этих поездов добывалось с помощью ветрогенераторов.

Появлению и развитию таких проектов способствует и инфраструктура в стране. В Нидерландах существует огромное количество ветряных электростанций: порядка 2200 турбин. Еще в 2005 году был дан старт программе энергоэффективности, которая, по самым скромным подсчетам, позволила уменьшить вредные выбросы в стране на 30%.

Наладив партнерские отношения с близлежащими государствами, было начато строительство гигантских мельниц на территории Бельгии и некоторых скандинавских стран, и поезда полностью курсируют на электричестве, совершая более пяти тысяч рейсов в день и перевозя более 600 тысяч человек в сутки.

### **Заключение**

Локомотивы на альтернативных видах топлива – очень важная и полезная тенденция нашего времени. Известно, что ОАО «Российские железные дороги» планирует отказаться от закупок локомотивов на дизельной тяге, отдавая предпочтение в пользу подвижного состава на альтернативных видах топлива. Такие виды тягового подвижного состава будут актуальны не только для Холдинга, но и для предприятий, которые работают на путях необщего пользования [1-4]. И перспективы таких составов оцениваются в основном положительно. Однако переход на них – дело не самого ближайшего будущего, поскольку существует ряд сложных проблем, затрудняющих реализацию многих перспективных проектов.

### **Список литературы**

1. Зубрев Н.И. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. 392 с.
2. Канило П.М., Костенко К.В. Перспективы становления водородной энергетики и транспорта // Автомобильный транспорт (Харьков). 2008. № 23. С. 107-113.
3. Поезд на водороде – европейский технологический прорыв с оговорками / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dw.com/ru/поезд-на-водороде-европейский-технологический-прорыв-с-оговорками/a-45525961> (дата обращения: 1.10.21)
4. Титова Т.С. Экологический аспект техносферной безопасности на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. 307 с.

## **ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ ВЕТРА И СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ**

**Руди Дмитрий Юрьевич, старший преподаватель,  
Омский институт водного транспорта – филиал  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного  
транспорта»**

Аннотация: Сейчас дневное электричество является наиболее необходимым средством для человека. Все традиционные энергетические ресурсы истощаются день ото дня. Таким образом, мы должны перейти от традиционных к нетрадиционным энергетическим ресурсам. При этом имеет место комбинация двух энергетических ресурсов, то есть энергии ветра и солнца. Этот процесс возбуждает устойчивые энергетические ресурсы без ущерба для природы. Мы можем дать бесперебойную энергию, используя гибридную энергетическую систему. В основном эта система предполагает интеграцию двух энергетических систем, которые дадут непрерывную мощность. Солнечные панели используются для преобразования солнечной энергии, а ветряные турбины используются для преобразования энергии ветра в электричество. Эту электроэнергию можно использовать для различных целей. Производство электроэнергии будет проходить по доступной цене. Эта статья посвящена производству электроэнергии с использованием двух источников, что позволяет производить электроэнергию по доступной цене без ущерба для баланса природы.

*Ключевые слова* - электричество, гибрид, солнечная энергия, энергия, ветер.

Электричество больше всего необходимо для нашей повседневной жизни. Существует два способа выработки электроэнергии - либо обычными энергоресурсами, либо нетрадиционными энергоресурсами. Потребность в электрической энергии на словах увеличивается, поэтому для удовлетворения спроса мы должны генерировать электрическую энергию. Теперь дневная электрическая энергия вырабатывается обычными энергетическими ресурсами, такими как уголь, дизельное топливо, атомная энергия и т.д.. Главный недостаток этих источников заключается в том, что они производят отходы, такие как зола на угольной электростанции, ядерные отходы на атомной электростанции и заботятся об этом. растрата очень дорогая. И это также наносит ущерб природе. Ядерные отходы так-

же очень вредны для человека. Традиционные энергетические ресурсы истощаются день ото дня. Вскоре он полностью исчезнет с земли, поэтому мы должны найти другой способ выработки электроэнергии. Новый источник должен быть надежным, экологически чистым и экономичным. Нетрадиционные энергетические ресурсы должны быть хорошими альтернативными энергетическими ресурсами для традиционных энергетических ресурсов. Существует много нетрадиционных энергетических ресурсов, таких как геотермальные, приливные, ветровые, солнечные и т.д. [1]. Приливная энергия имеет недостатки, которые могут быть реализованы только на морских берегах. В то время как геотермальной энергии нужен очень большой шаг для извлечения тепла из земли. Солнце и ветер легко доступны в любых условиях. Нетрадиционные энергетические ресурсы, такие как солнечный, ветер могут быть хорошим альтернативным источником. Недостатком солнечной энергии является то, что она не может вырабатывать электрическую энергию в дождливое и облачное время года, поэтому нам необходимо преодолеть этот недостаток: мы можем использовать два энергетических ресурса, чтобы любой один из источников вышел из строя, а другой источник продолжал генерировать электроэнергию. И в хороших погодных условиях мы можем использовать оба источника вместе [2,3].

Гибридная энергетическая система - это комбинация двух источников энергии для питания нагрузки. Другими словами, она может быть определена как «Энергетическая система, которая изготовлена или предназначена для извлечения энергии с использованием двух источников энергии, называется гибридной энергетической системой». Гибридная энергетическая система обладает хорошей надежностью, эффективностью, меньшим уровнем выбросов и более низкими затратами. В этой предлагаемой системе солнечная и ветровая энергия используется для выработки электроэнергии. Солнце и ветер имеют хорошие преимущества по сравнению с другими нетрадиционными источниками энергии. Оба источника энергии имеют большую доступность во всех областях. Это требует более низкой стоимости. Нет необходимости искать специальное место для установки этой системы.

Солнечная энергия - это та энергия, которую получает излучение солнца. Солнечная энергия присутствует на земле постоянно и в изобилии. Солнечная энергия находится в свободном доступе. Он не производит никаких газов, которые означают, что он не загрязняет окружающую среду. Это доступно по стоимости. Имеет низкую стоимость обслуживания

ния. Единственная проблема с солнечной системой - она не может производить энергию в плохих погодных условиях. Но он имеет большую эффективность, чем другие источники энергии. Для этого нужны только первоначальные инвестиции. Он имеет длительный срок службы и имеет более низкий уровень выбросов [4].

Энергия ветра - это энергия, извлекаемая из ветра. Для добычи мы используем ветряную мельницу. Это возобновляемые источники энергии. Энергия ветра требует меньших затрат на производство электроэнергии. Стоимость обслуживания также меньше для системы ветроэнергетики. Энергия ветра присутствует почти 24 часа в сутки. У него меньше выбросов. Начальная стоимость также меньше системы. Производство электричества от ветра зависит от скорости ветра [5].

Основными недостатками использования независимых возобновляемых источников энергии являются отсутствие доступа к электроэнергии на все времена. Для преодоления этого мы используем солнечную и ветровую энергию вместе. Так что, если какой-то один источник энергии выходит из строя, другой позаботится о покое. В этой предложенной системе мы можем использовать оба источника объединить. Другой способ заключается в том, что мы можем использовать любой один источник и оставить другой источник в качестве резервного модуля. Это приведет к преимуществу покоя. Это сделает систему надежной. Основными недостатками этой системы являются высокая начальная стоимость. За исключением того, что это надежно, у него меньше выбросов. Стоимость обслуживания меньше. Срок службы этой системы больше. Эффективность больше. Основным преимуществом этой системы является то, что она обеспечивает непрерывное питание.

Для проектирования гибридной энергетической системы нам нужно найти следующие данные

А. Данные, необходимые для Солнечной системы:

1. Среднегодовая дневная продолжительность солнечных часов;
2. Ежедневное солнечное излучение по горизонтали ( $\text{кВт} / \text{м}^2 / \text{день}$ ).

В. Данные, необходимые для системы ветра:

1. Среднегодовая почасовая скорость ветра ( $\text{м} / \text{с}$ );
2. Энергия ветра, которая может генерироваться ветряной турбиной.

На рисунке 1 показана блок-схема гибридной системы выработки электроэнергии с использованием энергии ветра и солнца.

Солнечная панель используется для преобразования солнечной ра-

диации в электрическую энергию. Физика фотоэлемента очень похожа на физику классического диода с PN переходом, образованным полупроводниковым материалом. Когда соединение поглощает свет, энергия поглощенного фотона передается электронно-протонной системе материала, создавая носители заряда, которые разделяются на соединении. Носители заряда в области соединения создают градиент потенциала, ускоряются под действием электрического поля и циркулируют как ток через внешнюю цепь. Солнечная батарея или панель представляет собой группу из нескольких модулей, электрически соединенных последовательно параллельной комбинацией для генерации требуемого тока и напряжения. Солнечные панели являются средой для преобразования солнечной энергии в электроэнергию.

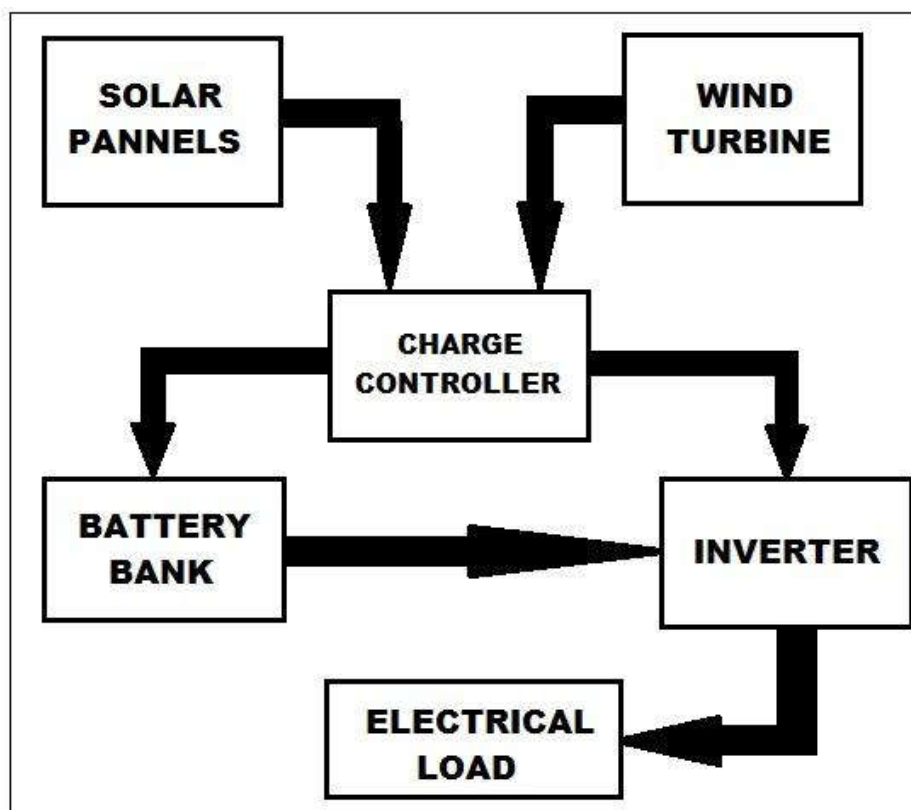


Рисунок 1 - Блок-схема гибридной системы генерации энергии

Ветровая турбина - это та система, которая извлекает энергию из ветра путем вращения лопастей ветротурбины. В основном ветрогенератор имеет два типа: один вертикальный, а другой горизонтальный. По мере увеличения скорости ветра выработка электроэнергии также увеличивается. Энергия, генерируемая ветром, не непрерывна, а колеблется. Для по-

лучения неизменяемой мощности мы должны хранить ее в батарее, а затем подавать ее на нагрузку.

Основная функция контроллера заряда состоит в том, что он контролирует источник, который должен быть активным или неактивным. Он одновременно заряжает аккумулятор, а также подает питание на нагрузку. Контроллер имеет защиту от перезаряда, защиту от короткого замыкания, защиту от путаницы полюсов и функцию автоматической разгрузки. Кроме того, функция заключается в том, что он должен варьировать мощность в соответствии с нагрузкой. Это добавляет мощность, чтобы нагрузка могла удовлетворить. А когда питание не генерируется, оно должно извлекать энергию из батареи и отдавать ее нагрузке.

Необходимо выбрать инвертор с большей номинальной мощностью, чем требуемая номинальная. В других случаях рекомендуется использовать чисто волновой инвертор, чтобы продлить срок службы инвертора. Инвертор необходим для преобразования мощности постоянного тока в мощность переменного тока. Поскольку наша нагрузка работает от источника переменного тока, нам необходимо преобразовать энергию постоянного тока. Входное напряжение Выходное напряжение и частота, а также общая мощность питания зависит от конструкции конкретного устройства или схемы. Инвертор не производит никакой мощности. Питание обеспечивается источником постоянного тока.

Гибридные энергетические системы солнечного ветра требуют только первоначальных инвестиций. Он будет хорошо конкурировать в производстве с обычными источниками энергии. При учете срока службы снижаются или исключаются коммунальные расходы. Стоимость системы зависит от выбранной системы, ветрового ресурса на площадке, затрат на электроэнергию в этом районе и требуемой батареи. Стоимость ветро-солнечной гибридной системы должна быть сведена к минимуму. Для минимизации стоимости системы нам необходимо увеличить использование нетрадиционных источников энергии. Так что производство солнечной и ветряной энергии будет увеличиваться. Это снизит стоимость всей системы.

Гибридная система выработки электроэнергии является хорошим и эффективным решением для выработки электроэнергии, чем обычные энергоресурсы. Это имеет большую эффективность. Это может обеспечить отдаленные места, куда правительство не может достигнуть. Таким образом, мощность можно использовать там, где она генерируется, чтобы снизить потери и стоимость передачи. Снижение затрат может быть сде-

лано путем увеличения производства оборудования. Люди должны мотивировать использовать нетрадиционные энергетические ресурсы. Он очень безопасен для окружающей среды, так как не производит выбросов и вредных отходов, таких как традиционные энергоносители. Это экономически эффективное решение для генерации. Для этого нужны только первоначальные инвестиции. У этого также есть длинная продолжительность жизни. В целом это хорошее, надежное и доступное решение для выработки электроэнергии.

### Список литературы

1. Руди, Д.Ю. Использование альтернативных источников энергии в современной электроэнергетике / Д.Ю. Руди, А.М. Крупина // В сборнике: Results of research activities 2018: inventions, methods, innovations Сборник материалов XLII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 48-50.
2. Руди, Д.Ю. Алгоритм расчёта системы автономного питания на основе ВЭУ и солнечной энергетики / Д.Ю. Руди, Н.В. Шарков, Н.Г. Демидова, Т.В. Бубенчикова // Молодой ученый. 2016. № 22-3 (126). С. 43-46.
3. Аубакиров, Р.Д. Солнечная энергия в России и новая отрасль "зеленой" энергетике в мире - био фотоэлектрические системы / Р.Д. Аубакиров [и др.] // В сборнике: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ материалы Международной научно-практической конференции. 2017. С. 168-171.
4. Чеснокова, С.В. Солнечная энергетика Китая: новые тенденции / С.В. Чеснокова // Вестник Института востоковедения РАН. 2018. № 6. С. 116-122.
5. Бубенчиков, А.А. Ветроэнергетика как источник электрической энергии / А.А. Бубенчиков [и др.] // Молодой ученый. 2016. № 28-2 (132). С. 35-38.

## **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА К ЭНЕРГЕТИКЕ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**Соломина Анна Сергеевна, магистрантка  
Иркутский государственный университет**

Во многих странах мира ставится вопрос о создании энергосистем исключительно на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Большинство исследований показывают, что 100%-я доля ВИЭ в электроэнергетике возможна с технической точки зрения.

*Ключевые слова:* возобновляемые источники энергии, электроэнергетика, стоимость электроэнергии, солнечные электростанции, ветроэлектрические станции.

В последние годы глобальное потепление стало критической проблемой. Многие лидеры и политики говорили о замене ископаемого топлива на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Некоторые из них даже пошли дальше и вскоре говорят о переходе к энергетике со 100%-й долей ВИЭ.

В ряде публикаций утверждается, что действия по борьбе с изменением климата являются неотложными, так как последствия такого изменения оказываются хуже, чем ожидалось [1]. Также утверждается, что стабилизация концентрации парниковых газов приведет к продолжающемуся потеплению и необходимо кардинально сократить выбросы CO<sub>2</sub>. Одним из решений для удовлетворения этих амбиций является сокращение выбросов от ископаемого топлива за счет масштабного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистемах.

Использование ископаемого топлива увеличивает глобальные выбросы парниковых газов и поэтому их дальнейшее использование противоречит положениям Парижского соглашения по климату 2015 года.

Некоторые виды ВИЭ (гидроэнергетика, геотермальная энергетика и биоэнергетика) могут обеспечить надежное электроснабжение сезонно или круглый год, однако их возможности относительно ограничены и зависят от местоположения. Солнечная и ветровая энергия обладают огромными ресурсами, но не обладают надежностью из-за их изменчивого характера. В связи с этим необходимо развитие систем аккумулирования и

хранения энергии.

В 2020 г. установленная мощность ФЭП в мире достигла 760 ГВт, ВЭУ – 743 ГВт [1] (рисунок 1). За последние 10 лет (2010–2020 гг.) установленные мощности ветроэлектрических станций (ВЭС) выросли почти в 3,7 раза (средний темп роста 14 %), а солнечных электрических станций (СЭС) – в 19 раз (34 % в год). ВИЭ выработали около 29 % мирового производства электроэнергии [2].

Мировыми лидерами в использовании ВИЭ являются страны Северо-Восточной Азии, особенно Китай (более трети установленных мощностей солнечных и ветровых электростанций) (таблица 1). В связи с малыми масштабами развития нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергетике России, в последние годы предпринимаются меры для их развития. В 2013 г. была принята Программа Правительства Российской Федерации по стимулированию развития ВИЭ, в которой поставлена задача ввести в действие и подключить к энергосистеме 3,6 ГВт ВЭУ и 1,52 ГВт фотоэлектрических преобразователей (ФЭП).

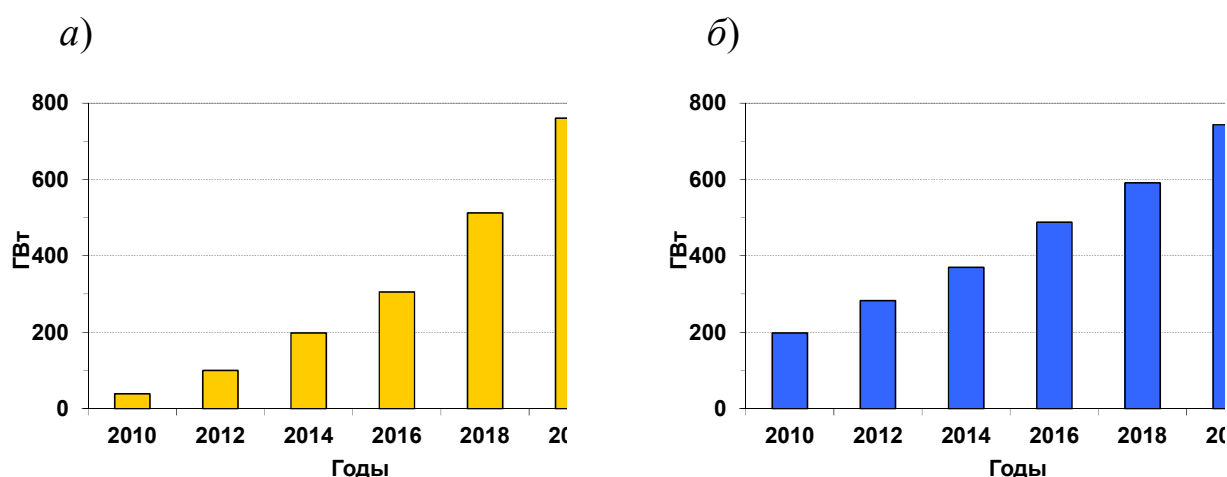


Рисунок 1 – Изменение установленных мощностей ФЭП (а) и ВЭУ (б) в мире, ГВт

Таблица 1 – Установленные мощности ВИЭ в отдельных странах (2020 год), ГВт [2]

| Страны                        | СЭС   | ВЭС   | ВИЭ*, всего |
|-------------------------------|-------|-------|-------------|
| <i>Лидеры по мощности ВИЭ</i> |       |       |             |
| Китай                         | 253,4 | 281,0 | 894,9       |
| США                           | 96,0  | 122,5 | 291,7       |
| Индия                         | 47,4  | 38,6  | 134,3       |
| Германия                      | 53,9  | 62,6  | 131,7       |
| Япония                        | 71,4  | 4,4   | 103,5       |

| <i>Избранные страны</i> |            |            |             |
|-------------------------|------------|------------|-------------|
| Россия                  | 1,9        | 0,9        | 54,9        |
| Южная Корея             | 15,9       | 1,6        | 21,0        |
| <i>Мир в целом</i>      | <i>760</i> | <i>743</i> | <i>2838</i> |

Примечание: \* – включая другие виды ВИЭ (гидроэнергия, биомасса, геотермальная и морская энергия).

Тенденция роста доли ВИЭ (прежде всего солнечных и ветровых энергоустановок) в мировой энергетике определяется как необходимостью вытеснения органических топлив из энергобаланса с целью снижения выбросов парниковых газов, так и возросшей конкурентоспособностью фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) и ветроэлектрических установок (ВЭУ) по сравнению с традиционными энергоисточниками на органическом топливе. Стоимость электроэнергии от солнечных и ветровых источников резко упала за последнее десятилетие (особенно для фотоэлектрических систем). Прогнозные значения стоимости вырабатываемой электроэнергии при использовании ФЭП и ВЭУ для большинства регионов мира находятся в интервале 10–100 €/МВт·ч (1–10 цент/кВт·ч) (рисунок 2) [3].

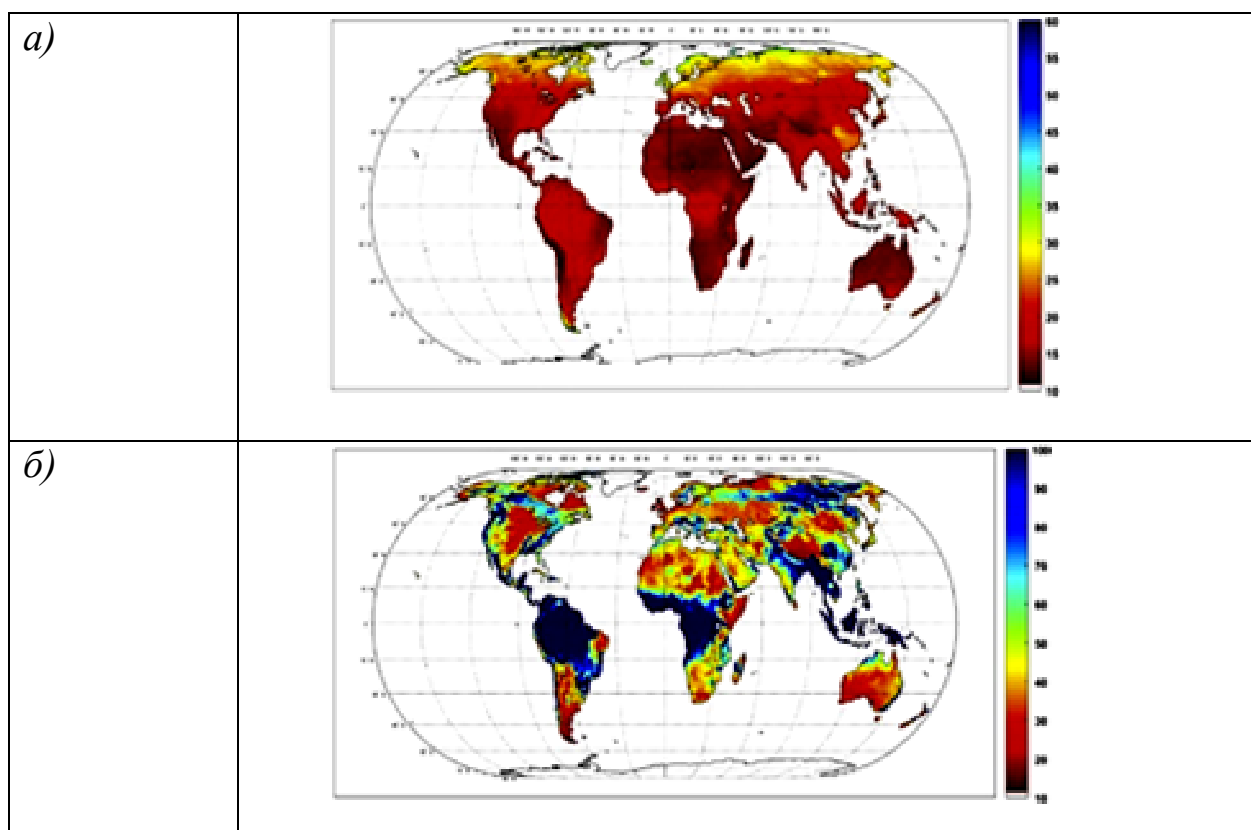


Рисунок 2 – Прогнозная стоимость электроэнергии ФЭП (а) и ВЭУ (б) в мире в 2050 году, €/МВт·ч

Дальнейшее увеличение доли ВИЭ невозможно без оптимального соотношения генерирующих и аккумулирующих мощностей, совершенствования регулирования энергосистемы, а также перетоков электроэнергии между регионами.

Во многих странах мира ставится вопрос о создании энергосистем исключительно базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]. В настоящее время концепция энергосистем со 100%-й долей возобновляемой энергии набирает популярность. Например, в Швеции, где поставлена цель достичь нулевых выбросов парниковых газов к 2045 г., в Дании – не позднее 2050 г. Аналогичные цели поставили Бангладеш, Барбадос, Камбоджа, Колумбия, Эфиопия, Гана, Монголия, Вьетнам. Уже сегодня несколько стран поставляют почти всю электроэнергию из возобновляемых источников (в основном гидроэнергетика), такие как Норвегия, Коста-Рика и Уругвай [1].

С 2014 г. появляется более 15-40 публикаций в год, посвященных концепции энергосистем со 100%-й долей ВИЭ [1]. Большинство исследований показывают, что 100%-я доля ВИЭ возможна с технической точки зрения, пока мало публикаций возражают против этого. Исследования показывают, что 100%-я доля ВИЭ возможна в электроэнергетике, в то время как другие исследования показывают что это технически достижимо для всех секторов в долгосрочной перспективе. Подробный анализ публикаций приведен в обзоре [1].

Для перехода к 100% возобновляемой электроэнергетике необходимо использовать потенциал всех доступных типов ВТЭ с целью достижения синергетического эффекта. Энергосистема на базе ВИЭ должна включать в себя СЭС, ВЭС, гидроэнергетику, био- и геотермальную энергетику. Кроме того, требуется развитие технологий аккумулирования электроэнергии: аккумуляторные батареи (Li-Ion и др.), гидроаккумулирующие электростанции, аккумуляторы на базе сжатого воздуха и др.

Всё большее число исследователей подчеркивают важность применения целостного межотраслевого подхода к проектированию систем 100% возобновляемых источников энергии. С одной стороны, транспорт и промышленность, а также секторы отопления и охлаждения нуждаются в вкладе электроэнергетического сектора. С другой стороны, эти секторы могут предоставить более доступные решения по хранению энергии для интеграции производства энергии солнца и ветра обеспечить большую гибкость энергосистемы.

**Выводы.** Область исследования энергосистем со 100%-й долей ВИЭ была создана в начале 2000-х и упоминается во все большем количестве статей с начала 2010-х гг. Подавляющее большинство всех публикаций подчеркивает техническую осуществимость и экономичность жизнеспособность таких систем. Все большее количество статей охватывает несколько секторов энергетики. Это отражает интеграцию будущих энергетических систем и все более важную роль электроэнергии во всех секторах энергетики. Важными факторами являются развитие систем аккумуляции энергии и оптимизация потоков электроэнергии между регионами.

### **Список литературы**

1. Hansen K., Breyer C., Lund H. Status and perspectives on 100% renewable energy systems // *Energy*. 2019, Vol. 175. P. 471–480.
2. Renewables 2021. Global Status Report. – Paris: REN21, 2021.
3. Fasihi M., Breyer C. Baseload electricity and hydrogen supply based on hybrid PV-wind power plants // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 243. No. 118466.
4. Марченко О.В., Соломин С.В., Соломина А.С. Эффективность солнечных и ветровых установок в мировой электроэнергетике // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Иркутск, 21-24 апреля 2021 г.). Иркутск: ИрГТУ, 2020. С. 203–207.
5. Марченко О.В., Соломин С.В., Соломина А.С. Экологическая и экономическая эффективность возобновляемых источников энергии на побережье озера Байкал // Экологические проблемы регионов: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (Иркутск, 19-25 июня 2017 г.). Иркутск: ИрГТУ, 2017. С. 211–216.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЗОБЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Габитов Ильдар Азатович, к.т.н., старший преподаватель  
Егоров Валентин Валентинович, магистрант,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Рассмотрены основные факторы влияния возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на окружающую среду, выявлены основные направления для улучшения эксплуатации и утилизации ВИЭ с целью наименьшего загрязнения окружающей среды в будущем.

*Ключевые слова:* ветроэнергетическая установка, энергетика, окружающая среда, энергия солнца, фотоэлемент, реактор, технологии, экологическая безопасность.

Всего за небольшой промежуток времени установки созданные на основе ВИЭ, приобрели и набирают большую популярность не только в России, но и в мире. В данное время такие станции, несомненно, вызывают конкуренцию с уже повседневно используемыми электростанциями на ископаемых источниках энергии. В 2019 году аналитики REN21 (центр по проблемам возобновляемой энергетики под эгидой программы ООН по окружающей среде) указали, что затраты энергии от новых солнечных станций доходит в порядке \$85 за 1 МВт/ч, тогда как для традиционных электростанций результат доходит от \$49 до \$174 за 1 МВт/ч в разных странах, говоря об экологической безопасности в сфере энергетики, в первую очередь необходимо решать проблему уменьшения образуемого в процессе углекислого газа в атмосферу или декарбонизации. Не стоит забывать о том, что помимо проблем с декарбонизацией существует ещё множество других вопросов, связанных с сохранением окружающей среды. Это сохранение численности и видов животных, борьба с глобальным потеплением и множество других негативных влияний.

Конечно у электроэнергетики, производимой из возобновляемых (альтернативных) источников другой эффект влияния на окружающую среду, тем не менее необходимо более глубоко рассмотреть такие наиболее важные факторы как:

- влияние на окружающую среду при производстве ВИЭ;
- воздействие на окружающую среду при установке и эксплуатации

ВИЭ;

- последствия для окружающей среды при утилизации ВИЭ.

Рассмотрев и проанализировав данные факторы, возможно, сделать вывод о дальнейшей эксплуатации так называемой «Зелёной энергетики». Ниже приведены основные виды возобновляемых источников энергии и рассмотрены их проблемные и положительные стороны по отношению к окружающей среде.

### **Ветровые электростанции.**

Ветер является повсеместным и бесконечным источником энергии, поэтому станции, преобразующие ветер в электроэнергию, очень быстро распространяются в мире. Ветровые электростанции (ВЭС), имеют возможность работать при средней скорости ветра от 5 м/с. Помимо того, что ВЭС может работать полностью автономно, есть возможность их подключения к централизованной системе. В данное время больше всего электроэнергии на основе ВЭС вырабатывается в США, а в странах Европы - в Германии, Нидерландах. Несмотря на повсеместное использование ВЭС оно возможно не везде, коэффициент полезного действия (КПД) данной станции, в среднем около 30%. По закону немецкого физика Альберта Беца, ветрогенератор может забрать только 59,3% энергии от падающего на него воздушного потока. Если принять в расчёты затраты на преобразование и транспортирование энергии, то возможное КПД будет в районе 35-45%. Это определено продолжительной чередой производства энергии. Для подключения любого потребителя необходима сеть 380/220 вольт переменного тока, либо постоянного тока, ветрогенератор выдаёт 24В., постоянного тока, то есть необходимо дополнительное оборудование для преобразования его в необходимый для потребителя. Так же необходимо сберечь энергию в периоды, когда она не затрачивается, для этого так же придётся потратиться на аккумулирующие устройства. Не стоит забывать, что в каждом из этих этапов идёт потеря электроэнергии, для примера одна такая станция способна вырабатывать примерно 0,6-0,9кВт-ч/сутки, исходя из скорости ветра. Вопреки тому, что ВЭС сегодня пользуется спросом цена на их возведение достаточно велика, но эксплуатация является относительно дешёвой. При строительстве ВЭС следует обратить внимание не только на выбор выгодного места с технической стороны, но и учесть экологические факторы расположения, чтобы нанести минимальный ущерб природным и животным ресурсам, например, избежать вырубки лесов, места гнездования и перелёта птиц и т.д. Ветровая энергетика

при производстве энергии имеет право относится к созданию «Чистой энергии». К положительным сторонам относятся:

- при производстве электроэнергии отсутствуют факторы декарбонизации;
- не приводит к образованию отходов в процессе эксплуатации;
- использование источника энергии который не требует затраты на транспортировку и его добычу;
- площадь ВЭС пригодна для сельхозугодий.

Основные минусы ВЭС в том, что:

- для их создания необходима большая территория, что неизбежно может повлечь вырубку лесов, изменение ландшафта;
- для производства аккумулярующих устройств необходимы редкоземельные металлы, а их добыча трудоёмкая грязная и опасная для окружающей среды;
- утилизация выработавших свои сроки ветряные лопасти. Это одна из наиболее больших проблем ветроэнергетики на сегодняшний день.

По некоторым расчётам, к 2050 году понадобится утилизировать не менее 200 тысяч лопастей для ВЭС которые сегодня в основном зарываются в землю. Но уже имеются разработки, которые предлагают использовать при изготовлении лопастей. Проблему взялась решить компания «Siemens Gamesa» - один из крупнейших в мире создателей ветрогенераторов. В данной компании изобрели перерабатываемые лопасти, которые относительно без труда распадаются на составляющие вещества, в последующем ими, возможно, пользоваться снова. Технология предполагает распад соединяющей смолы в слабокислых растворах. При производстве лопасти смола преобразовывается в стеклоткань и другие полимеры, а также деревянные и металлические элементы конструкции лопасти в единое изделие. Такая лопасть устойчива к солёной воде, что обеспечивает длительную работу ветрогенераторов в прибрежных морских водах. В ходе утилизации лопасть опускается в специальный раствор и делится на первичные материалы, за исключением смолы, она растворяется. Полученные таким образом материалы можно снова производить, что гарантирует постоянное производство. По новой технологии «Siemens Gamesa» сделала 6 первых 81-метровых лопастей «Recyclabel Blade» и заключила три контракта на их использование в проектах ВЭУ. Перерабатываемые лопасти будут установлены на ветрогенераторы электростанции «Kaskasi» в Германии и на прибрежные генераторы проектов французской «EDF Renewables» и немецкой WPD.

## **Солнечная энергетика.**

Преобразование электроэнергии из солнечного света так же можно отнести к наиболее развивающейся отрасли в возобновляемой энергетике, который используют сейчас многие страны. Тем более что ватты полученные таким путём становятся дешевле, чем в традиционной энергетике. Принцип работы солнечной станции заключается в работе фотоэлемента, когда на фотоэлемент падает свет, производится электроэнергия. В остальном при производстве электроэнергии для солнечных станций необходимы такие же комплектующие, как и на ВЭС. Необходима установка дополнительного оборудования для преобразования, аккумулирования энергии. В результате чего КПД солнечных батарей не превышает в среднем 35%. Так же необходима значительная часть территории под возведение станции, плюс ко всему у них существует та же задача с сохранением энергии, что и у ВЭС. После установки станции есть опасность от внешних угроз, град, перегрев полупроводников и так далее. Более всего солнечная энергетика применяется в нескольких целях:

- отопление и горячее водоснабжение, а также кондиционирование воздуха;
- конвертация в электрическую энергию помощью солнечных фотоэлектрических преобразователей;
- массовое создание электроэнергии по принципу теплового цикла.

На сегодняшний день солнечная энергетика используется и в навигационном обеспечении, энергообеспечение передачи связи, систем курортно-оздоровительного и туристического бизнеса, отдельных домов, уличных солнечных фонарей, щитов с рекламой т.д. Так же имеются проекты солнечных станций на луне, так как концентрация солнца там гораздо больше, чем на земле, с последующей передачей энергии на землю при помощи лазерного или сверхвысокочастотного излучения. Основные минусы солнечных станций схожи с ветровыми, самая распространённая для экологической безопасности это утилизация отработанных элементов. Из исследования американских учёных, к 2050 году только в США накопится свыше 10 млн. тонн выработавших свои сроки солнечных панелей, что равносильно весу трёх десятков 102-этажных небоскрёбов. Пока что самый распространённый и дешёвый способ- это закопать отработанные панели в землю.

Следует отметить, что каждый из рассматриваемых в статье видов энергии по-своему влияет на экологическую обстановку и человека. Воздействие на экологическую безопасность различных видов энергии зави-

сит от того, на сколько развит технологический цикл производства, эксплуатации и утилизации отходов производства. Исходя из вышеизложенного, полного перехода на возобновляемые источники энергии в ближайшем будущем не совсем целесообразно, так как это повлечёт за собой другие проблемы. Самой острой из них остаётся утилизация выслуживших свои сроки оборудование. Но и отказываться полностью от ВИЭ тоже нельзя. Необходимо создание новых гибридных энергосетей. Имеется большое количество передовых средств того, как развить процессы передачи, накопления энергии, которые необходимо включать в энергосистемы будущего.

### **Список источников**

1. Ахмедов Х.М., Каримов Х.С. Солнечная электроэнергетика. Душанбе, Дониш, 2007, с. 179.
2. Говорушко С.М. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду. Владивосток: Дальнаука. 1999, с. 172.
3. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. МРСУ, 2004, с. 174.
4. Сравнительная оценка экологического влияния разных систем энергоснабжения, Бабаев Б. Д., Волшаник В.В. Электроэнергетика. 2014, № 4, с. 31.
5. Васильев Ю.С., Хрисанов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. – Л. Изд-во Ленинградского ун-та., 1991, с. 343.
6. <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/181345/1/> Общая характеристика правовой категории обеспечение экологической безопасности при использовании возобновляемых источников энергии (2).pdf.
7. [https://3dnews.ru/tags/возобновляемая\\_энергия](https://3dnews.ru/tags/возобновляемая_энергия).
8. <https://energосmi.ru/archives/48771>.

## Секция 3

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ



## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Магомедова Мадина Селимовна, студент,  
научный руководитель Магомедова Елена Сергеевна, к.ф.-м.н.  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»,  
г.Махачкала**

**Аннотация.** Развитие любой отрасли сегодня невозможно без ее цифровизации, то есть внедрения ИТ –технологий.

В свою очередь, цифровизация невозможна без создания цифровых двойников, для создания которых необходима разработка математической модели с применением соответствующих численных методов

**Ключевые слова:** математическая модель, цифровой двойник, система уравнений, численные методы, эффективность цифровизации.

В настоящее время осуществляется цифровизация всех отраслей, это подразумевает глобальное переосмысление основных принципов ведения бизнеса. Цифровизация в любой отрасли представляет собой процесс максимально возможной автоматизации процессов, основой цифровизации является аналитика данных, то есть обработка первичной информации для разработки стратегии развития отдельных предприятий и отрасли в целом.

Цифровизация невозможна без цифровых двойников, представляющих собой цифровую (виртуальную) модель объекта. Цифровой двойник позволяет осуществить моделирование поведения любого объекта в интересующих нас условиях. Это особенно актуально для высокотехнологичных объектов, по отношению к которым невозможно или крайне затруднительно проводить эксперименты.

В первую очередь, эти проблемы являются насущными для электроэнергетики. Для энергетических объектов невозможно изготовить физическую модель, разработка математической модели также представляет собой сложную задачу в связи с наличием множества случайных факторов, оказывающих существенное влияние на работу энергосистем. Особенно актуальны проблемы цифровизации для такого перспективного направления в электроэнергетике как распределенная энергетика, так как распределенные энергосистемы включают в себя различные типы как источни-

ков, так и потребителей электроэнергии.

Основа цифрового двойника – математическая модель, которая должна отображать физические процессы, которые происходят в объекте, в технологии, в изделии.

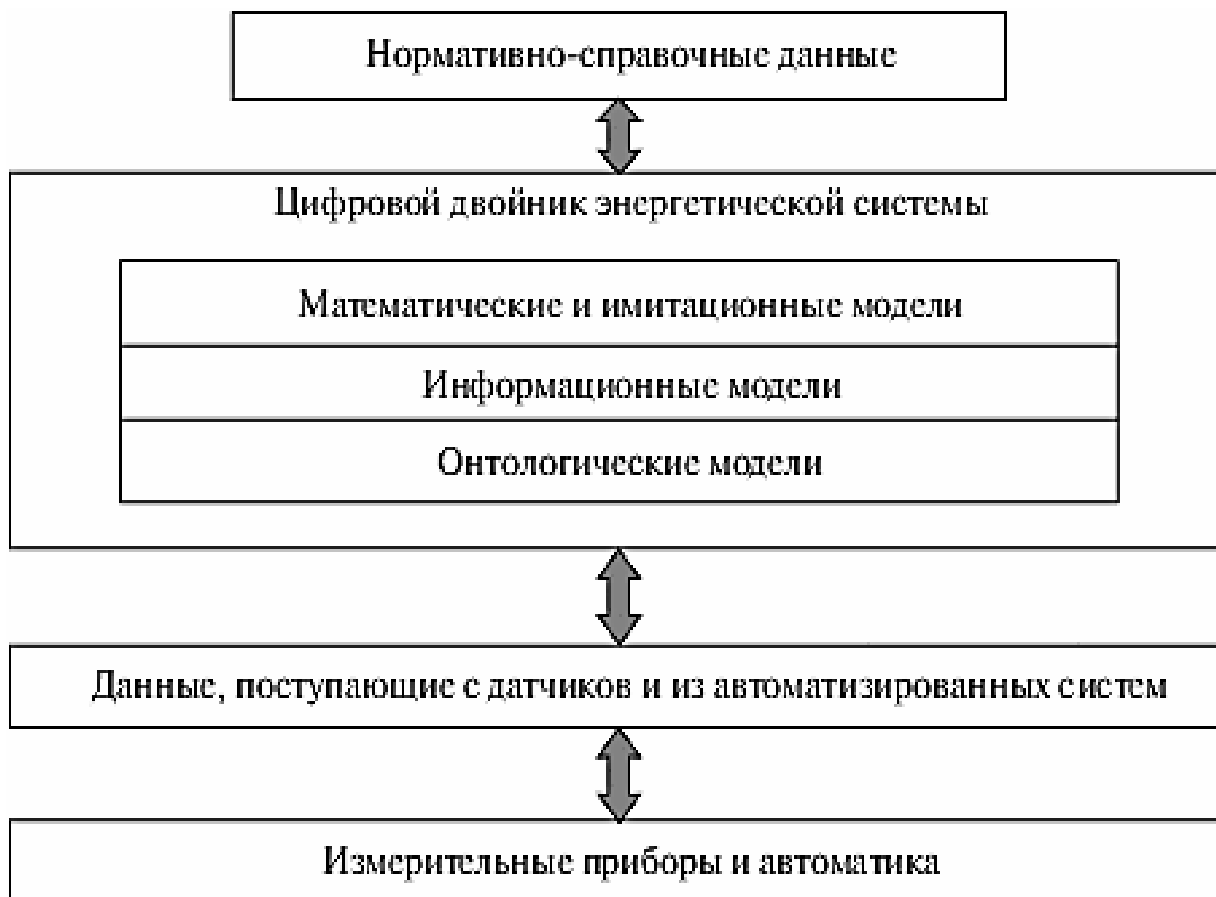


Рис. 1. Архитектура цифрового двойника энергетической системы.

Точная модель может быть построена только на глубоких знаниях объекта, представленного для моделирования. Иногда говорят, что модель можно создать математиком, который не знает объект моделирования, и специалистом по данному объекту, но при этом не разбирающемся в математике. Притом важно помнить, что для достижения успеха в математическом моделировании нужно обладать знанием не только математических моделей, но и объекта моделирования.

Математическое моделирование – это процесс формирования и исследования математических моделей, в которых описание реальных процессов и явлений происходит с помощью программ или пакетов для математического моделирования. Также математическое моделирование является неотъемлемой частью научно-технического прогресса. Современная

математика имеет огромные и внушительные средства исследования. При создании модели, исследуемого объекта или явления вносят те параметры и детали, которые, по мнению одних, содержат более или менее необходимую информацию об объекте, но, по мнению других, предоставляют математическую формализацию.



Рисунок 2. Структура процессов моделирования

Глубокое проникновение численных методов в моделирование энергетических объектов объясняется также и тем, что уравнения, описывающие происходящие здесь явления, представляют собой наиболее сложную систему интегральных или дифференциальных уравнений в частных производных. В общем случае это - нелинейная система смешанного типа с неизвестной формой поверхности перехода (где уравнения изменяют свой тип) и "подвижными границами": граничные условия задачи ставятся на поверхностях или линиях, которые сами определяются в процессе вычислений. Причем область изменения исходных функций настолько широка, что обычные методы аналитического исследования (линеаризация уравнений, разложение в ряды, выделение малого параметра и т.п.) здесь в общем случае "не проходят" для полного решения задачи.



Рисунок 3. Классификация математических методов моделирования

Помимо этого, необходимо производить проверку результатов моделирования путем сравнения данных моделирования и реального функционирования объектов. Сверка моделей с данными из реального мира подразумевает автоматическое снабжение математических и имитационных моделей цифрового двойника структурированными актуальными исходными данными из базовых информационных компонентов, которые описывают энергосистему в различных аспектах и наполняются из смежных программных систем в реальном времени по мере возникновения. Результаты десятков (сотен, тысяч) виртуальных испытаний должны совпасть с ре-

зультатами итоговых натурных, физических испытаний с точностью до  $\pm 5\%$ .

Таким образом, внедрение цифровых двойников в энергетике позволяет избавиться от необходимости проводить продолжительные и дорогостоящие натурные эксперименты. Цифровизация электроэнергетики позволит создавать распределенные энергосистемы в масштабе от нескольких станций до единой сети с тысячами возобновляемых источников энергии. Речь идет не только о цифровых подстанциях и «умных сетях», но и о возможности получать информацию из сетей и управлять процессом в режиме онлайн.

### Литература

1. ИТ-ИНФРАСТРУКТУРА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ И ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВ/ Н. И. Воронай<sup>1</sup>, Л. В. Массель<sup>1</sup>, И. Н. Колосок<sup>1</sup>, А. Г. Массель<sup>1,\*1</sup> ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия. Известия РАН. Энергетика, 2021, № 1, стр. 3-13

2. Никитина Е., гл. инженер подразделения «Интеллектуальные сети» компании Siemens. Попали в сети: как работают цифровые двойники в электроэнергетике. <https://pro.rbc.ru/demo/5db1b59a9a79474bb142a3fe> (свободный доступ). Дата обращения: 10.12.2021

3. Подходы к разработке и применению цифровых двойников энергетических систем. Сайт ЦИФРОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ. <http://digitalsubstation.com/blog/2020/03/06/podhody-k-razrabotke-i-primeneniyu-tsifrovyyh-dvoynikov-energeticheskikh-sistem/> (свободный доступ). Дата обращения 12.10.2021.

4. Цифровизация энергетики: от «интеллектуальных» турбин до «умных» сетей. Газета "Энергетика и промышленность России" № 11-12 (343-344) июнь 2018 года. Сайт <https://www.eprussia.ru/epr/343-344/8819562.htm> (свободный доступ)

5. Пермяков П.С., Репин О.И. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Сетевое издание **Международный студенческий научный вестник.**

<https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19442> (свободный доступ)

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Качаева Гюльханум Ибадулаховна, к.э.н., ст. преподаватель кафедры  
информационной безопасности,  
Вардидзе Ростом Тариелович, студент  
Абдулхаликов Магомедэмин Абдулхаликович, студент  
ФГБОУ ВО «ДГТУ», г. Махачкала**

*Аннотация:* Влияние новых информационных технологий на жизнь человека. Угрозы от их внедрения и рекомендации по защите информации с вышеперечисленными проблемами

*Ключевые слова:* кибербезопасность, цифровые технологии

Актуальность информационной безопасности в мире неоспоримо растёт, так как новые информационные технологии сильно прижились в жизни человека, современным людям крайне тяжело жить без них. Мир всё больше цифровизируется, значительная часть жизни человека уходит в виртуальную реальность, особенно такие области как: общение, развлечение, учёба. Естественно и количество киберпреступлений только растёт с каждым годом.

Сегодня технологии развиваются “семимильными шагами”. Появились автомобили с автопилотом, которые могут быть взломаны, ведь “любую систему можно взломать” © MRX. Появился “интернет вещей”, “умные” дома и, возможно, появятся “умные” города. С развитием технологии Илона Маска Neuralink думаю не мало людей захотят применить новую технологию на себе. Возможно появление квантового компьютера, после которого все сегодняшние алгоритмы шифрования потеряют смысл. Смартфоны потеряют актуальность, на их замену придут умные линзы с дополненной реальностью. Робототехника развиться на столько, что сможет почти полностью заменить ручной труд людей в развитых странах. Полная замена наличных на цифровую валюту и т.д.

Всё это уже несёт очень серьёзные последствия, во-первых, теряется конфиденциальность частной жизни, а во-вторых, при взломе на кону может быть не только утечка конфиденциальной информации (как это обстоит сегодня в 99% случаях), но и жизни людей.

Например:

1. Появление автомобилей с автопилотом, которые с одной стороны значительно уменьшают количество ДТП на дорогах из-за человеческого фактора, но с другой программу автопилота можно будет взломать из-за

чего может быть под угрозой жизни людей и не только людей. Тоже самое можно сказать и про роботов будущего.

2. Виртуальные реальности. Это замечательная технология, которая упрощает жизнь, появляется возможность из дому путешествовать по миру, на других планетах, облегчится обучение различным профессиям, заменит собой социальную сеть, да и можно будет сделать всё, на что только хватит фантазии и вычислительной мощности ЭВМ. И снова есть обратная сторона, чем больше человек будет зависеть от данной виртуальной вселенной, тем больше влияния на него будут оказывать различные корпорации или правительство. Будет то же самое, что и существует на данный момент в развитых городах Китая, цифровая диктатура. У всех негодных власть имущим будут понижать социальный рейтинг, из-за которого человека будут ограничивать в тех или иных правах. Также никто не отменял возможность взлома данной системы злоумышленниками и манипуляции рейтингом в своих корыстных целях. Ведь чем больше у вас информации о человеке, тем больше вы его контролируете.

3. При внедрении нейро-интерфейсов, которые будут способны считывать сигналы поступающие из мозга для получения информации о настроении его пользователя. В таких случаях чтобы получить больше и насыщенной эмоций при просмотре фильма, играя в видеоигры, где будет учитываться характер игрока, для того чтобы знать, что может вывести игрока на эмоции, а что нет.

Если данная технология попадёт в “руки” злоумышленников, то это станет сильным оружием в руках специалистов Социальной Инженерии.

4. В будущем появится возможность замены частей тела искусственными имплантами (Биомеханика), так вот, ибо эти технологии работают за счёт электричества и вероятнее всего будут программироваться для каждого носителя индивидуально как кардиостимуляторы, то нужно будет обеспечивать защиту от удалённого отключения или перепрограммирования этих имплантов злоумышленниками.

5. Также технологии подобные Neuralink, которые будут внедрены в мозг несут не малую опасность. Да, эта технология в теории сможет помочь людям с Альцгеймером, поможет людям ускорить запоминания новой информации и не забыть имеющуюся, но у этой медали есть и обратная сторона. Злоумышленники смогут внедрять ложные воспоминания людям, чтобы обманывать их, стирать имеющиеся в своих корыстных целях.

На рисунке 1. представлена статистика киберпреступлений за последние 7 лет исходя из нее можем построить увидеть перспективу роста зарегистрированных преступлений относительно расследованных.



Рисунок . Рост киберпреступности

### Рекомендации по защите информации с вышеперечисленными проблемами

Для того, чтобы предотвратить хищение информации вышеперечисленными способами, во-первых, нужно быть бдительным и понимать всю сложность сложившейся ситуации поэтому порекомендуем обойтись без пользования имплантами и всевозможными биомеханическими устройствами, для сохранения вашей безопасности, как говорится “самый защищённый компьютер это тот, который помещён в сейф, залит бетоном и спрятан на дне океана”. Следует взять во внимание ситуацию, когда импланты всё же были установлены и требуется предусмотреть вариант отключения центрального процессора от сети в чрезвычайных ситуациях, т.е. нужна своеобразная “Panic Button”, но потребуется дополнительная идентификация личности. Также, как и в настоящее время, стоит придерживаться стандартных правил кибербезопасности, таких как шифрование данных/трафика. Использовать дополнительные способы резервного копирования информации о собственной личности, во избежание замены, утери или удаления необходимых воспоминаний. Чтобы обезопасить жизни людей в случае взлома или сбоя автомобиля с автопилотом, также нужна будет “Panic Button”, которая позволит обездвижить и обесточить автомобиль, чтобы пассажир смог выйти из автомобиля и вызвать службу спасения, эвакуатор. В случае с виртуальной реальностью, то нельзя допускать, чтобы жизнь человека зависела от неё, я не против умеренного контроля государства, я против тотального контроля.

#### Список использованной литературы.

1. <https://www.securitylab.ru/blog/company/CABIS/348156.php> - скачок киберпреступности в 2020 году

## ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**Середа Наталья Владимировна, ст.преподаватель ,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»**

*Аннотация:* Рассмотрена проблема обеспечения информационной безопасности в электроэнергетике. Проведен анализ специфики электроэнергетики с точки зрения структуры и перспектив развития. Построен прогноз в отношении наиболее уязвимых для хакеров объектов электроэнергетики.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, автоматизация управления технологическими процессами, Системный оператор.

В наши дни информационная безопасность (ИБ) затрагивает все сферы деятельности, связанные со сбором, хранением, обработкой и передачей данных. Так же ИБ имеет место быть и в электроэнергетике, так как в ней присутствуют вышеперечисленные аспекты. Информационная безопасность энергетических объектов в России в настоящее время стала очень серьезной проблемой по разным причинам. Энергетические предприятия являются стратегически важными объектами, стабильная работа которых обеспечивает нормальную работу предприятий во всех отраслях.

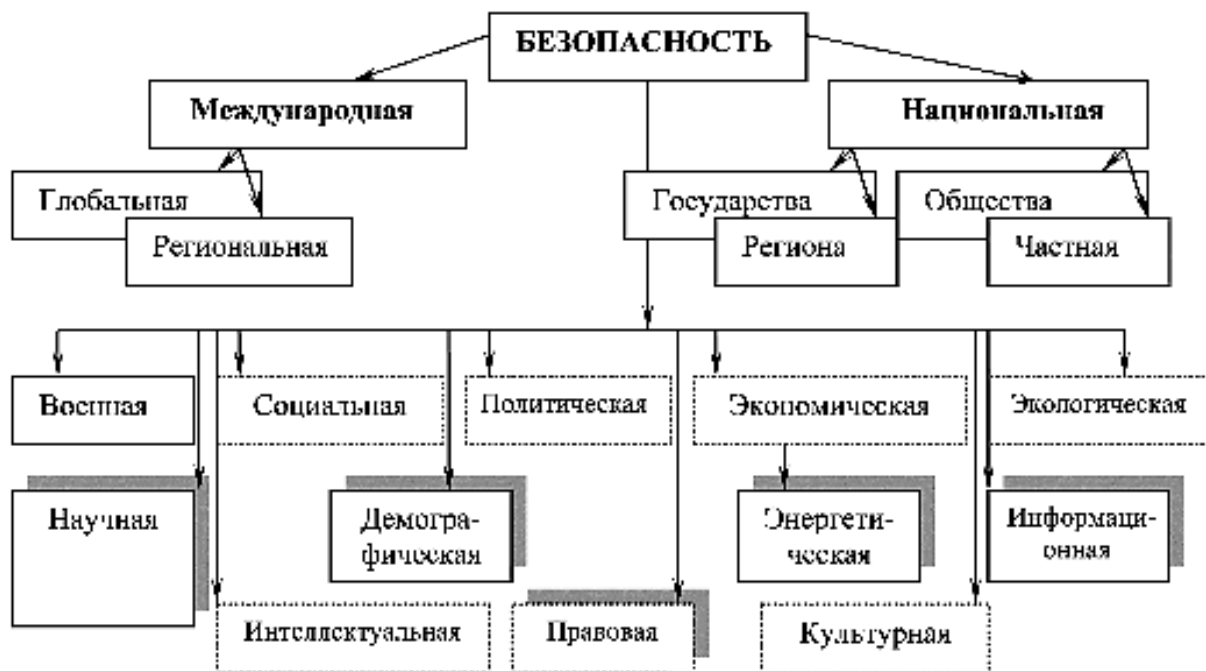


Рисунок Схема понятия «безопасность»

В свою очередь, для стабильной работы самих энергетических предприятий необходимо обеспечить максимальную автоматизацию управления технологическими процессами в режиме реального времени. Поскольку АСУ ТП различных предприятий энергетической отрасли связаны в единую сеть, и, кроме этого, связаны с интернетом, необходимо обеспечить максимальную защиту от несанкционированного доступа и отправки некорректных команд

Решение практически любой задачи начинается со сбора информации. Особая ценность собранной информации состоит в том, что она может служить источником новых знаний. За ней следует обратка информации. Информацию собранную с помощью измерительных приборов и не только человек должен своевременно обрабатывать. Огромные потоки данных приходится обрабатывать работнику электростанции. Обработка информации - это целенаправленный процесс изменения содержания или формы представления информации. Обработанную информацию нужно где-то хранить. Хранение информации - зафиксировать ее на некотором носителе. Передача информации, рассмотрим этот процесс более детально:

1. информация от источника поступает в кодирующее устройство;
2. в кодирующем устройстве информация преобразуется в форму, удобную для передачи;
3. закодированная информация поступает от источника к приемнику по соответствующему каналу передачи информации - каналу связи;
4. приемник содержит декодирующее устройство, где происходит преобразование в исходную форму.

Всю эту информацию необходимо защищать, так как есть разного рода злоумышленники, которые стараются заполучить информацию и использовать ее в своих целях.

Состояние информационной безопасности современных АСУ. Более 150 000 АСУ доступны через интернет. Более 10% из них содержат критически опасные уязвимости. Число кибератак на промышленные системы за два года увеличилось на 636%. Внешние злоумышленники получают доступ к управлению технологическим процессом (ТП) с помощью вредоносного ПО.

Пример: отключение электроснабжения части украинских электросетей в декабре 2015

Таким образом, энергетика представляет собой целину для хакеров: огромное количество самых разнообразных целей для хакерских атак.

Так в чем же все-таки проблема с информационной безопасностью АСУ ТП? Кроме того, что ИБ является проблемой сама по себе, в области АСУ ТП ситуация имеет свою специфику. Часто все обеспечение ИБ сво-

дится к рассмотрению системы менеджмента ИБ (СМИБ), хотя СМИБ является необходимым, но недостаточным условием обеспечения ИБ для АСУ ТП. К тому же, в управлении ИБ АСУ ТП необходимо рассматривать три уровня: 1) предприятие, 2) программа по разработке и эксплуатации серии АСУ ТП, 3) единичная АСУ ТП. Об этом помнят не всегда, и происходит подмена понятий, когда для АСУ ТП, как технического объекта, пытаются выполнить все требования к СМИБ и упускают функциональные и технические характеристики.

### **Проблемы ИБ в промышленных сетях**

К огромному сожалению, на сегодняшний день информационная безопасность многих энергетических объектов настолько недостаточно проработана, технологии средств защиты недостаточно совершенны для организации активной защиты, что вызывает серьезные опасения. Много проблем для обеспечения информационной безопасности в электроэнергетике создает специфика самой отрасли - управление ведется в режиме реального времени, а применение любых дополнительных средств защиты может существенно замедлить процесс управления. Кроме того, в связи с переходом на децентрализацию генерации электрической энергии возникают энергонезависимые поселения, у которых управление ведется по открытым протоколам, что так же представляет собой потенциальную угрозу свободного доступа 100% функциональная безопасность, информационная безопасность не должна нарушать технологический процесс. Учет специфики, каждый технологический процесс уникален. Сложность проверки гипотез об уязвимостях, нужна дублирующая площадка для проверки наличия уязвимости. Пользователь ИБ-решений? Результаты работы ИБ-решений должны быть полезны и для технологов, и для безопасников.

Особенности обеспечения информационной безопасности АСУ ТП заключаются в том, что такие системы взаимодействуют с процессами физического мира и первичным их свойством является защита людей и окружающей среды от техногенных рисков. Информационная безопасность АСУ ТП важна, поскольку уязвимости могут быть использованы как раз для физической атаки людей, окружающей среды и материальных активов.

### **Список литературы**

1. ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ. <https://www.dialognauka.ru/press-center/article/14322/> (свободный доступ)
2. Кибербезопасность в энергетике – задача государственного уровня. Электронный журнал "Информационная безопасность". <https://lib.itsec.ru/articles2/focus/kiberbezopasnost-v-energetike-zadacha-gosudarstvennogo-urovnya> (свободный доступ)

## ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭНЕРГОСБЫТА

**Середа Наталья Владимировна, ст.преподаватель ,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»**

Рассмотрены проблемы внедрения цифровых технологий в области энергосбыта. Проанализированы перспективы роста объемов передаваемой информации и защиты этой информации от несанкционированного доступа.

*Ключевые слова:* энергосбыт, финансовая устойчивость, интеллектуальные устройства учета, защита информации

Одним из ключевых секторов в экономике любого государства является энергетический сектор. В топливно-энергетическом комплексе Российской Федерации создается около 27% ВВП и генерируется более 43% федерального бюджета. При этом на сегодняшний день ключевую роль в электроэнергетике играют энергосбытовые компании, являющиеся гарантом стабильной работы электроэнергетической отрасли в целом и надежного и качественного снабжения электроэнергией всех категорий потребителей.

Фактически энергосбытовые компании являются основным связующим звеном между различными субъектами электроэнергетической отрасли, поэтому правильная организация своевременной оплаты за потребленную электроэнергию оказывает непосредственное влияние на финансовое состояние не только генерирующих компаний, но и сетевых.

В настоящее время существуют большие проблемы при управлении финансовыми потоками, связанные с кассовыми разрывами при оплате электроэнергии, что весьма негативно влияет на финансовую устойчивость. В свою очередь, финансовая устойчивость энергосбытовой компании гарантирует способность обеспечить надежное энергоснабжение потребителей и покрыть обязательства перед производителями.

Традиционно в России существовало небольшое количество крупных энергосбытовых компаний, между которыми практически не было конкуренции, но развитие альтернативной энергетики привело к тому, что многие потребители электроэнергии превратились в производителей, поэтому количество небольших энергосбытовых компаний резко возросло, обострилась конкуренция, что не могло не повлиять на рентабельность их рабо-

ты.

Единственным выходом является максимально полная цифровизация в данной области, которая позволит для начала отказаться от избыточных офисов и сократить расходы на их содержание. Помимо этого, можно предложить клиентам разнообразные дополнительные услуги, что позволит получать дополнительную прибыль в размере до 20% от общего объема продаж. Но внедрение цифровых технологий влечет за собой не только явные преимущества, но и большие проблемы в виде резкого увеличения объемов информации и защиты этих огромных объемов информации, которые нужно передавать по телекоммуникационным сетям. Столь гигантский скачок объема информации обусловлен многими факторами.



Рисунок 1 - Прогноз роста объема данных энергосбытовых компаний (сделан EPRI (Electric Power Research Institute) [3].

На данном этапе развития рынка энергосбыта автоматизация процес-

сов учета электроэнергии только начата, ведется большая повсеместная работа по установке модернизированных устройств сбора и передачи данных (счетчиков), внедрению интеллектуальных систем учета потребляемой мощности от крупных промышленных предприятий до отдельных бытовых приборов. Все эти новые устройства позволят передавать данные о расходе электроэнергии, а также реализовать удаленное управление энергопотреблением и прогнозировать его.

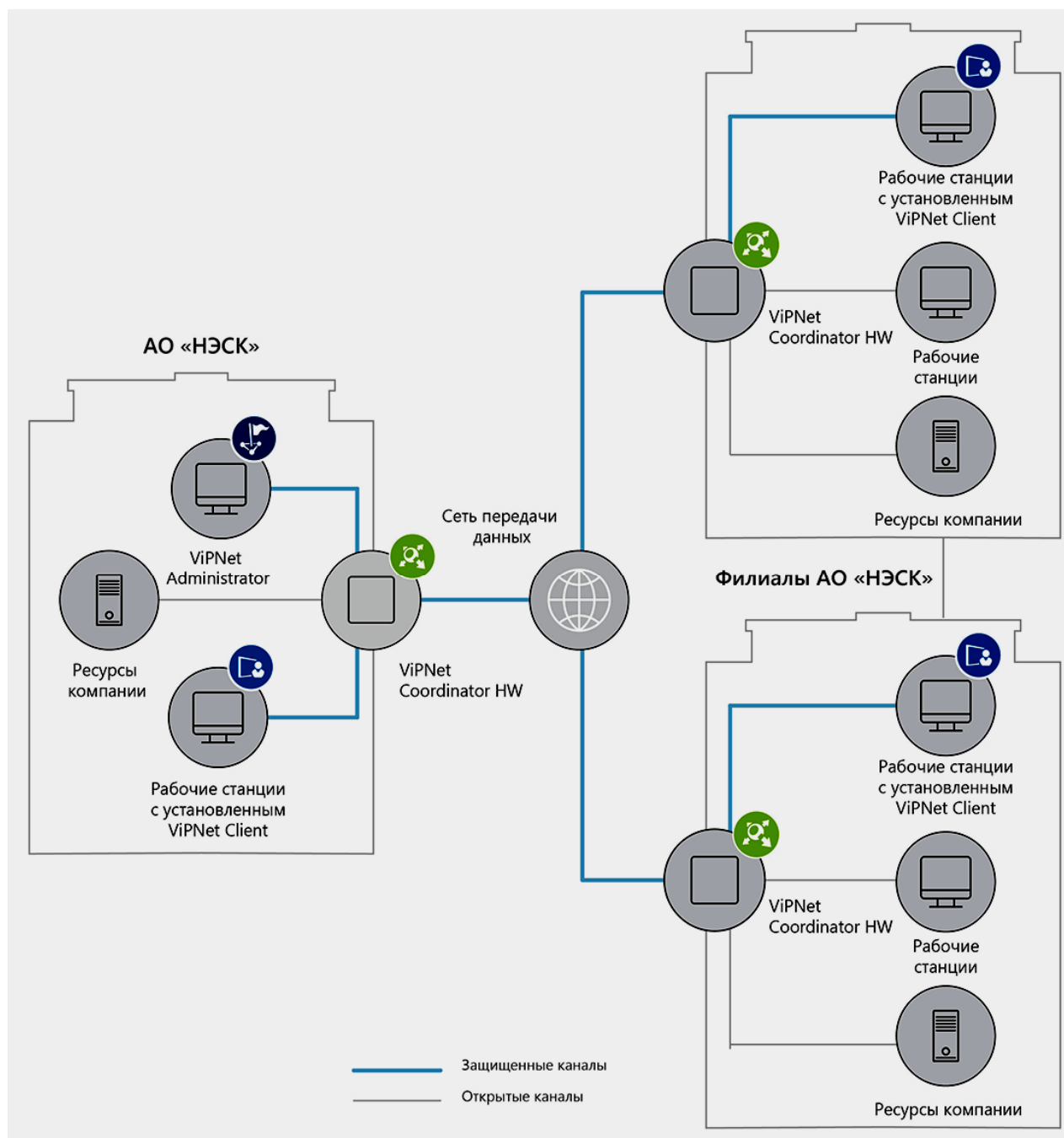


Рисунок 2 - Структура подсистемы криптографической защиты для АО «НЭСК»

Максимально эффективная работа энергосбытовых организаций возможна только при условии создания единой интеллектуальной системы сбора и обработки информации с помощью облачных технологий. Поскольку объемы передаваемой информации не просто велики, а огромны, необходимо внедрять технологии Big Data.

Но тут возникает новая проблема - обеспечение безопасности передаваемой по сетям информации, причем не только результатов измерений и учета, но и коммерческой. Соответственно необходимо разрабатывать и внедрять системы защиты информации (рис.2) [2].

### **Список литературы**

1. Энергосбытовые компании на пути к e-commerce (Электронный ресурс)/Сайт World Smart Energy Summit Russia/ Режим доступа:<http://smartenergysummit.ru/novosti/energobyitovyie-kompanii-na-puti-k-e-commerce> (дата обращения 04.04.2021)
2. Криптографическая защита информации для Независимой энергосбытовой компании Краснодарского края (Электронный ресурс)/ Сайт ОАО «ИнфоТеКС» / Режим доступа: <https://infotecs.ru/about/success-story/nesk.html> (дата обращения 04.04.2021)
3. Энергосбыт на пути в мир больших данных (Электронный ресурс)/ Издание itWeek/ Режим доступа:<https://www.itweek.ru/industrial/blog/industrial/6721.php> (дата обращения 04.04.2021)

## Секция 4

# Энергосбережение, энергоаудит и экономические проблемы электроэнергетики



## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ БУДУЩЕГО

**Агеева Виктория Алексеевна, магистрант  
Донской государственный технический университет**

*Аннотация:* в настоящее время энергетика является основным направлением развития страны. Существующий дефицит источников энергии формирует особое отношение к энергопотреблению в обществе. Разумное потребление энергии позволит решить ряд проблем как экологического, так и экономического характера. Именно поэтому, необходимо уделять особое внимание вопросу энергосбережения, от которого зависит социально-экономическое благополучие всех жителей.

*Ключевые слова:* энергосбережение, энергоаудит, энергосберегающие технологии, аэрогель, нано-фотогальванические элементы

Энергосбережение – это меры исполнения правовых, технологических, экономических, производственных и научных норм, которые направлены на результативное применение энергоносителей с внедрением возобновляемых источников энергии. По многочисленным оценкам энергетики потенциал энергосбережения Российской Федерации составляет 340-470 млн т. Одним из главных направлений осуществления энергосбережения является энергоаудит. Энергоаудит – это энергетическое обследование предприятий, учреждение, проводимых независимой организацией. Данная деятельность осуществляется на основании закона 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» [1].

Согласно оценкам проведённых исследований, такие процессы как: отопление, вентиляция, освещение и др., приводят к выбросу около 100 млн т. парникового газа ежегодно, который приводит к загрязнению атмосферы и усугублению проблемы глобального потребления. Именно поэтому, необходимо разработать современные энергосберегающие материалы, которые будут достаточно просты в использовании и помогут избежать техногенную катастрофу [2].

Одним из таких материалов является аэрогель, который представляет твёрдое вещество, с самой высокой плотностью, равной  $1,9 \text{ кг/м}^3$ . Данное вещество практически полностью состоит из воздуха, и способно пропускать свет, а не тепло, что является очень важной характеристикой при вы-

боре теплоизоляционного материала. Основным сырьём получения аэрогеля служит вещество, состоящее из цепочки соединений диоксида кремния, окруженное спиртом.

Аэрогель способен выдерживать температуры до  $-70^{\circ}\text{C}$ , благодаря чему возникает уникальная возможность использовать это вещество в космосе. В повседневной жизни применение данного компонента затруднено рядом причин: высокая стоимость и хрупкость. Благодаря покрытию влажного геля полиэфирным волокном, удалось повысить его прочность и снизить стоимость, что позволяет надеяться на его дальнейшее распространение в различных областях промышленности. На рисунке 1 представлен технически твёрдый аэрогель, которым планируют заменить полимерные материалы, что позволит смягчить проблему энергосбережения [3].

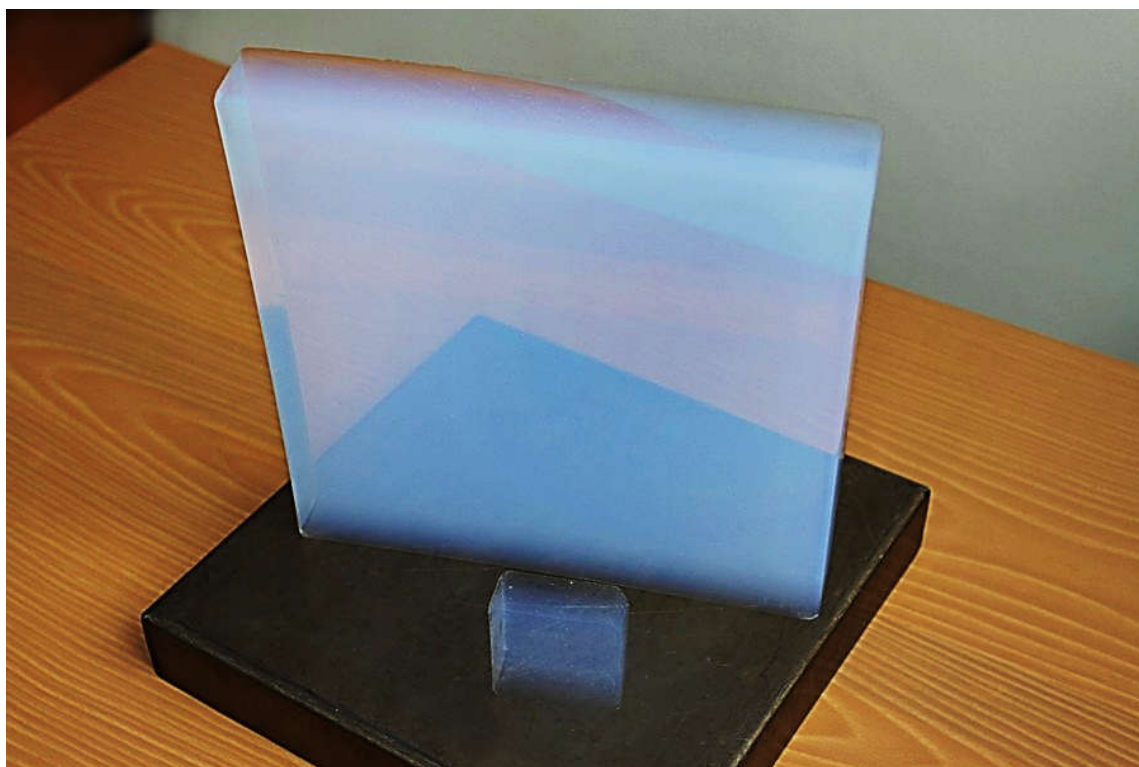


Рисунок 1 – аэрогель

Практически все современные сооружения города состоят из бетона и асфальтовых дорог, которые способны поглощать и высвобождать тепло в окружающую среду, тем самым способствуя повышению температуры на планете. Проблема эффекта теплового купола над городом представляет значительную опасность, так, согласно оценкам экспертов, к 2050 году, температура воздуха в городах повысится на  $4^{\circ}\text{C}$ . Решение проблемы со-

стоит в создании зелёной крыши над постройками, поскольку растения испаряют влагу, за счёт чего происходит охлаждение воздуха. В Сан-Франциско была осуществлена данная идея, но для её реализации потребовалось решить ряд технологических проблем: сооружение специальных устройств для выдержки почвы, защита здания от обрушения, орошение насаждений. Преодолев все затруднения, ученые посчитали, что температура на зелёной крыше почти в два раза меньше, чем на обычной, за счёт испарений от зелёных насаждений. Применяв данную технологию для половины города, удалось бы снизить температуру на 7°C.

Ещё одним теплоизоляционным материалом будущего являются – нано-фотогальванические элементы, которые состоят из особого типа углеродов – фуллерена (замкнутые молекулы углерода  $C_{60}$ ,  $C_{70}$ ,  $C_{76}$ ). Данный материал, в отличие от силиконовых аналогов: эластичный, лёгкий и гибкий. Уникальным свойством фотогальванических элементов является изменение его цвета, при изменении размера частиц, от цвета материала зависит эффективность поглощения света, который в дальнейшем преобразуется в электричество. Однако, на существующем этапе развития этой технологии, главным недостатком являются высокая стоимость, наноразмеры и незначительный КПД.

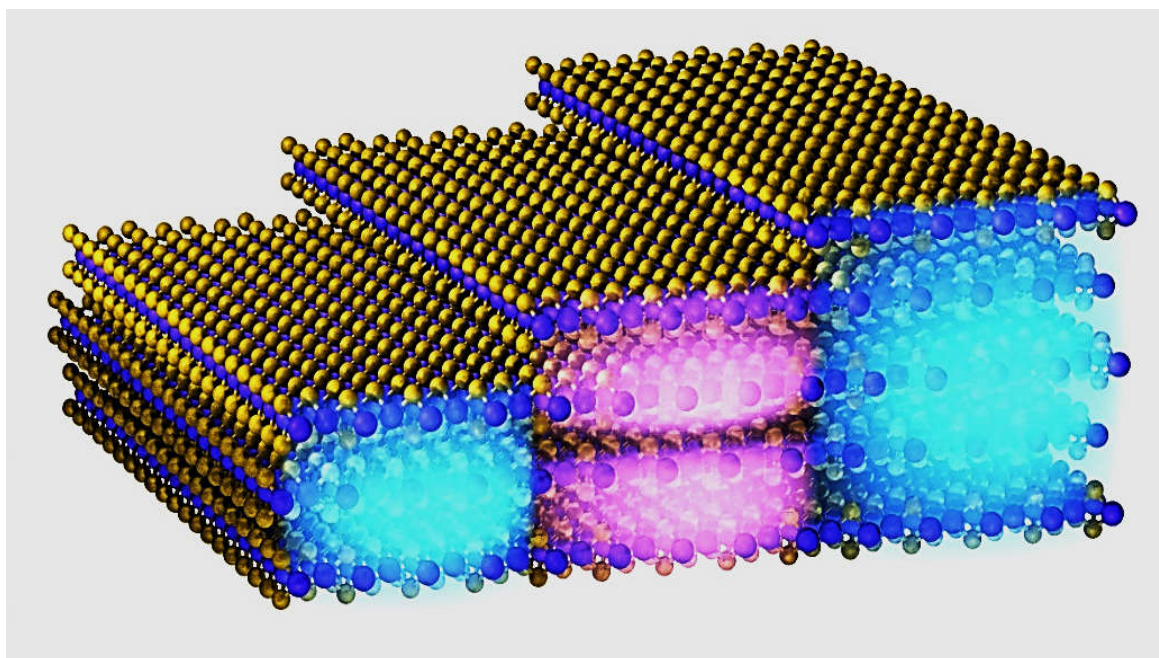


Рисунок 2 – Структура нано-фотогальванического элемента

В дальнейшем, учёные планируют повысить эффективность фотогальванических элементов, которые могут быть использованы в машино-

строении, одежде и лакокрасочной промышленности. Главным показателем эксплуатации этой технологии является снижение выбросов углекислого газа на 50%. На рисунке 2 представлена гетероструктура будущей нанотехнологии.

Инновационное решение проблемы энергосбережения позволит не только улучшить качество жизни, но и позволит решить проблему иррационального применения источников энергии. Качественная разработка материалов будущего способна увеличить конкурентоспособность отечественных предприятий. Именно поэтому, необходимо в настоящее время проводить исследования в области новых технологий энергосбережения.

### **Список литературы**

1. Логачёва Е.А. Опыт создания лаборатории энергоаудита на электроэнергетическом факультете ставропольского государственного аграрного университета / Е.А. Логачёва, В.Г. Жданов // Вестник АПК Ставрополя. - 2012. № 4(8). – С. 61-64.
2. Сергеев Н.Н. Методологические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий : монография / Н.Н. Сергеев ; Удмуртский государственный университет. - Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 2013. – 116 с
3. Толстой М.Ю. Энергоаудит – оценка потенциала энергосбережения зданий и сооружений / М.Ю. Толстой, И.В. Александрова // Вестник ИрГТУ. -2010. № 3(43). – С. 62-66.

## **О СОКРАЩЕНИИ ЗАТРАТ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**Мартыненко Анастасия-Анна Михайловна, старший преподаватель  
кафедры компьютерных технологий**

**Винник Алексей Олегович, магистрант, Государственное общеобразо-  
вательное учреждение Высшего профессионального образования «Донец-  
кий национальный университет», физико-технический факультет, До-  
нецк, Донецкая Народная Республика**

В настоящей статье приведен метод автоматизации монито-  
ринга энергопотребления на предприятиях тяжелой промыш-  
ленности.

*Ключевые слова:* энергосбережение, энергопотребление, метод  
автоматизации, программное обеспечение, система мониторинга,  
датчик, C#, ASP.NET, Rest-API, TCP.

Энергосбережение предприятий является одной из самых актуальных задач в тяжелой промышленности. Тяжелая промышленность приносит много материальных и экономических средств, но и требует затрат огромного количества ресурсов, например: электроэнергии. Зачастую энергопотребление является избыточным и неконтролируемым. Одним из способов сокращения затрат на энергопотребление является создание специального программного обеспечения для мониторинга [1].

Тяжелая промышленность - это не только стержень экономического обеспечения, но и причина становления Донбасса. Донбасский угольный бассейн занимает десятое место в мире по залежам угля (141 миллиард тонн) [1], что обуславливает развитую добывающую отрасль. Решением проблем связанных с уменьшением объема энергопотребления в данном регионе может послужить собственное программное обеспечение, с небольшой себестоимостью, дающее возможность проанализировать узкие места каждого предприятия и позволяющее на основе полученных данных предпринять меры по уменьшению энергопотребления.

Современные информационные технологии позволяют разработать программное обеспечение для мониторинга энергопотребления предприятий тяжелой промышленности и ведения системного анализа в режиме реального времени. Авторами предлагается ряд программных решений

данной задачи.

Для подобного рода систем важна скорость выполнения различных функций. Например, доставка данных с датчиков на компьютеры должна осуществляться в максимально короткие сроки, то есть время выполнения функции минимально. Так как язык C# является компилируемым объектно-ориентированным языком, а также прямым наследником C++, скорость является его основным достоинством. Так же используется возможность увеличения скорости передачи и обработки данных с помощью мультипрограммирования – разделения процесса на потоки. Асинхронный механизм сам решает, когда необходимо выполнить процесс синхронно, а когда асинхронно. Исходя из выше сказанного, для разработки программного продукта был выбран язык C#.

Для получения данных к любому устройству потребляющему электроэнергию, например, к насосу, подключается датчик мощности и счетчик электроэнергии [2]. С них они поступают на мини-компьютер, который является неотъемлемой частью датчика. После чего посредством ТСР-протокола данные отправляются на сервер. На сервере данные разделяются на три потока: запись в базу данных; отправка данных на клиентские приложения и первичный анализ.

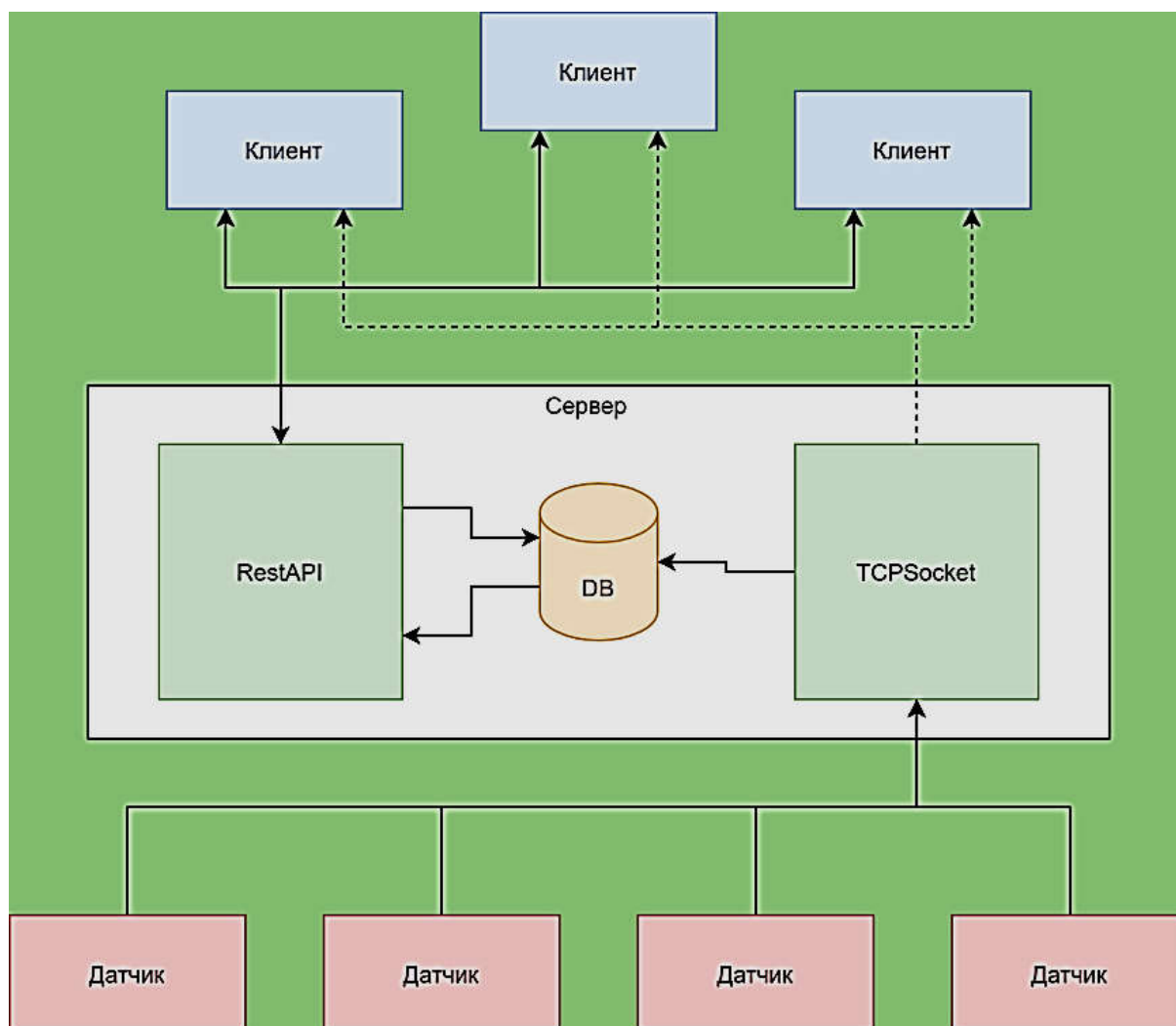
На любом из пользовательских клиентов (компьютерах, телефонах), данные отображаются в удобном для пользователя виде в реальный момент времени. Клиентское приложение дает возможность различного анализа данных и формирования отчетов. Разработанное программное обеспечение является набором программных средств, которые связаны друг с другом различными протоколами и обмениваются данными. При этом непредвиденное завершение работы одного из компонентов системы не должно вызывать аварийное завершение работы всей системы. Каждый модуль постоянно проверяет работоспособность других частей комплекса, и, например, если ТСР-сервер выключится по непредвиденным обстоятельствам: датчики перестанут на него писать, а клиенты не будут получать информацию в реальном времени, однако, всё ещё смогут получать историю отчётов с API-сервера [3].

Программный комплекс состоит из программных средств «рисунк 1»:

- контроллер устройств;
- tcp-сервер;
- rest-api сервер;
- библиотека классов системы мониторинга и учета;

- клиентское приложение.

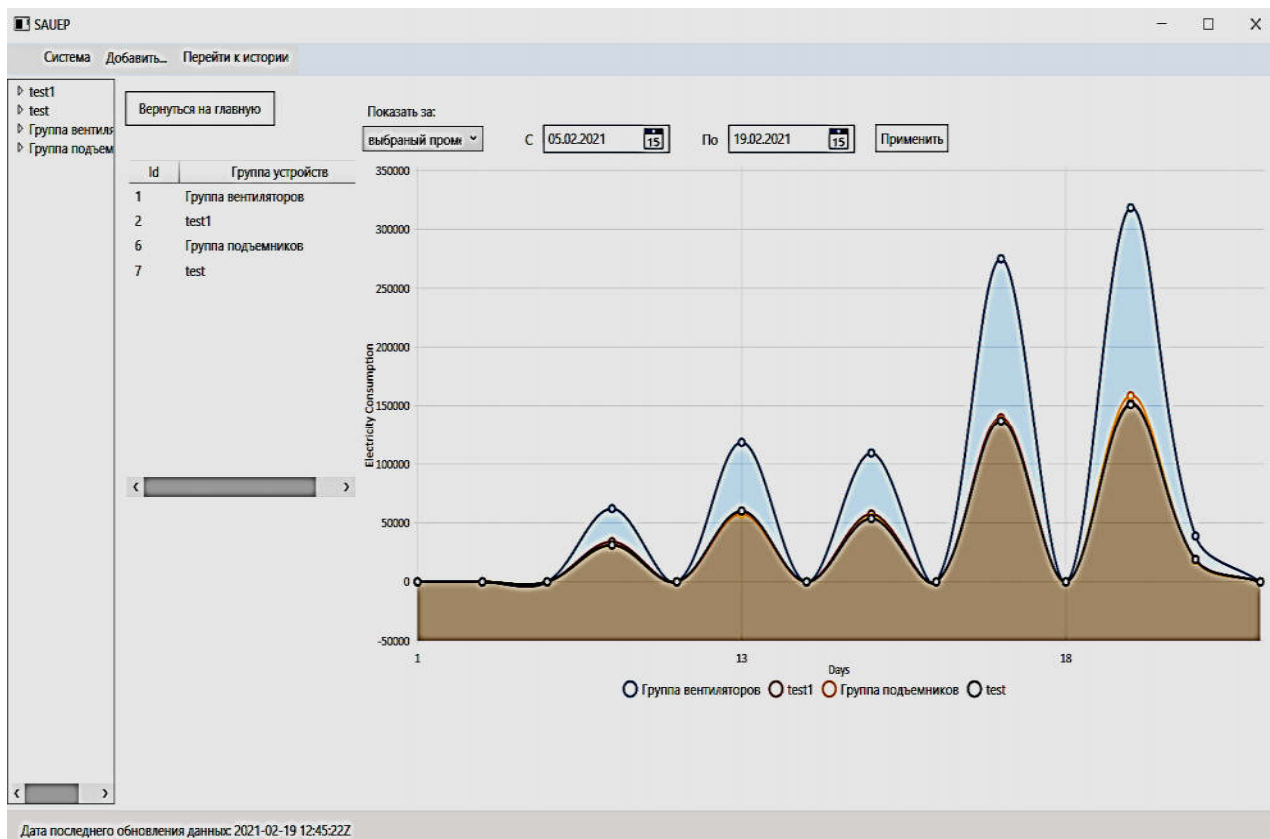
Рассмотрим подробно программные средства данного комплекса. Контроллер устройств это программное обеспечение для преобразования данных полученных с устройства в json-формат и отправки их по протоколу TCP на сервер.



<Рисунок 1 - Схема программного комплекса мониторинга энергопотребления >

Серверный модуль получает данные, записывает в базу данных, проводит первичный анализ и отправляет данные на пользовательские клиенты. Для реализации серверного модуля – Rest API Server была выбрана технология ASP.NET. Данная система предоставляет удобный и гибкий механизм авторизации пользователей, а так же позволяет создавать быстрые веб-приложения. Серверный модуль rest-api получает сохраненные данные из базы данных, а также является прослойкой безо-

пасности между базой данных сервера и клиентскими приложениями.



<Рисунок 2 - Пример графика энергопотребления на тестовых данных за последние две недели >

Серверный модуль получает данные, записывает в базу данных, проводит первичный анализ и отправляет данные на пользовательские клиенты. Для реализации серверного модуля – Rest API Server была выбрана технология ASP.NET. Данная система предоставляет удобный и гибкий механизм авторизации пользователей, а так же позволяет создавать быстрые веб-приложения. Серверный модуль rest-api получает сохраненные данные из базы данных, а также является прослойкой безопасности между базой данных сервера и клиентскими приложениями. Главным модулем является desktop-клиент. Для его разработки использовалась система построения клиентских приложений WPF. Данная система позволяет создавать адаптивные desktop-приложения при помощи паттерна Model-View-ViewModel. Обеспечение гибкости приложения выполняет библиотека классов. Она обеспечивает переносимость системы для конкретного пред-

приятия и дает возможность создавать различные клиентские приложения. Которые в свою очередь, становятся средой для анализа данных и предоставления отчетов пользователю [4].

Ниже «рисунок 2» приведен график энергопотребления за период в 14 дней, построенный на тестовых данных. Графики могут строиться в реальном времени и для представления исторических данных.

**Выводы.** Разработанный программный комплекс опробован на шахте им. Скочинского г. Донецка. Исходя из полученных данных, достигается экономия потребления электроэнергии от 2% до 5%, что составляет экономию средств до 9651109 рублей в год. Данные приведены на основании расчета по отчету по электропотреблению шахты им. Скочинского за 2019г.

### Список литературы

1. Грядущий Б.А. Повышение энергетической эффективности угольных шахт Украины / Грядущий Б.А., Лисовой Г.Н., Корсун В.А. // Неделя горняка-2007. Семинар 22. (Донецк 2007 г.) – Донецк: НИИГМ, 2007. – С. 244-251.
2. Копылов К.Н. Повышение уровня учёта и контроля потребления электроэнергии подземными потребителями шахт и рудников / Копылов К.Н., Кубрин С.С., Решетняк С.Н. // Горный информационно-аналитический бюллетень. (2017 г.) – Москва: 2017. - №3. С. 97-105.
3. Винник А.О. Программный комплекс мониторинга электроэнергии на предприятиях угольной промышленности / Винник А.О., Мартыненко А-А.М., Бондаренко В.И. // Вестник Донецкого национального университета. Серия Г: Технические науки. – 2021. №2. Донецк – 2021. С. 33-38.
4. Винник А.О. Исследование энергопотребления на предприятиях тяжёлой промышленности на примере шахты им. А.А. Скочинского. Способы сокращения энергопотребления по средствам внедрения программного обеспечения для мониторинга и учёта / Винник А.О. Мартыненко А-А.М. // Донецкие чтения 2020: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности. Том 1 – Физ-мат и технические науки, Часть 2. Донецк – 2020. С. 190-194.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОВОГО ПРОМЫСЛА №1  
ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ЯМБУРГ»**

**Масков Линар Рамильевич, аспирант  
Корнилов Владимир Юрьевич, д.т.н., профессор  
Казанский государственный энергетический университет**

В статье предлагается способ модернизации системы автономного электроснабжения газового промысла (ГП) №1 ООО «Газпром добыча Ямбург», который заключается в объединении дизельных электростанций (ДЭС) в единый центр генерации с каскадной (кольцевой) схемой включения. В данной работе определены граничные значения потребляемой мощности, при достижении которых подключается либо отключается ДЭС, рассчитаны месячные и годовые средневзвешенные коэффициенты загрузки, проведено сравнение годового расхода топлива ДЭС по месячным коэффициентам загрузки до и после модернизации автономной системы электроснабжения.

*Ключевые слова:* каскадная схема включения дизельных электростанций, граничные условия подключения (отключения) дизельных электростанций, зависимость удельного расхода топлива от нагрузки, оптимальная мощность, месячный и средневзвешенный коэффициент загрузки.

Снижение в автономных системах электроснабжения удельных затрат топлива на единицу добываемой продукции является важной научно-технической задачей. Актуальность темы и ее практическая значимость связана с тем, что от эффективности функционирования автономной системы электроснабжения ГП зависит удельная стоимость единицы добываемого газа и газового конденсата. Анализ литературных источников показывает, что методы снижения удельных затрат топлива на единицу добываемой продукции в автономных системах электроснабжения ГП проработаны недостаточно. Одним из предлагаемых авторами решением проблемы повышенного расхода топлива ДЭС является увеличение коэффициента загрузки.

Автономная система электроснабжения ГП №1 состоит из ДЭС блочного типа исполнения с различными друг от друга эксплуатационными и техническими характеристиками. Данный электротехнический комплекс (ЭТК) можно представить в виде структурной схемы (рисунок 1). По аналогии с [1] обозначим ЭТК, где основное электрооборудование получает питание от одного ДЭС, как ЭТК-1. ДЭС, как правило, ограничены по

мощности и перегрузочной способности, их функционирование имеет особенности, влияющие на работу ЭТК [2-5]. В соответствии с этим были рассчитаны месячные коэффициенты загрузки (рисунок 2) ДЭС по показаниям ежемесячного потребления электроэнергии комплектно-трансформаторными подстанциями (КТП) (таблица 1) в период с января по декабрь 2019 года.

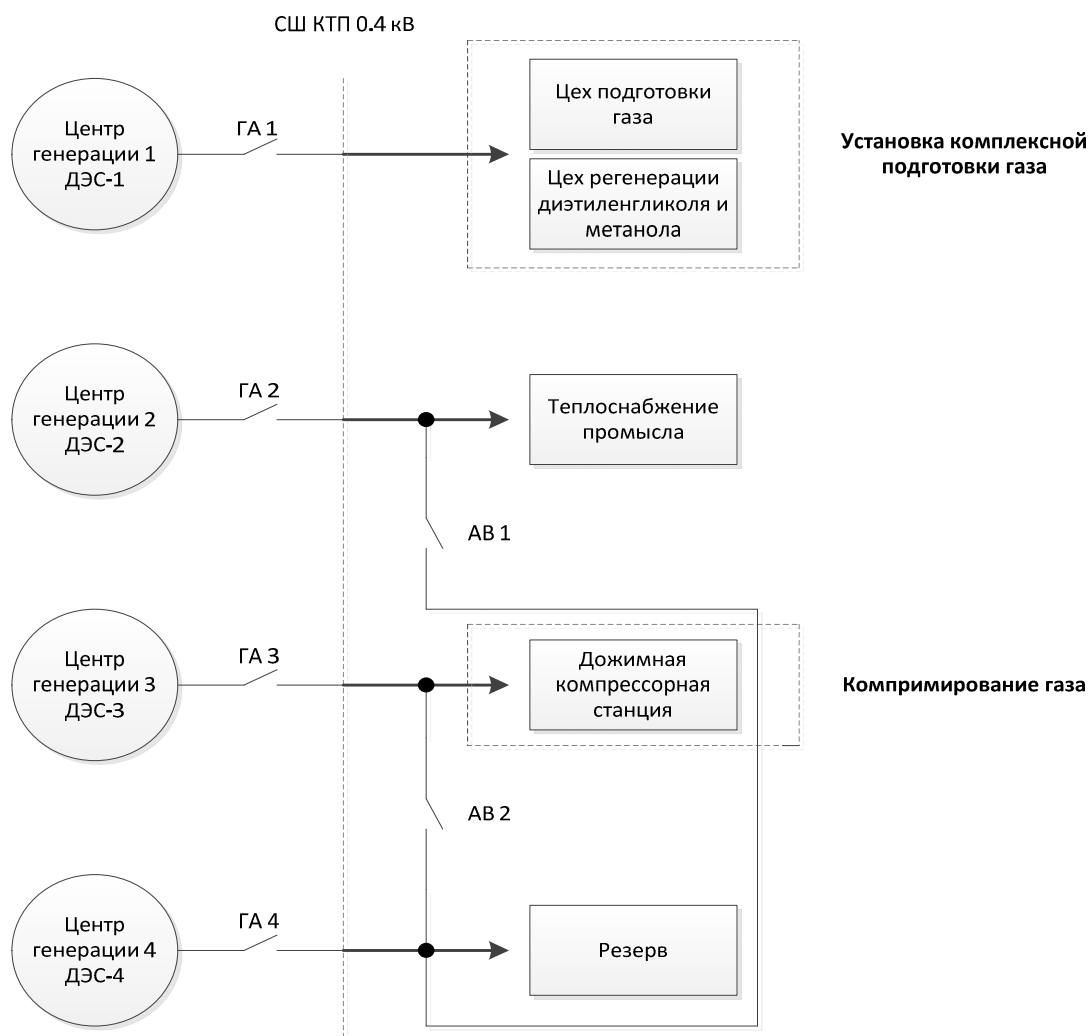


Рисунок 1 - Структурная схема автономного электроснабжения ГП:  
ГА – генераторный автомат; АВ – автоматический выключатель

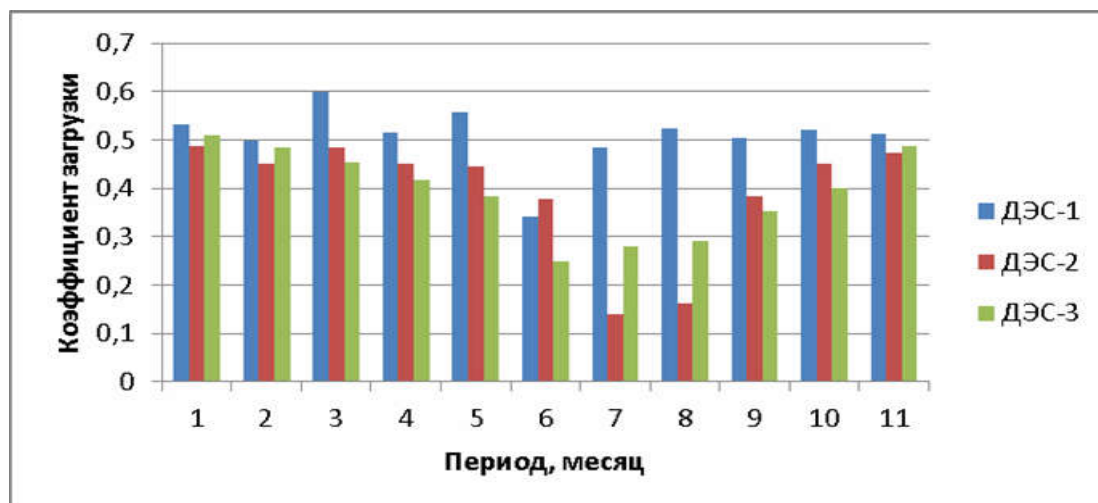


Рисунок 2 - Гистограмма месячных коэффициентов загрузки ДЭС за 2019 год

Таблица 1 - Показания ежемесячного потребления электроэнергии КТП за 2019 год, кВт·ч

| № КТП | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
|-------|--------|---------|------|--------|-----|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|
| 1     | 348    | 328     | 393  | 339    | 366 | 226  | 318  | 343    | 331      | 343     | 337    | 359     |
| 3     | 292    | 270     | 291  | 271    | 269 | 227  | 85   | 98     | 231      | 269     | 285    | 314     |
| 4     | 307    | 290     | 278  | 249    | 230 | 150  | 169  | 174    | 212      | 242     | 293    | 335     |

Анализ литературы [6] показывает, что если коэффициент загрузки для ДЭС лежит ниже 0,4, то наблюдается работа с повышенным удельным расходом топлива и проявляется эффект карбонизации (коксования), вызванной скоплением в цилиндрах продуктов неполного сгорания топлива, что ведет к снижению ресурса двигателя. Коэффициент загрузки для ДЭС, обеспечивающий оптимальное потребление дизельного топлива, должен стремиться к 0,75. Загрузка ДЭС более чем на 0,75 ведет к снижению коэффициента полезного действия и перерасходу топлива.

Месячные коэффициенты загрузки ДЭС ГП №1 находятся в пределах от 0,13 до 0,6, а годовые средневзвешенные коэффициенты загрузки лежат ниже 0,6 (ДЭС-1 – 0,51; ДЭС-2 – 0,38; ДЭС-3 – 0,39 соответственно), что говорит об избыточной установленной мощности ДЭС, и, как следствие, о ненормированном перерасходе дизельного топлива на единицу выпускаемой продукции.

Уменьшение удельного расхода дизельного топлива можно достичь с помощью объединения ДЭС в единый центр генерации с каскадной (кольцевой) схемой включения. Обозначим такой комплекс, как ЭТК-2. (рисунок 3).

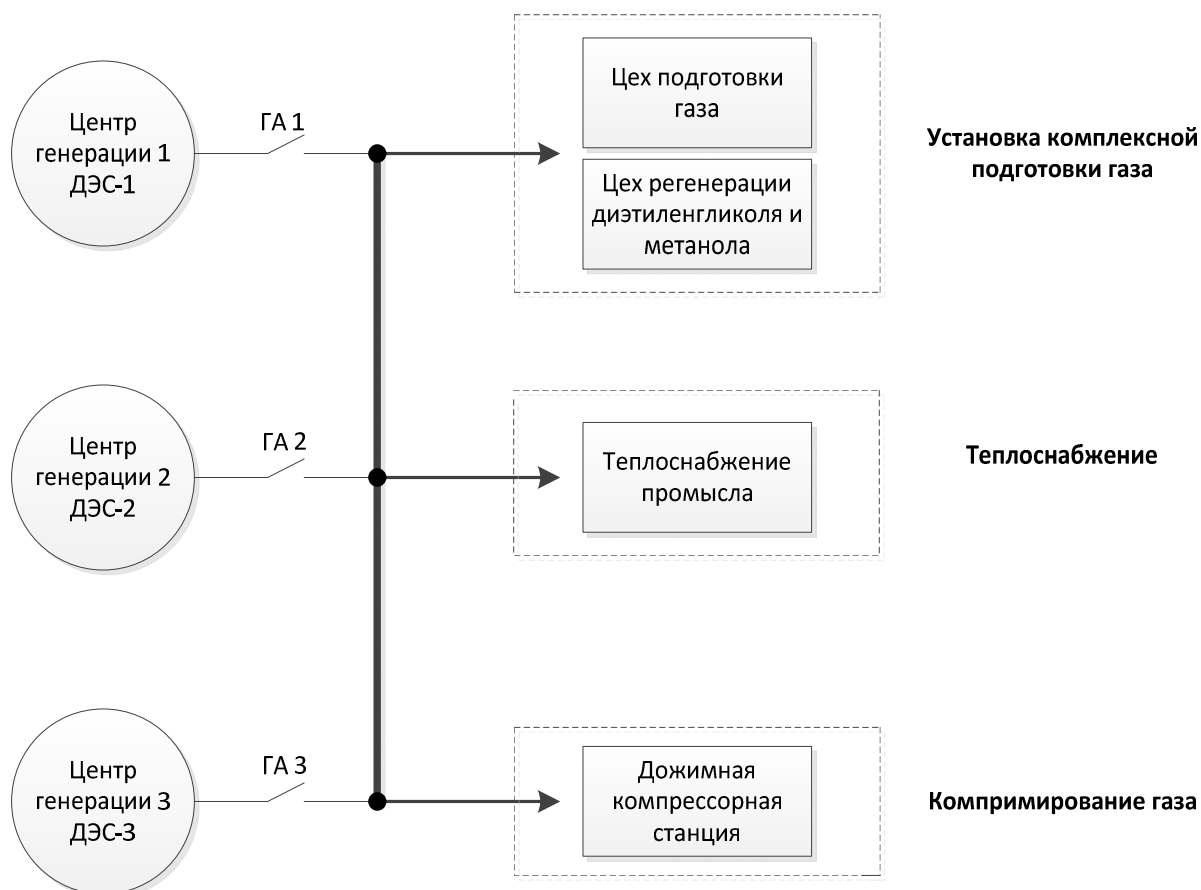


Рисунок 3- Структурная схема каскадного включения ДЭС (ЭТК-2):  
ГА – генераторный автомат

Каскадная схема включения позволит включать (отключать) ДЭС согласно граничным значениям потребляемой мощности, что позволит увеличить коэффициент загрузки и продлить ресурс дизельных двигателей.

Определим граничные значения потребляемой мощности, при достижении которых подключается либо отключается очередной дизель-генератор:

- 1) определяется оптимальная мощность ДЭС при коэффициенте загрузки равной 0,75:

$$P_{опт} = P_{ном} \cdot 0,75 = 630 \cdot 0,75 = 472,5 \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность ДЭС;

- 2) из показаний ежемесячного потребления электроэнергии КТП за 2019 год (таблица 1) определяется суммарная потребляемая мощность КТП за каждый месяц –  $\sum P_{кмп}$ ;

- 3) определяется количество ДЭС, которые смогут обеспечить тре-

буемую потребность мощности:

$$x \cdot P_{онт} \geq \sum P_{кмп}, \quad (2)$$

где  $x$  – количество ДЭС с каскадной схемой включения;

4) определяется потребляемая мощность каждой ДЭС с каскадной схемой включения –  $P_{потр}$

$$P_{потр} = \frac{\sum P_{кмп}}{x} \quad (3)$$

5) Полученные значения из (1-3) вносятся в таблицу 2.

Таблица 2 - Ежемесячные показатели потребления мощности КТП и ДЭС при каскадной схеме включения

| Месяц    | $\sum P_{кмп}$ , кВт·ч | $P_{потр}$ , кВт·ч | $x$ |
|----------|------------------------|--------------------|-----|
| январь   | 947                    | 315,67             | 3   |
| февраль  | 888                    | 444                | 2   |
| март     | 962                    | 320,67             | 3   |
| апрель   | 859                    | 429,5              | 2   |
| Май      | 865                    | 432,5              | 2   |
| июнь     | 603                    | 301,5              | 2   |
| июль     | 572                    | 286                | 2   |
| август   | 615                    | 307,5              | 2   |
| сентябрь | 774                    | 387                | 2   |
| октябрь  | 854                    | 427                | 2   |
| ноябрь   | 915                    | 457,5              | 2   |
| декабрь  | 1008                   | 336                | 3   |

В соответствии с потребленной мощностью каждой ДЭС с каскадной схемой включения (ЭТК-2) (таблица 2) были рассчитаны ежемесячные коэффициент загрузки и сравнены средневзвешенные коэффициенты загрузки ( $K_{год.срвзв.}$ ) ЭТК-2 с ЭТК-1 (таблица 3).

Зависимость удельного расхода топлива от нагрузки является нелинейной функцией, а обеспечение минимального расхода топлива ДЭС – задача нелинейной оптимизации. Воспользуемся формулой (4), в которой приведена универсальная зависимость удельного расхода топлива ДЭС от коэффициента загрузки [7]:

$$g = g_{ном}(0,0811 \cdot k_3^{-1,385} + 0,912), \quad (4)$$

Таблица 3 - Показания ежемесячного и годового средневзвешенного коэффициента загрузки

| № ДЭС                          | № ЭТК | январь | февраль | март | апрель | май  | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | К <sub>год.суд.дв.</sub> |
|--------------------------------|-------|--------|---------|------|--------|------|------|------|--------|----------|---------|--------|---------|--------------------------|
| 1                              | 1     | 0,53   | 0,5     | 0,6  | 0,52   | 0,56 | 0,34 | 0,49 | 0,52   | 0,5      | 0,52    | 0,51   | 0,55    | 0,51                     |
|                                | 2     | 0,5    | 0,7     | 0,51 | 0,68   | 0,69 | 0,48 | 0,45 | 0,49   | 0,61     | 0,68    | 0,73   | 0,53    | 0,59                     |
| Разница между ЭТК-2 и ЭТК-1, % |       |        |         |      |        |      |      |      |        |          |         |        |         | 13,56                    |
| 2                              | 1     | 0,46   | 0,43    | 0,46 | 0,43   | 0,43 | 0,36 | 0,13 | 0,16   | 0,37     | 0,43    | 0,45   | 0,5     | 0,38                     |
|                                | 2     | 0,5    | 0,7     | 0,51 | 0,68   | 0,69 | 0,48 | 0,45 | 0,49   | 0,61     | 0,68    | 0,73   | 0,53    | 0,59                     |
| Разница между ЭТК-2 и ЭТК-1, % |       |        |         |      |        |      |      |      |        |          |         |        |         | 35,59                    |
| 3                              | 1     | 0,49   | 0,46    | 0,44 | 0,4    | 0,37 | 0,24 | 0,27 | 0,28   | 0,34     | 0,38    | 0,47   | 0,53    | 0,39                     |
|                                | 2     | 0,5    | -       | 0,51 | -      | -    | -    | -    | -      | -        | -       | -      | 0,53    | 0,51                     |
| Разница между ЭТК-2 и ЭТК-1, % |       |        |         |      |        |      |      |      |        |          |         |        |         | 23,53                    |

Сравним годовые расходы топлива ЭТК-2 с ЭТК-1 (таблица 4) по месячным коэффициентам загрузки (из таблицы 3).

Таблица 4 - Показания ежемесячного и годового расхода дизельного топлива для ЭТК-1 и ЭТК-2, кг

| № ЭТК    | 1       | 1     | 1     | 2       | Разница расхода топлива между ЭТК-2 и ЭТК-1, % |
|----------|---------|-------|-------|---------|------------------------------------------------|
| январь   | 82,04   | 69,35 | 78,85 | 229,75  |                                                |
| февраль  | 78,44   | 65,63 | 75,67 | 195,55  |                                                |
| март     | 90,23   | 69,18 | 73,44 | 232,45  |                                                |
| апрель   | 80,42   | 65,8  | 68,13 | 190,29  |                                                |
| май      | 85,3    | 65,46 | 64,71 | 191,37  |                                                |
| июнь     | 60,62   | 58,52 | 51,2  | 144,67  |                                                |
| июль     | 76,65   | 38,92 | 54,24 | 139,29  |                                                |
| август   | 81,14   | 40,15 | 55,06 | 146,76  |                                                |
| сентябрь | 78,98   | 59,17 | 61,53 | 174,95  |                                                |
| октябрь  | 81,14   | 65,46 | 66,86 | 189,38  |                                                |
| ноябрь   | 80,06   | 68,16 | 76,23 | 200,46  |                                                |
| декабрь  | 84,03   | 73,1  | 84,14 | 240,74  |                                                |
| всего    | 2508,03 |       |       | 2275,66 | 9,265                                          |

Проведенный анализ и расчет показал, что предлагаемый способ снижения потребления топлива ДЭС для автономной системы электроснабжения ГП дает разницу годового расхода топлива между ЭТК-2 и ЭТК-1 на 9,265 %, что говорит о том, что модернизация автономной системы электроснабжения ГП №1 позволит получить экономический эффект, за счет увеличения коэффициента загрузки ДЭС.

## Список литературы

1. Городнов А.Г. Модель электротехнического комплекса с автономной системой электроснабжения механизированной добычи нефти. В сборнике: технологическое развитие: тенденции, проблемы и перспективы. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2020. С. 8-10.
2. Ершов М.С., Жалилов Р.Б. Моделирование надежности систем электроснабжения с автономными источниками питания. В сборнике: Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики в 2-х книгах. 2019. С. 353-361.
3. Савенко А.Е., Савенко С.Е. Работа многогенераторного автономного электротехнического комплекса. Материалы III Международной научно-практической конференции «Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли». Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт. 2018. С. 465-469.
4. Gorodnov A.G., Kornilov V.Yu., Abdulhy Al-Ali M.A. The methodology for design of autonomous power supply system of oil producing company optimized on length and number of generation centers // Power engineering: research, equipment, technology. 2020. Vol. 22, N1. pp. 69-76.
5. Abdulhy Al-Ali M.A., Kornilov V.Yu., Gorodnov A.G. Optimized the performance of electrical equipment in gas separation stations (Degassing stations) and electrical submersible pumps of oil equipment for oil Rumaila field // Power engineering: research, equipment, technology. 2019. Vol. 21, N (1-2). pp. 141-145.
6. Лукутин Б.В., Шандарова Е.Б. Способы снижения расхода топлива дизельных электростанций. В сборнике: Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона. Материалы Международного научно-практического форума. 2013. С. 393-397.
7. Гринкруг М.С. Выбор типов дизель-генераторов на дизельных электростанциях из условий минимального годового расхода топлива // Теплоэнергетика. 2009. № 11. С. 18-21.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ MES-СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Муртазаева Айслу Амеровна,**  
**студентка третьего курса специальности среднего профессионального**  
**образования 09.02.04 «Информационные системы (по отраслям)»**  
**Джамбеков Азамат Матифулаевич,**  
**научный руководитель, к.т.н., преподаватель отделения**  
**«Связь и телекоммуникации» факультета среднего**  
**профессионального образования**  
**Астраханский государственный технический университет,**  
**г. Астрахань**

***Аннотация.*** MES позволяет создавать гибкую и чуткую информационную инфраструктуру, чрезвычайно быстро реагирующую на любые изменения в продукции, производственном процессе, составе рабочей силы и содержании рабочих процедур, обеспечивая оперативность, необходимую для успешного ведения бизнеса в современных условиях высокой конкуренции. MES-системы играют огромную роль для привлечения инвестиций в генерирующие компании. Инновационная MES-система, обеспечивающая средний уровень, призвана заполнить этот пробел, т.е. она должна соединить нижний уровень электростанций с верхним уровнем генерирующих компаний. Тем самым это обеспечит инвестиционную привлекательность генерирующих компаний.

***Ключевые слова.*** MES-система, управление производством, генерирующие компании, управление техническим обслуживанием, управление ремонтом.

### **Основные понятия**

MES (от англ. Manufacturing Execution System, система управления производственными процессами) – это специализированное прикладное программное обеспечение, предназначенное для решения задач синхронизации, координации, анализа и оптимизации выпуска продукции в рамках какого-либо производства.

Система оперативного управления производством (MES) – это динамическая информационная система, управляющая эффективным исполнением производственных операций. Используя точные данные, MES регулирует, инициирует и протоколирует работу предприятия по мере событий. Набор функций MES позволяет управлять производственными опе-

рациями от момента появления заказа на производстве до доставки готового продукта. MES предоставляет важную информацию о производственной деятельности для всей организации и обо всей цепочке поставок посредством двустороннего взаимодействия. В России, на сегодняшний день, системы типа MES являются дефицитом.

Считают, что основной целью внедрения и использования систем класса MES является то, что система делает все производственные процессы прозрачными и обеспечивает высокую надежность планирования. Она помогает выполнять производственные задания с меньшими издержками и при оптимальной загрузке производственных мощностей. В результате применения систем класса MES мы получаем повышение эффективности, гибкости, сокращение времени производственного цикла и уменьшение брака – это лишь некоторые из преимуществ в результате применения системы [1].

К функциональным возможностям MES относятся следующие.

1. Управление персоналом (LM). Управление персоналом предоставляет всю информацию о персонале, включая отчеты о времени и присутствии их на рабочем месте, а также слежение за соответствием сертификации, и возможность учитывать и контролировать основные, дополнительные обязанности персонала, например, такие как выполнение подготовительных операций, расширение зоны работы.

2. Управление качеством продукции (QM). Управление качеством продукции предоставляет данные о качестве продукции в режиме реального времени, собранные с производственного уровня, обеспечивая должный контроль качества и внимание на критических точках. Также может предложить действия по исправлению ситуации в данной точке на основе анализа корреляционных зависимостей и статистических данных причинно-следственных связей контролируемых событий.

3. Управление производственными процессами (PM). Управление производственными процессами отслеживает заданный процесс, а также вносит корректировку или предлагает соответствующее решение оператору для исправления или повышения качества работ.

4. Управление производственными фондами (техобслуживание) (MM). Тут происходит поддержка процесса технического обслуживания, планового и оперативного ремонта производственного и технологического оборудования и инструментов в течение всего производственного процесса [2].

## **Разработка систем управления производственными процессами на базе стандартов MES**

Мы знаем, что задачей каждого коммерческого предприятия является обеспечение возможности в сроки удовлетворить требования рынка с целью получения прибыли и закрепления своих позиций на рынке. Получается, что необходимо менять концепцию управления, модели и методы работы. При этом многие изменения внешней среды предприятия приводят к необходимости изменения систем и подсистем управления, в том числе и системы управления производственными процессами.

Основные функции MES-системы:

- 1) функциональность производственных систем;
- 2) приведение производственных мощностей в действие;
- 3) сбор информации, связанной с производством;
- 4) планирование;
- 5) введение контроля качества;
- 6) установление связи между персоналом и оборудованием, между производством и поставщиками, между инженерным отделом и менеджментом;
- 7) отслеживание и изменение компонентов, сырья и полуфабрикатов, которые применяются в процессе производства;
- 8) управление техническим обслуживанием и ремонтом (рис. 1).

Использование в ИТ-архитектуре предприятия слоя MES позволяет сохранить баланс между уникальностью предприятия и лучшим мировым опытом. В другом случае этот компромисс придется искать в процессе кастомизации ERP.

Также еще одной тенденцией, уводящей производителей от реальных проблем, является внедрение концепций бережливого производства, которые рассматривают в качестве альтернативы MES-системам. В последнее время осуществляется довольно много одинаковых проектов, но лишь потому, что их реализация кажется руководству предприятий более простой. Между тем производственное планирование и бережливое производство дополняют друг друга. Бережливое производство – это, прежде всего, изменение философии предприятия, а внедрение MES – изменение методов работы с информацией.

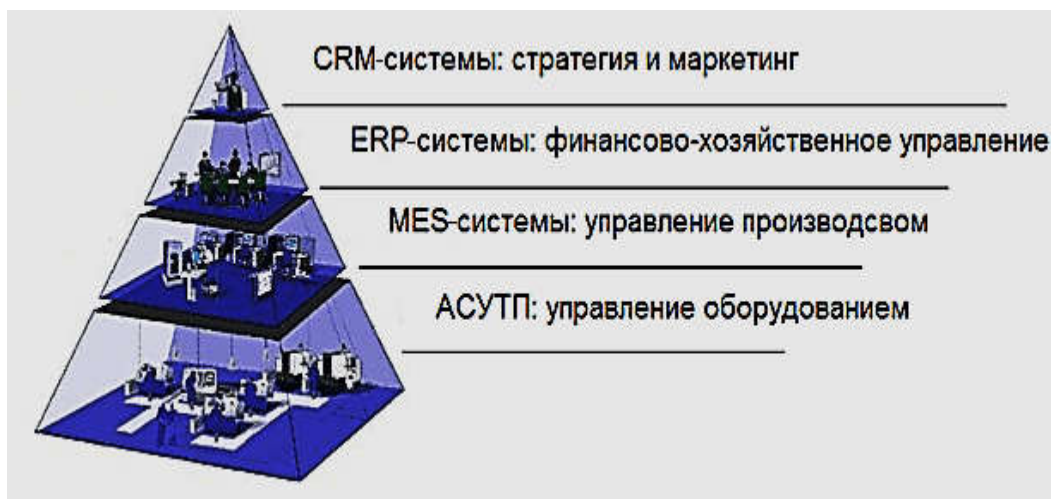


Рисунок 1 – MES (Manufacturing Execution System)

Одной из немногих позитивных тенденций на рынке является то, что инициаторами внедрения MES все больше становятся бизнес-руководители – люди, отвечающие за финансовые результаты. Это может означать как более высокий уровень поддержки проектов, так и иной подход к их обоснованию. Можно считать, что подобные изменения, вкупе с растущей управленческой зрелостью предприятий, и способны в ближайшие годы стать основным двигателем рынка [2].

### **Применение MES-систем в энергетике**

MES-системы играют огромную роль для привлечения инвестиций в генерирующие компании. В генерирующих компаниях есть ERP-системы, т.е. системы верхнего уровня, а на электростанциях есть системы коммерческого учета электроэнергии и тепла, а также АСУТП котлов и турбин, т.е. системы нижнего уровня. Но системы среднего уровня, которая бы представляла в целом всю электростанцию в реальном времени, нет ни на одной ТЭЦ и ГРЭС. Можно считать, что этот разрыв в производстве между нижним и верхним уровнями и препятствует увеличению энергоэффективности электростанций. Иными словами, без системы среднего уровня достичь эффективности электростанций как на Западе практически нереально. Инновационная MES-система, обеспечивающая средний уровень, призвана заполнить этот пробел, т.е. она должна соединить нижний уровень электростанций с верхним уровнем генерирующих компаний. Тем самым это обеспечит инвестиционную привлекательность генерирующих компаний.

На тепловых электростанциях (ТЭС) эффективность использования

энергоресурсов определяет экономичность производства электроэнергии. Ввиду применения на большинстве отечественных ТЭС неэффективных традиционных методик расчета затрат энергоресурсов, опирающихся на применение стандартных программных инструментов, таких как Microsoft Excel, важен переход на современное программное обеспечение, способное:

- осуществлять быстрый сбор информации от действующих на ТЭС информационных систем;
- повысить точность расчета в режиме реального времени основных показателей эффективности;
- провести анализ причин неэффективности производства тепла и электроэнергии;
- на основе прогнозной модели определить оптимальную конфигурацию оборудования с учетом заданного режима работы ТЭС;
- вывести на пользовательский экран необходимую информацию для возможности принятия оперативных решений с использованием портала технологической информации [3].

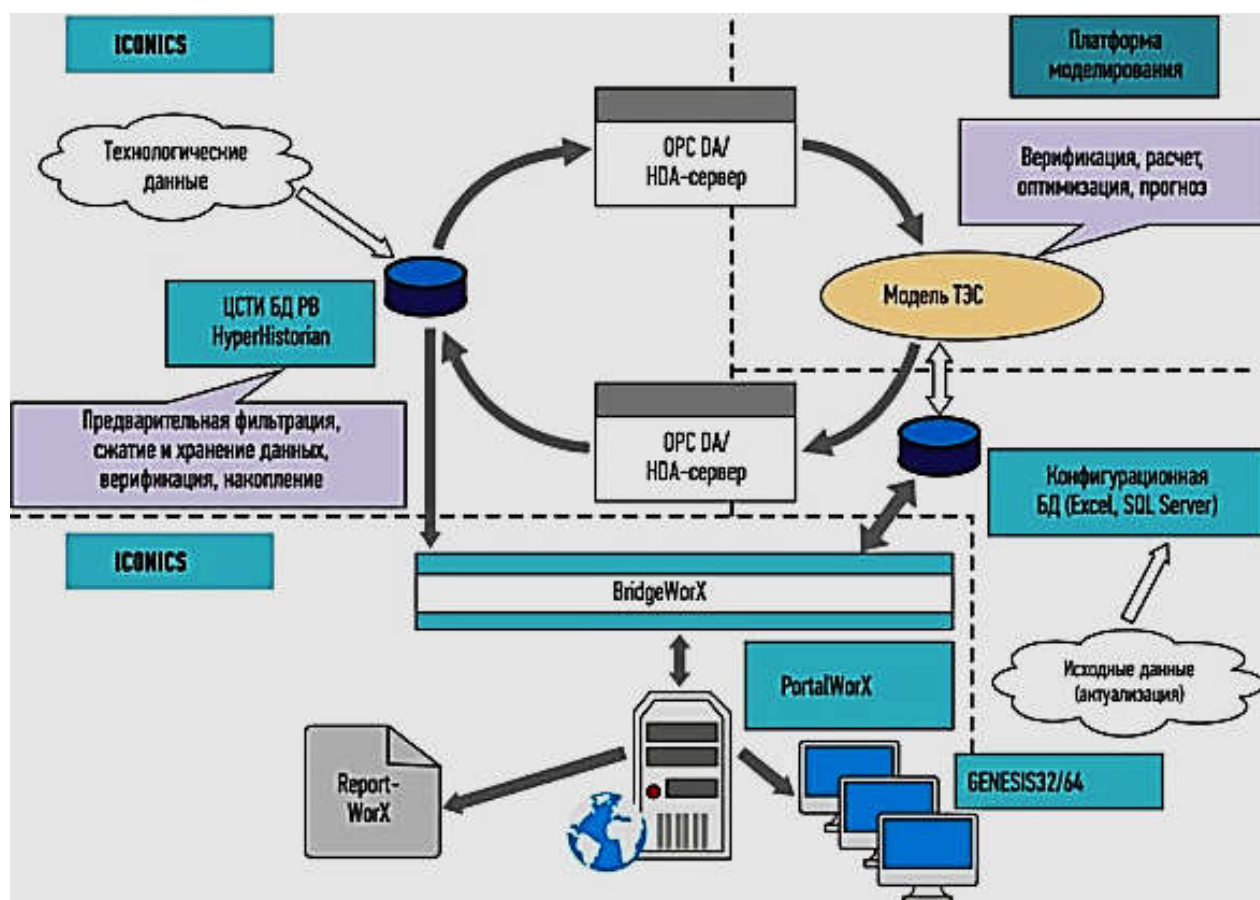


Рисунок 2 – Архитектура ПО ICONICS

В качестве примера применения MES-систем на ТЭС рассмотрим программное обеспечение (ПО) ICONICS, представляющее собой коробочное решение, построенное на основе блоков, что делает возможным поэтапное его внедрение (рис. 2).

Основными компонентами ПО ICONICS для применения на ТЭС являются: центр сбора технологической информации (ЦСТИ); блок построения модели ТЭС, расчетных показателей эффективности и анализа режимов; блок оптимизации производственного планирования; блок формирования корпоративных отчетов; портал технологической информации; блок принятия решений по техническому обслуживанию и ремонту оборудования [3]. Состав и вид компонентов ПО ICONICS можно варьировать в зависимости от имеющихся в текущем проекте задач с учетом пользовательских предпочтений.

### **Список литературы**

1. MES системы / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://finestart.school/media/MES\\_systems](https://finestart.school/media/MES_systems) (дата обращения: 04.11.2021).
2. Асланова И.В. Mes как основа разработки систем управления производственными процессами предприятия // Российское предпринимательство. 2017. № 1. С. 1651-1658. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mes-kak-osnova-razrabotki-sistem-upravleniya-proizvodstvennymi-protsessami-predpriyatiya> (дата обращения: 04.11.21).
3. Повышение эффективности ТЭС с помощью аналитики ICONICS / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://controleng.ru/mes-sistema/iconics/> (дата обращения: 04.11.2021).

## КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рашидханов Арип Таймасханович, ст. преподаватель  
Мамедшахов Гаджимурад Керимович, студент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Рассмотрены нормативных требований при несоблюдении которых ухудшаются показателям качества электрической энергии и имеет место ущерб.

*Ключевые слова:* энергия, качество, износ, ущерб, энергоэффективность, электроснабжение, электромагнитная совместимость.

Качество электрической энергии в значительной мере влияет на технологический процесс любого производства. Нарушения нормального хода производственного процесса или повреждения электротехнического оборудования вследствие изменений в энергоснабжении можно охарактеризовать как низкое качество электрической энергии.

Производство электрической энергии высокого качества, бесперебойная передача и распределение по надежным сетям неотъемлемая часть достижения высокого качества электрической энергии.

При несоблюдении нормативных требований к показателям качества электрической энергии имеет место ущерб, представленный в виде двух составляющих, таких как электромагнитная и технологическая.

Снижение ресурса энергетического оборудования происходит вследствие ускоренного его износа, а также с увеличением погрешностей приборов контроля и измерения, сбоев систем релейной защиты и автоматики является последствием электромагнитной составляющей ущерба.

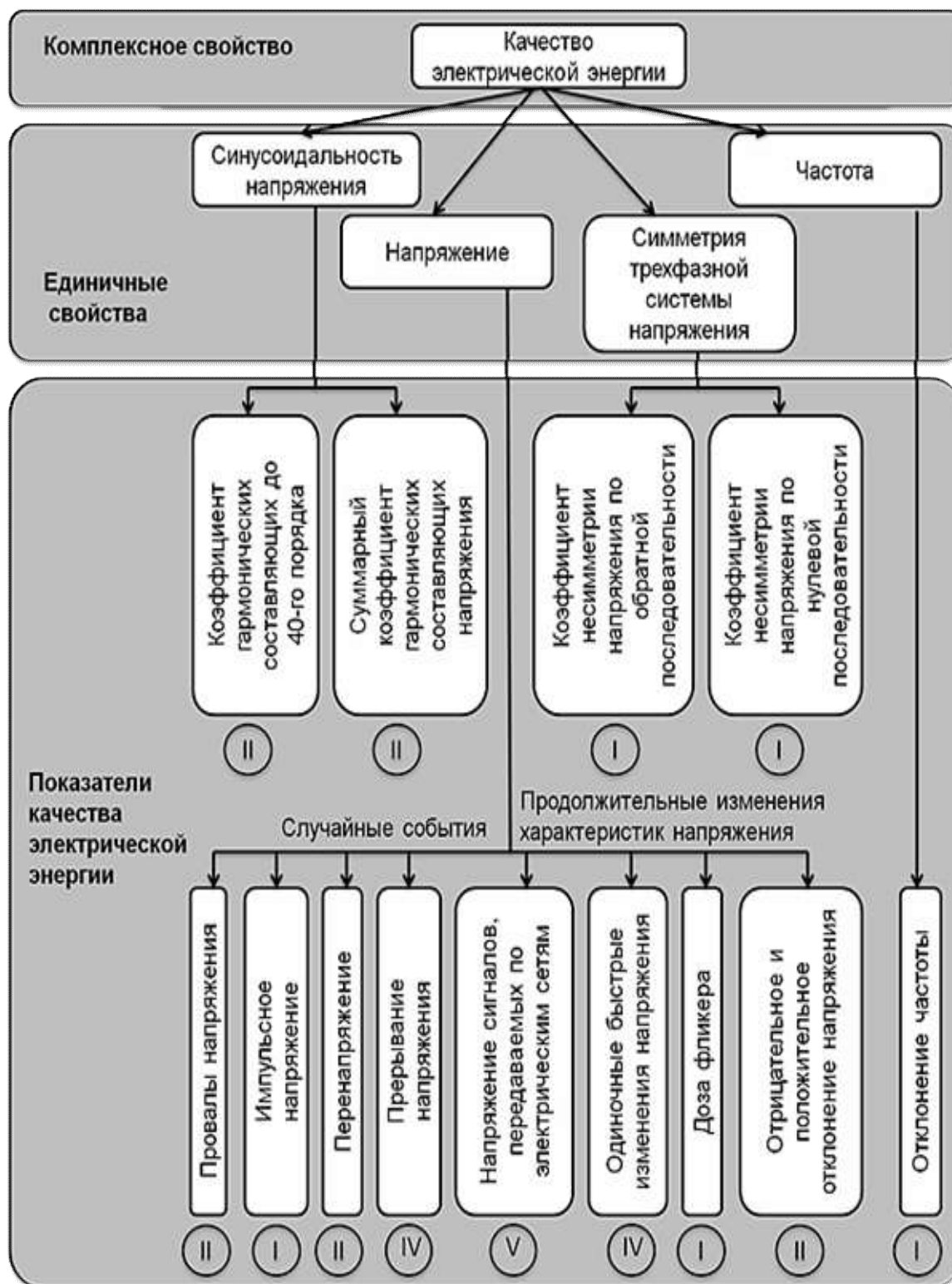


Рисунок 1 – Показатели качества электроэнергии

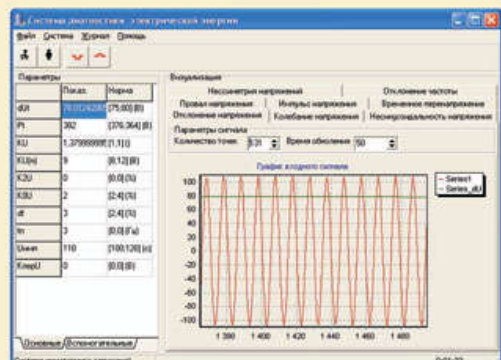


Рисунок 2 - приборы для измерения качества электроэнергии

## СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**КРАТКИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:**  
система разработана в среде borland c++ 5.0, предварительно модели реализованы на базе приложения MATLAB SIMULINK.

**НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ:**  
 ✓ анализ электроэнергии на соответствие ее показателей основным нормам (гост 19705-89, гост 13109-97 );  
 ✓ поиск и определение неисправных узлов, виновных в ухудшении этих показателей.





**ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ:**  
 ✓ применение оригинального алгоритма предварительной обработки сигнала, основанного на выделении нулевых значений;  
 ✓ иииииии иииииии иии ии ии иииииии иииииии и иииии;  
 ✓ высокое быстродействие и устойчивость работ.

440605, г. Пенза, проезд Байдукова/улица Гагарина, д. 1а/11  
Тел.: (841-2) 49-60-09 <http://www.pgta.ru/>

Рисунок - 3 – система оценки качества электроэнергии

Нормы, устанавливаемые ГОСТом 13109-97 “Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения”, являются уровнями электромагнитной совместимости (ЭМС) источников электроэнергии

электрических сетей потребителей электрической энергии. Понятие ЭМС можно представить, как способность приборов, устройств и электрооборудования вследствие воздействия на них электрических и электромагнитных полей нормально функционировать и оказывать негативные помехи другим объектам.

Снижение производительности электрооборудования и технологического процесса, а также повышенным потреблением энергии из-за массового брака продукции или увеличения длительности технологического процесса, снижения коэффициента полезного действия является последствием технологической составляющей ущерба. В первую очередь на энергоэффективность оказывает влияние технологической составляющей ущерба и основываясь на этом в качестве уровня энергоэффективности можно принять оптимальный режим электроснабжения, который позволяет обеспечить поддержку определенной группы показателей качества электроэнергии на допустимом уровне. Определение их числа напрямую зависит от чувствительности к ним конкретных потребителей.

#### Список литературы:

1. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие / В.Я. Ушаков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 448 с.
2. Технологический ущерб при низком качестве электроэнергии / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pue8.ru/kachestvo-elektroenergii/technologicheskij-ushherb.html> (дата обращения: 10.04.2020).
3. Показатели качества электроэнергии ГОСТ 13109 -97 ГОСТ Р / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://present5.com/pokazateli-kachestva-elektroenergii-gost-13109-97-gost-r/> (дата обращения: 11.04.2020).

## **ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРОК ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

**Ю.Б. Прибытков, аспирант**

**Волгоградский институт управления — филиал РАНХиГС, Волгоград**

*Аннотация.* В статье исследуется методика проведения проверок в отношении потребителей электрической энергии с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике должностными лицами при осуществлении федерального государственного энергетического надзора. Обосновывается необходимость дальнейшего совершенствования методического сопровождения процедуры контрольно-надзорных мероприятий в отношении потребителей электрической энергии. Предлагаются выводы и авторские рекомендации по совершенствованию нормативного правового обеспечения проведения проверок в отношении потребителей электрической энергии.

*Ключевые слова:* контрольно-надзорная деятельность, контрольно-надзорное мероприятие, Ростехнадзор, федеральный государственный энергетический надзор, плановая проверка, внеплановая проверка, потребитель электрической энергии, проверочные листы, методические рекомендации.

### **Введение**

Актуальность рассмотрения вопросов проведения контрольно-надзорных мероприятий (КНМ) с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике связано с проводимой реформой контрольно-надзорной деятельности (КНД), этап которой на данный момент заключается в совершенствовании законодательной и нормативной правовой базы КНД.

Заместитель Министра энергетики РФ А. Бондаренко в начале 2020г. высказывала сомнения в необходимости 1 раз в 6 лет создавать новую законодательную и нормативную правовую базу в электроэнергетике, которая имеет свою отраслевую специфику и которая должна учитываться при проведении реформы КНД с учетом применения «регуляторной гильотины» [1, с. 7]. В этой связи, смотря с 2021г. можно утверждать, что большинство нормативной правовой баз готово к утверждению председателем Правительства РФ, но вся база в электроэнергетике будет утверждаться одновременно с целью предотвращения разбалансировки деятельности субъектов электроэнергетики, потребителей электрической энергии (по-

требители) и органов власти.

Основательное исследование КНД Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике провела Леухина Е.Е. В её исследовании представлен анализ состояния на 2014 год правового регулирования и организации КНД Ростехнадзора [2]. В связи с утверждением в 2017 г. форм проверочных листов при проведении плановых проверок [3] и утверждение методических рекомендаций по внедрению риск-ориентированного подхода при проведении плановых проверок деятельности юридического лица и (или) индивидуального предпринимателя субъекта электроэнергетики, эксплуатирующего объекты электросетевого хозяйства (методические рекомендации) в 2019г. [4], то соответственно в исследовании Леухиной Е.Е. отсутствует анализ данных нормативных правовых актов.

В нашем исследовании мы проведен анализ нормативных правовых документов в отношении проведения одного из видов КНМ, а именно плановых и внеплановых, выездных и документарных проверок потребителей. Целью нашего исследования является выработка авторских рекомендаций в отношении методики проведения проверок потребителей уполномоченными должностными лицами Ростехнадзора в части осуществления федерального государственного энергетического надзора (далее - Госэнергонадзор).

### **Тенденция контрольно-надзорной деятельности в рамках осуществления федерального государственного энергетического надзора**

Приведем таблицу с показателями осуществления госэнергонадзора за период с 2012г. по 2019г., основываясь на официальных докладах, представленных на сайте Ростехнадзора [5].

Мы осознанно оставляем за пределами данной статьи разрозненные данные по проведению КНМ госэнергонадзором в 2020г., поскольку большую часть года отделы госэнергонадзора Ростехнадзора провели без проведения плановых и внеплановых проверок и проведения проверки знаний норм и правил работ в электроустановках, что связано с введением режима повышенной опасности из-за пандемии COVID-19. Данный анализ требует отдельного исследования, но выводы анализа с 2012 по 2019 гг. будут актуальны в дальнейшем при совершенствовании нормативных правовых актов деятельности Ростехнадзора.

Как видно из Таблицы 1, с 2017 г. заметна динамика сокращения количества проведения проверок, но при этом увеличивается количество выявляемых нарушений территориальными органами Ростехнадзора, к этому стоит добавить динамику сокращения количества несчастных случаев со смертельным исходом и количества аварий. Данный факт приводит к мысли о необходимости дальнейшего перевода мероприятий с осуществления проверок на профилактические, мониторинговые и разъяснительные мероприятия, в том числе с использованием дистанционных технологий, а также к совершенствованию контрольно-надзорных мероприятий с применением проверочных листов.

**Таблица 1 - Показатели осуществления федерального государственного энергетического надзора за период с 2012г. по 2019г.**

| Показатели работы федерального государственного энергетического надзора                                                | Дата, г. |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                        | 2012     | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Количество проверок территориальными органами Ростехнадзора, тыс. ед.                                                  | 155      | 126  | 111  | 128  | 112  | 116  | 110  | 101  |
| Кол-во выявленных нарушений территориальными органами Ростехнадзора, тыс. ед.                                          | 860      | 580  | 570  | 500  | 550  | 712  | 728  | 765  |
| Количество выявленных нарушений территориальными органами Ростехнадзора на одну проверку (плановую и внеплановую), ед. | 5,5      | 4,6  | 5,1  | 3,9  | 4,9  | 6,1  | 6,6  | 7,5  |
| Кол-во вынесенных административных наказаний территориальными органами Ростехнадзора, тыс. ед.                         | 58       | 36   | 26   | 30   | 25   | 24   | 35   | 29   |
| Кол-во несчастных случаев со смертельным исходом, ед.                                                                  | 125      | 102  | 66   | 53   | 64   | 52   | 40   | 39   |
| Кол-во аварий, ед.                                                                                                     | 173      | 108  | 87   | 63   | 68   | 60   | 39   | 27   |

### **Методика проведения проверок**

#### **с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике**

Для изменения вышеописанной тенденции в рамках данной статьи мы предложим методику проведения проверок с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике при помощи критического анализа существующих проверочных листов [3] в отношении потребителей и методических рекомендаций [4].

С 2018 года проверки с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике уполномоченными должностными лицами Ростехнадзора проводятся с применением проверочных листов [3]. Общей характеристикой

проверочных листов является сплошное перечисление и переформулирование в виде вопроса основных требований, приведенных в правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) и правил охраны труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ), что создаёт затруднения в процедуре проведения проверки как для инспектора, уполномоченного Ростехнадзором для проведения проверки, так и для ответственных лиц от проверяемой организации. Причина трудности заключается в самой организации проверки. Инспектор в начале проведения проверки, после представления и разъяснения всех вопросов по процедуре самой проверки, проверяет соответствие проверяемой организации на поднадзорность Ростехнадзору и наличия подключения организации к электрическим сетям или наличия собственных источников электроэнергии. Таким образом, проверка наличия и, что важно, соответствия нормативным правовым актам договоров электроснабжения и актов об осуществлении технологического присоединения должно стоять на первом месте.

Далее инспектор Ростехнадзора проверяет наличие электротехнического персонала, его квалификацию, прохождение необходимых процедур по допуску к работе в данной сфере деятельности, утвержденные производственные и должностные инструкции т.д. В приложении №4 проверочных листов для проведения проверок потребителей, поднадзорных Ростехнадзору, данные вопросы разбросаны по проверочному листу, а сами вопросы сформулированы так, что, например, наличие должностной инструкции уже является достаточной для выполнения указанных требований ПТЭЭП, а содержание инструкций не подлежит проверке, что, по нашему мнению, является недостаточным. К тому же данные вопросы можно проверять с использованием средств дистанционного взаимодействия.

В дальнейшем, проверяющий осуществляет проверку технической документации по наличию электроустановок, по его техническому обслуживанию и ремонтам, а также испытаниям и измерениям на соответствие обязательным требованиям, т.е. требованиям пунктов 1.8.1. и 1.8.2. и 1.8.9. ПТЭЭП и в соответствии с ними других пунктов ПТЭЭП [3]. Часть требований, указанных в главе 2 ПТЭЭП, проверяется документарно при проверке технической документации, указанных в пунктах 1.8.1., 1.8.2. и 1.8.9. ПТЭЭП, а часть при непосредственном осмотре электроустановок. По нашему мнению, стоит разделить вопросы, связанные с документарной проверкой электроустановок и непосредственного осмотра электроустановок.

В части проверки соблюдения ПОТЭЭ необходимо обратить внимание на то, что соблюдение требований данных правил можно проверить только во время проведения работ в организации. На практике при проведении проверок Ростехнадзором все работы прекращаются и проверить соблюдение данных требований не представляется возможным. В данном случае стоит данные вопросы освещать во время проведения профилактических мероприятий и разъяснительных работ должностными лицами Ростехнадзора.

Переходя к рассмотрению методических рекомендаций, отметим, что данные рекомендации ссылаются на приложение №4 приказа об утверждении проверочных листов. Рассматриваемые методические рекомендации действуют в отношении субъектов электроэнергетики для пояснения вопросов в отношении процедуры проведения проверки, а приложение №4 направлено на проверки потребителей, а именно приложение №2 приказа об утверждении проверочных листов направлено на субъектов электроэнергетики, в которых содержатся совершенно иные вопросы для проведения проверки представлены.

### **Заключение**

В результате проведенного анализа проведения проверок потребителей с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике мы приходим к следующим выводам и рекомендациям:

1. Выявлена динамика сокращения количества проведения проверок при увеличении количества выявляемых нарушений территориальными органами Ростехнадзора, к этому стоит добавить динамику сокращения количества несчастных случаев со смертельным исходом и количества аварий;

2. Для изменения тенденции увеличения количества выявляемых нарушений территориальными органами Ростехнадзора и минимизации факторов возникновения данной тенденции нами выявлены замечания и сформулированы предложения к действующим проверочным листам, применяемым при проведении плановых проверок в отношении потребителей и методических рекомендаций. В основу предложений входит методика проведения проверок с целью обеспечения безопасности в электроэнергетике по следующим этапам: проверка организации на соответствие поднадзорности Ростехнадзору в рамках госэнергонадзора, далее проверяется документация по проведению работы с персоналом, следующее идет проверка технической документации по наличию электроустановок, по их техническому обслуживанию и ремонтам, а также испытаниям и измере-

ниям на соответствие обязательным требованиям и далее проводится визуальный осмотр электроустановок.

3. Документарную часть выездной проверки можно проверять с использованием средств дистанционного взаимодействия, а именно следующую документацию: договоры электроснабжения, акты об осуществлении технологического присоединения или акты разграничения границ балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности сторон, документация по проведению работы с персоналом.

### **Список литературы**

1. Бондаренко А. «Гильотина» для энергетики: спасение или гибель? // Энергетическая политика. 2020. №3 (145). С. 6-11.

2. Леухина Е.Е. Правовое регулирование надзорной деятельности в сфере обеспечения безопасности в электроэнергетике: дис. ... канд. юр. наук. — Челябинск: ЮУрГУ, 2014. 219 с.

3. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 21.12.2017 № 557 «Об утверждении форм проверочных листов (списков контрольных вопросов), содержащих обязательные требования к обеспечению безопасности в сфере электроэнергетики и (или) требования безопасности в сфере теплоснабжения, которые подлежат применению при проведении плановых проверок поднадзорных субъектов (объектов) при осуществлении федерального государственного энергетического надзора» / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201805030062> (дата обращения: 19.01.2021).

4. Методические рекомендации по внедрению риск-ориентированного подхода при проведении плановых проверок деятельности юридического лица и (или) индивидуального предпринимателя субъекта электроэнергетики, эксплуатирующего объекты электросетевого хозяйства, утв. приказом Ростехнадзора от 23 июля 2019 г. № 291 / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_330719/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_330719/) (дата обращения: 15.02.2021).

5. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору / [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (дата обращения: 11.01.2021).

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПОСРЕДСТВОМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Рашидханов Арип Таймасханович, ст. преподаватель  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический  
университет»**

Рассмотрены новейшие способы поддержания оптимальных значений температур в энергетике для РЭА с применением термоэлектрических элементов, проанализированы проблемы применения их, а также раскрыт принцип работы.

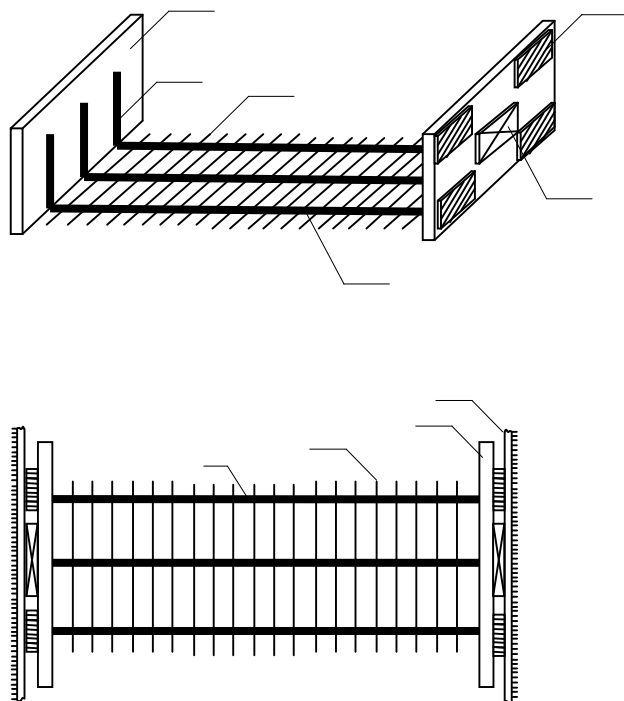
*Ключевые слова:* РЭА, термоэлектрическая батарея, теплоотвод, тепловая труба, тепловые мостики, радиатор.

Последние десятилетия радиоэлектронное оборудование и системы питания становятся всё более компактными, и вопрос рассеивания тепла приобретает всё большее значение. Подобное оборудование имеет специальные требования по рабочей температуре, и когда оно смонтировано внутри серверных или монтажных шкафов, температура может стать настоящей проблемой. Избыток тепла, выделяемый оборудованием внутри монтажного шкафа, является наиболее важным фактором, негативно влияющим на производительность, надежность и приводит к сбоям. Требования по охлаждению стоит учитывать ещё на начальном этапе конструирования, так как наличие эффективной стратегии охлаждения в значительной степени помогает с теплоотводом.

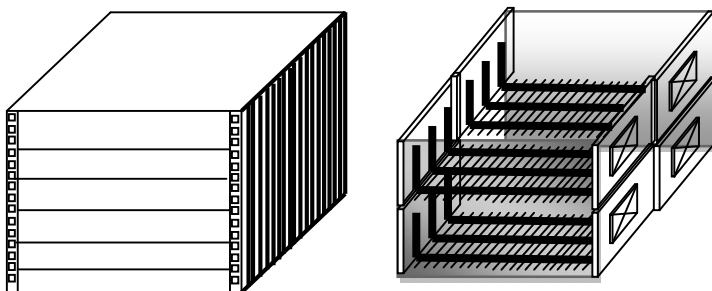
Всем известны общепринятые методы охлаждения: естественное и принудительное воздушное, жидкостное, испарительное, комбинированное которые имеют свои недостатки. Актуальность использования термоэлектрической системы охлаждения: необходимость стабилизации температуры внутри шкафа с радиоэлектронной аппаратурой в связи с тем, что в последние десятилетия увеличилось число элементов и функциональных узлов в составе аппаратуры электрических шкафов при уменьшении габаритных размеров и некотором повышении энергетических затрат.

Предлагается устройство для повышения эффективности отвода тепла из объема шкафа, установленного в агрессивной среде, за счет совершенствования зоны конденсации тепловых труб и обеспечение возможности отвода тепла без изменения системы конструкции шкафа, основанная на принципе тепловой трубы с зоной конденсации на термоэлектрических батареях(фиг.1).

- Тепловые трубы имеют следующие преимущества:
  - возможность работы, как в условиях микрогравитации, так и в поле сил тяжести при любой ориентации (превышение зоны испарения над зоной конденсации более 1 м), а также против сил ускорения
  - передача значительных тепловых потоков (1000 Вт и выше)
  - создание гибкой развязки между испарителем и конденсатором
  - обеспечение диодности, что позволяет передавать тепло только в одном направлении
  - передача тепла на значительные расстояния (6 м и более)



Фиг 1. Конструкция системы охлаждения.  
а) Вид сбоку. б) Вид сверху.



Фиг 2. а) Общий вид шкафа.  
б) Шкаф в разрезе с системой

Изобретение относится к радиоэлектронике, в частности предназначено для поддержания оптимальной температуры в объеме шкафа, что способствует стабильной работы техники. Прототипом устройства является шкаф с радиоэлектронной аппаратурой описанный в [3]. Данное устройство неэффективно с точки зрения обеспечения теплового режима радиоэлектронной аппаратуры, т.к при выделении большого количества тепла радиоэлектроникой система охлаждения не будет справляться с возложенной задачей. Так же недостатком данного шкафа является то, что неудобно обеспечивать температурные режимы работы элементов РЭА размещенных в шкафу, имеющих унифицированные геометрические размеры. Тепловая труба имеет одну зону конденсации, что недостаточно для стабильного режима работы системы охлаждения.

Целью изобретения является расширение области применения шкафа за счет унификации размеров его составных частей, повышение эффективности отвода тепла из объема шкафа. Данная цель достигается тем, что геометрические размеры составных частей шкафа кратны величине 5,08. На фиг.1 изображен общий вид системы охлаждения термоэлектрического шкафа (сбоку и сверху). На фиг. 2 показан общий вид шкафа с расположенными в нем системами охладений.

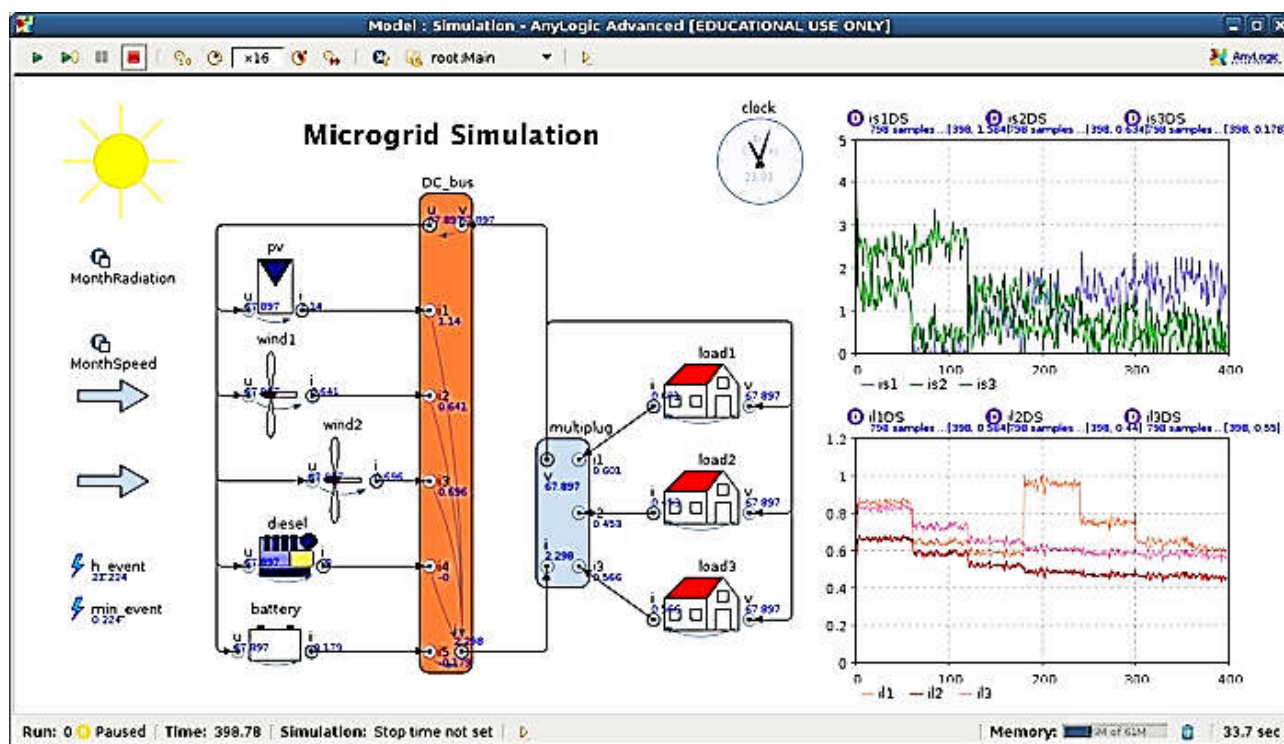
Устройство состоит из системы охлаждения отображенного на фиг.1: тепловых труб - 1; межтрубного оребрения - 2 всей области испарения; зоны конденсации - 3 с обоих концов тепловых труб; тепловых мостиков - 4 в зоне конденсации; ТЭБ - 5; боковых стенок шкафа играющих роль радиатора - 6 для снятия тепла с горячих спаев термоэлектрических модулей и тепла выделяемой аппаратурой в зависимости от конфигурации включения; высоко теплопроводящей пластины - 7. На фигурах не изображены датчики температуры, соединенные электрически с блоком управления, блоком питания и индикационным дисплеем.

### **Список литературы**

1. Анатычук Л. И., Булат Л. П. Полупроводники в экстремальных температурных условиях. Санкт-Петербург: Наука, 2001.
2. Брусницын П.С., Кораблев В.А. Шарков А.В. Применение термоэлектрических элементов в системах охлаждения // Изв. Вузов. Приборостроение, 2000.
3. Патент RU(11) 2399174 (13)С1
4. Лыков А. В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1967. – 598 с.
5. <http://www.fea.ru>
6. Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.

## Секция 5

# СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭНЕРГЕИКЕ



## ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ

**Исаев Андрей Станиславович, канд. техн. наук, доцент  
кафедра «Электроснабжение промышленных предприятий»,  
ФГБОУ ВО НИ «Российский химико-технологический университет»  
им. Д.И. Менделеева (г. Новомосковск, Тульская обл.)  
[ASIsaew@nirhtu.ru](mailto:ASIsaew@nirhtu.ru), [claudedk@bmail.ru](mailto:claudedk@bmail.ru)**

**Аннотация:** В работе представлен оперативный прогноз суточного графика электрической нагрузки. В качестве инструментального средства принят нейросетевой алгоритм, реализованный в Matlab. Новизна работы заключается в адаптации известных математических методов к современным условиям (учет нестабильности электропотребления в условиях коронавирусной пандемии). В результате подтверждена неработоспособность экстраполяционных методов прогнозирования и применимость нейросетевых. Выявлены оптимальные условия использования алгоритма Такаги-Сугено для получения обоснованного оперативного прогноза.

**Ключевые слова:** Электропотребление, оперативное прогнозирование, суточный график нагрузки, нейросетевая модель, алгоритм Такаги-Сугено, Matlab.

**Введение.** Электропотребление – основной показатель интенсивности функционирования объекта электроэнергетики. В настоящее время наиболее актуален оперативный прогноз электропотребления (суточный график нагрузки) для принятия обоснованных решений при покупке электроэнергии на ОРЭМ (оптовый рынок электроэнергии и мощности) и при использовании соответствующих ценовых категорий при ее закупке (5ЦК и 6ЦК).

Практически все методы прогнозирования можно разделить на несколько основных групп: 1. модели временных рядов (нагрузка является функцией наблюдений в прошлом); 2. причинные модели (нагрузка – функция экзогенных факторов, промышленных, погодных, социальных); 3. структурные (основаны на определенных закономерностях построения технических систем). Для оперативного прогноза используются модели временных рядов (в последнее время большую популярность набрали методы использования нейронных сетей). На данный момент нет какого-то универсального метода для краткосрочного прогнозирования. Притом возможны комплексные модели – например, кластеризация данных с по-

следующей обработкой внутри кластеров.

**Методы исследования.** Алгоритмически наиболее популярны два класса методов: нейронные сети (ANN) и авторегрессионная модель интегрированного скользящего среднего (ARIMA). Эти модели подробно описаны, проработаны алгоритмически и реализованы программно. Задачи прогнозирования параметров электропотребления весьма актуальны. В частности, группа математиков [1] занимается исключительно оценкой величин, необходимых для принятия обоснованных решений на ОРЭМ (прогнозирование, аналитика, оптимизация). При этом для успешного решения широкого круга математических задач в сфере оптовой торговли электроэнергией [2] используются собственные разработки, основанные на динамике временных рядов.

Ранее для перспективной оценки временного ряда суммарного суточного электропотребления использовались модели ARIMA [3]. Но прогнозирование графика нагрузки основано на другом временном ряде. Это интервальный (значение параметра является суммой за один час) с дискретным, равноотстоящим аргументом. Особенностью этого ряда является его нестационарность – отклонение эмпирических данных от среднего велико, а само среднее значение мощности нагрузки за час не является наиболее вероятной величиной. В этом случае автокорреляционная функция быстро убывает – следовательно, построить модель ARIMA с высокой точностью проблематично.

**Результаты исследования.** Объектом исследования является ООО «Куркинский хлебозавод» (Тульская обл.), среднее электропотребление за месяц составляет около 37 тыс. кВтч.

Исходная статистика – электропотребление за каждый час (за два месяца – 1464 точки). В этом случае (интервал осреднения равен 1ч) мощность нагрузки по абсолютной величине будет равна электропотреблению. Средства учета АИСКУЭ дают величины с интервалом осреднения 30 мин.

На рисунке 1 представлена информация, уже обработанная - осреднением нагрузки в виде «традиционного графика нагрузки» (известно, что чем больше продолжительность, тем более инерционная и предсказуемая величина – так прогнозирование месячного электропотребления гораздо более легкая задача в сравнении с прогнозированием суточного).

Помимо этого ряд верифицирован, нулевые значения (их немного – менее 1%) заменены аппроксимационными (средние значения за предыдущие часы наблюдения).

Неприменимость авторегрессионных методов (средняя погрешность составляет около 40%) объясняется свойствами нестационарности временного ряда электропотребления, на которое накладывается влияние

пандемии. Для построения нейросетевой модели принят Matlab с использованием разработанных алгоритмов и методик, изложенных в [5]. В качестве модели выбран алгоритм Такаги-Сугено. Выбор сделан из-за доступности и повторяемости результатов – алгоритм программно реализован в *Fuzzy Logic Toolbox*.

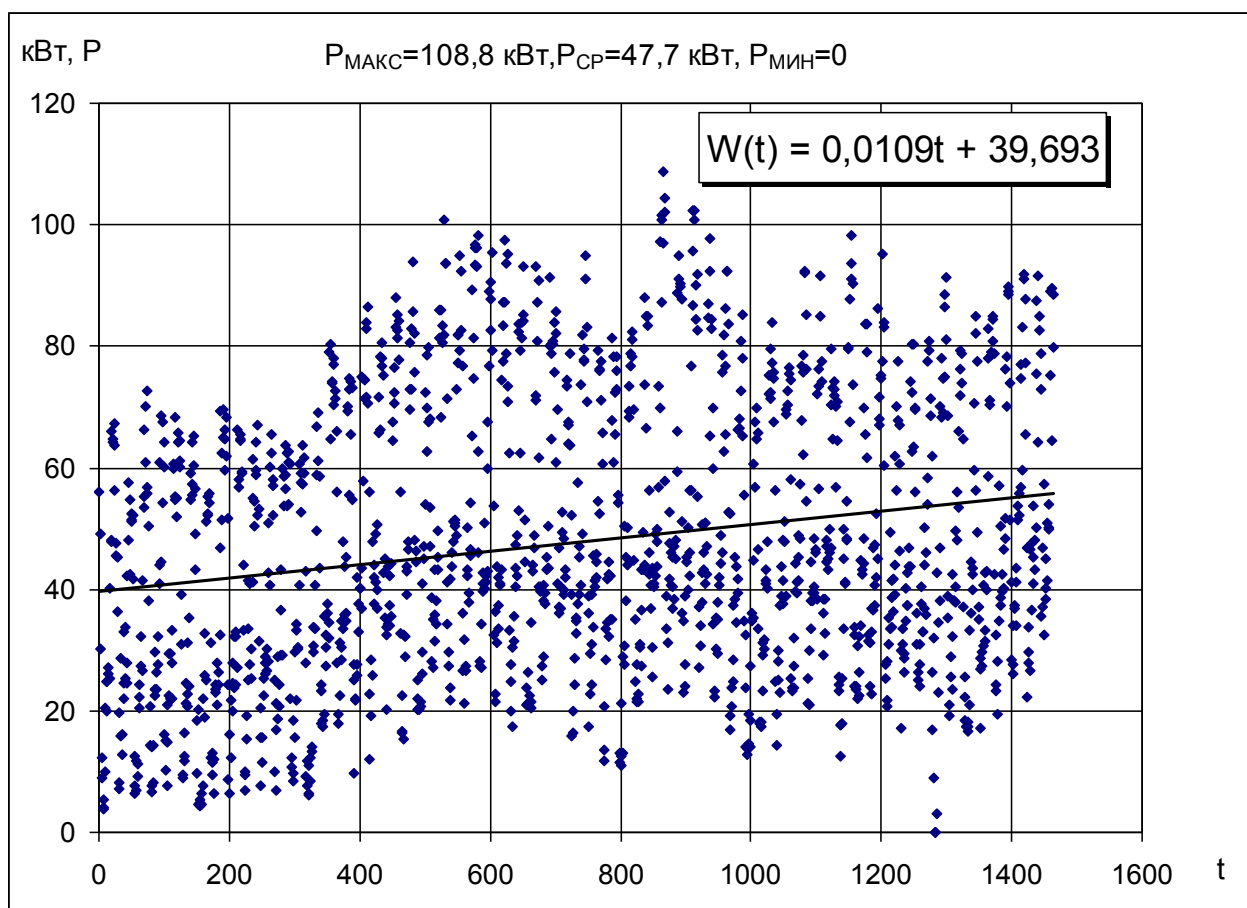


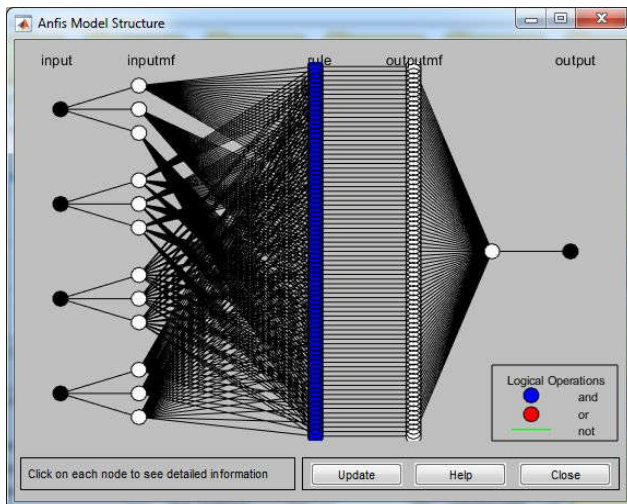
Рисунок 1 – Исходный временной ряд электропотребления (мощности нагрузки)

Структура сети показана на рисунке 2-а. Для создания, настройки, проверки на тестовом множестве используется редактор ANFIS (вызывается вводом в среде «*anfis*») – внешний вид показан на рисунке 2-б. Исходными данными для обучения сети являются четыре входных параметра (текущая нагрузка и нагрузки за три предыдущих часа) и один выходной (нагрузка следующего часа).

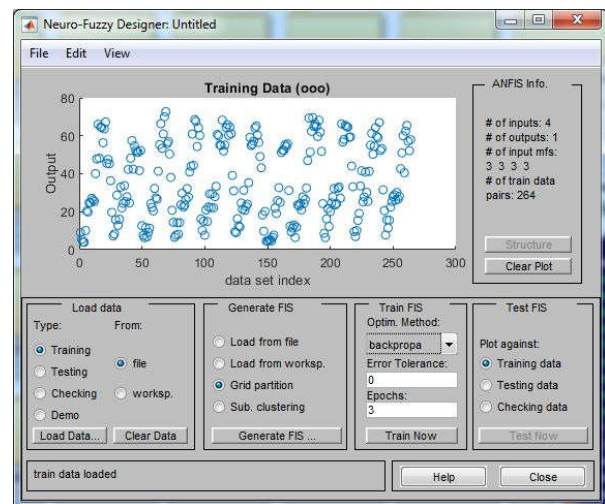
Исходные данные сформированы в MS Excel (преобразование одномерного массива в двумерный) и представляют собой таблицу с пятью столбцами. Загрузка данных в Matlab производится в редакторе ANFIS («*Load data*»).

Для обучения использовались данные за месяц (31 суточный график с осреднением в 1 час). Установлено, что больший объем информации (как в объеме выборки, так и в количестве входных переменных) не приводит к

повышению точности модели (напротив, происходит «переобучение» сети, приводящее к увеличению погрешности). Погрешность на обучающем множестве в 7,12% (рисунок 2-г) говорит о более высокой точности прогноза в сравнении с моделями экстраполяции. Повышение точности прогноза получается не оптимизацией алгоритма, а изменением входной информации.



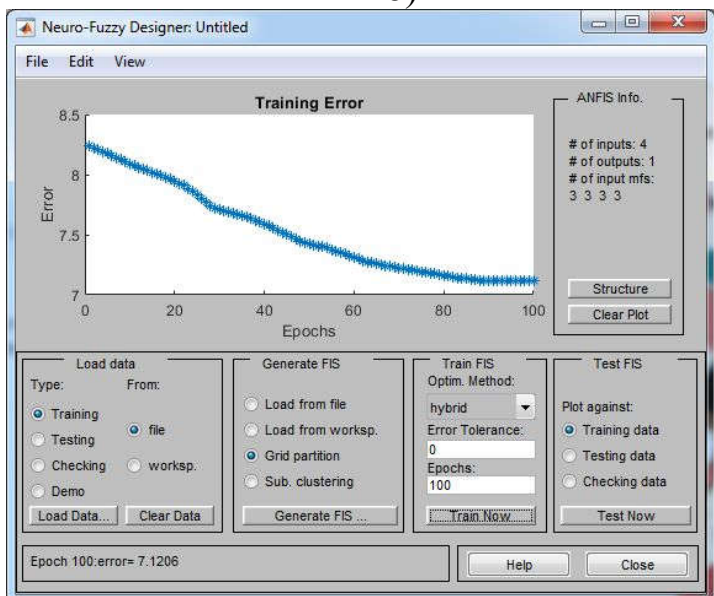
а)



б)

The 'Add Membership Functions' dialog box has two sections: 'INPUT' and 'OUTPUT'. In the 'INPUT' section, 'Number of MFs' is set to 3 3 3 3, and 'MF Type' is set to 'gaussmf'. In the 'OUTPUT' section, 'MF Type' is set to 'constant'. Buttons 'OK' and 'Cancel' are at the bottom.

в)



г)

Рисунок 2 – Использование нейросетового алгоритма Сугено (Matlab).

- а) – структура сети,
- б) интерфейс редактора с загруженным временным рядом,
- в) параметры сети,
- г) погрешность верифицированного ряда на тестовом множестве

Произведена модификация базовой модели. Первая модель заключается в сглаживании верифицированного ряда. При этом верификация привела к удалению из предыстории выбросов (примерно 8% ото всех наблю-

дений) с заменой их интерполированными данными. Сглаживание выполнено как вариант медианного абсолютного отклонения (сравнение точек временного ряда со скользящей медианой).

Вторая – в переходе от абсолютных величин мощности к их относительным приращениям. Этот подход предложен в [1], но используются для несколько иной задачи – перспективной оценки стоимости электроэнергии для Европейского оптового рынка.

Результаты моделирования на тестовом множестве (при построении обучающего множества эти 60 точек временного ряда полагались неизвестными и не использовались в обучающей последовательности) приведены в таблице. Таким образом, можно сделать вывод о работоспособности модели при ее соответствующей настройке и обработке входной информации.

Таблица – Относительная погрешность модели при вариации исходных данных

| Модель | Тип входного массива                                      | Ошибка MAPE, % | Максимальная ошибка, % |
|--------|-----------------------------------------------------------|----------------|------------------------|
| 1      | Верифицированный временной ряд                            | 5,17           | 9,58                   |
| 2      | Верифицированный сглаженный ряд                           | 3,52           | 5,96                   |
| 3      | Верифицированный временной ряд в виде приращения мощности | 2,50           | 4,93                   |

**Обсуждение.** В [4] приводятся результаты прогнозирования суточного графика нагрузки с погрешностью менее  $\pm 1\%$ . Вероятно, столь высокая точность прогноза обусловлена особенностями объекта исследования. Режим металлургического предприятия приводит к стабильности графика нагрузки при неизменности технологического процесса. Не ставя под сомнения полученный результат, заметим, что сама модель описана весьма поверхностно. Одного лишь термина «нейросетевое прогнозирование» недостаточно для понимания принципов построения сети.

В [5] приводится более десяти алгоритмов, реализующих нейросетевые методы (большинство из них реализованы программно в Matlab), пригодные к перспективной оценке временного ряда электропотребления. Поэтому модель без указания типа нейронной сети (в частности, сети с нулевой ошибкой) дают максимальную точность на обучающем множестве.

ве, но зачастую не могут использоваться для перспективных оценок параметров), количества нейронов входного и выходного слоев, методики обучения сети (принцип распространения ошибки, количество эпох обучения) не может быть воспроизведена.

В [1] для реализации нейросетевого алгоритма использовано другое программное средство – Python. Говорить об оптимальности Matlab нет оснований, речь идет лишь о работоспособности модели для объекта исследования.

**Заключение.** По результатам работы можно сделать следующие выводы. 1. Подтверждена несостоятельность прогнозирования графика нагрузки методами экстраполяции временного ряда электропотребления (включая автокорреляционные и структурные).

2. Показана принципиальная возможность построения прогнозной модели на основе нейронных сетей. Выбран алгоритм Сугено с программной реализацией в Matlab. Получены оптимальные условия модели – четыре входных и один выходной параметр (с тремя термами для каждой переменной); необходимый объем для обучения сети в один месяц (суточные графики нагрузки) со 100 циклами (эпохами) обучения; функции принадлежности данных (треугольная для входных параметров, линейная – для выходного). 3. Установлено, что определяющее значение для точности прогноза имеет обработка исходных данных. Поэтому необходима их верификация с последующим сглаживанием (а при необходимости и аппроксимацией). 4. Оптимальной является модель при сглаженном временном ряде, представленном не абсолютными значениями электропотребления (мощности), а их относительными приращениями. В этом случае получена средняя погрешность прогноза около 2,5%.

### Список литературы

1. Математическое бюро. Прогнозирование на ОРЭМ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mbureau.ru/> (дата обращения: 28.05.2021).
2. Chuchueva I. «The Three-Headed Dragon: Electricity, Trading, Analysis», «Energo-Info» Journal, No. 6, October 2018, pp 32-47.
3. Жичкин С.В. Краткосрочное прогнозирование суточного электропотребления Нижнетагильского металлургического комбината.// Электрификация металлургических предприятий Сибири. Вып. 12. – Томск: Изд. Томского университета, 2005. – с. 222-228.
4. Кудрин Б.И., Мозгалин А.В. Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов. // Вестник МЭИ. – 2007. – №2. – с. 45-47.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.: Пер. с англ./ – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

## ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ РЕАЛИЗАЦИИ ДАТЧИКА ГОЛОЛЕДНОЙ НАГРУЗКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ

**Гаджибабаев Гаджибуба Ражидинович, к.т.н., доцент  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный аграрный  
университет имени М.М. Джамбулатова», Махачкала  
Рашидханов Арип Таймасханович, ст. преподаватель,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический  
университет», Махачкала**

### **Аннотация**

В работе дан анализ проблемы гололедообразования воздушных высоковольтных линий. Проведен анализ погрешностей предлагаемого способа определения толщины гололедной муфты и веса гололеда по значению затухания высокочастотного (ВЧ) сигнала.

Расчеты погрешностей проведены при рассогласовании нагрузки с волновым сопротивлением линии на 10% и максимальном различии фазового угла между напряжением и током на одном конце контролируемого участка на 5 градусов.

Полученные значения показывают, что при отсутствии гололеда и протяженности контролируемого участка 5 км, погрешность может достигать 100%. При протяженности 50 км эти погрешности снижаются до 6%.

При наличии гололеда и при протяженности участка 5 км погрешности снижаются с 100% до 14%.

**Ключевые слова:** гололед, затухание, высокочастотный сигнал, погрешность, децибел, ток, напряжение

Актуальным является диагностика воздушных высоковольтных линий с целью предупреждения возможных аварий. К ним относится прогнозирование гололедных отложений, в особенности на ранней стадии их возникновения. Последствиями гололедообразования могут быть поломка арматуры воздушных линий и обрывы проводов. Снижается надежность работы релейной защиты и противоаварийной автоматики за счет увеличения затухания высокочастотных сигналов, используемых в их работе. Возможно нарушение работы устройств определения мест повреждений.

Аварии воздушных линий, обусловленные гололедом считаются самыми тяжелыми из-за зимнего бездорожья, мерзлого грунта с возможным обледенением различных участков по трассе линии и они связаны с огромным экономическим ущербом.

Находящиеся в эксплуатации устройства прогнозирования гололеда

призваны произвести раннее обнаружение гололеда на фазных проводах линии с последующей плавкой его усилиями энергоснабжающих организаций.

Нашли применение для прогнозирования гололёдообразования гравитационный, локационный и параметрический методы диагностики.

При гравитационном методе производится непосредственное измерения гололёдной и гололёдно-ветровой нагрузок на провод с последующим сравнением измеренных величин с наперёд заданными значениями пороговых нагрузок.

Локационный метод диагностики определяется генерацией импульсного сигнала в воздушную линию и измерением времени пробега его вдоль провода в прямом и обратном направлении за счет отражения от конца линии либо ВЧ-заградителя.

Реализация инструментальной диагностики осуществляется, закрепляемыми на наклонных участках провода подвесными модулями, в конструкции которых предусмотрены инклинометры (измерителя угла наклона к горизонтали), датчики температуры провода и источники питания.

В известном способе [1] производится прогнозирование гололеда на проводах высоковольтной линии передачей высокочастотного сигнала по линии с измерением затухания его, обусловленного условиями распространения при образовании гололеда. При нарастании массы гололеда увеличивается и затухание высокочастотного сигнала и по этому признаку определяется толщина гололедной муфты на контролируемом участке.

В данном способе измерение затухания ВЧ сигнала производится согласно алгоритму

$$\alpha = 20 \text{Lg} \left( \frac{U_1}{U_2} \right), \quad (1)$$

где  $\alpha$  - коэффициент затухания в децибелах;

$U_1, U_2$  – действующие значения напряжений в начале и конце контролируемого участка линии соответственно.

Особенность реализации данного способа заключается в том, что установленные на опорах высоковольтной линии датчики напряжения  $U_1$  и  $U_2$  необходимо обеспечить источниками питания. Для питания различных устройств, установленных на опорах используются аккумуляторы, заряжаемые солнечными батареями, что являются относительно ненадежными и дорогостоящими устройствами. Питание от высоковольтной линии обходится еще дороже.

В работе предлагается использовать датчики токов, работающие аналогично алгоритму (1), имеющему вид

$$\alpha = 20 \text{Lg} \left( \frac{I_1}{I_2} \right), \quad (2)$$

где  $I_1, I_2$  – действующие значения токов в начале и конце контроли-

руемого участка линии соответственно.

Реализация данного алгоритма возможна с использованием датчиков тока, установленных на фазных проводах линии по концам контролируемого участка.

В [2] приведены аналогичные датчики, реализованные в России и за рубежом, но измеряющие ток промышленной частоты 50 Гц. В нашем случае необходимо измерить ток высокой частоты в диапазон 16 – 1000 кГц, что значительно выше 50 Гц и фильтрация полезного сигнала не составляет трудности. Основным преимуществом данного метода является наличие надежного источника питания в виде рабочего тока линии. Необходимо также подчеркнуть возможность измерения температуры провода, что используется в разных устройствах для предотвращения пережога проводов при плавке гололеда и прогнозирования начала возможного образования гололеда на проводах.

К недостаткам метода можно отнести необходимость отключения линии при монтаже датчиков, хотя на линиях 6 – 10 кВ их устанавливают без отключения линии [2].

Рассмотрим погрешности измерения затухания ВЧ сигнала алгоритмом (2) для оценки толщины гололедной муфты на проводах с возможностью профилактического прогрева или плавки гололеда, аналогично [1].

Для определения затухания ВЧ сигнала, обусловленное гололедом обратимся к известным уравнениям линий с распределенными параметрами

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_2 \operatorname{ch} \gamma x + \left( \frac{\mathbf{U}_2}{Z_c} \right) \operatorname{sh} \gamma x = \mathbf{I}_2 \operatorname{ch}(\alpha + j\beta) x + \left( \frac{\mathbf{U}_2}{Z_c} \right) \operatorname{sh}(\alpha + j\beta) x \quad (3)$$

где,  $\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2, \mathbf{U}_2$  – комплексный ток в начале, ток и напряжение в конце контролируемого участка соответственно;

$\beta$  – коэффициент фазы в радианах на единицу длины;

$\gamma$  – коэффициент распространения на единицу длины –  $\gamma = \alpha + j\beta$

$x$  – протяженность контролируемого участка;

$Z_c$  – волновое сопротивление линии.

Согласно рис.1.3 [3], к примеру, имеем при отсутствии гололеда максимальное значение затухания ВЧ сигнала на частоте 317 кГц,  $\alpha_0 = 0.15$  Дб/км для напряжения линии 110 кВ. Подставляя эти значения в (3) при

$\beta x = \frac{\pi}{2}$  ( $x = 5$  км) имеем при произвольном значении  $\mathbf{I}_2 = 0.5 \operatorname{Exp}\left(\frac{j\pi}{3}\right)$

$$\mathbf{I}_1 = \mathbf{I}_2 \operatorname{ch}(\alpha + j\beta) x + \left( \frac{\mathbf{U}_2}{Z_c} \right) \operatorname{sh}(\alpha + j\beta) x = 0.5 \operatorname{Exp}\left(\frac{j\pi}{3}\right) \operatorname{ch}(0.115 \cdot 0.15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}) + \left( \frac{30}{400} \right) \operatorname{sh}(0.115 \cdot 0.15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}). \quad (4)$$

В (4) коэффициент 0,115 вводится при измерении затухания в дБ/км.

Здесь значение частоты можно вычислить, например из [4]

$$f = \frac{(2n+1)\pi}{2 \cdot x \cdot 0.208 \cdot 10^{-4}}, \text{ Гц,}$$

где  $n$  - целое число и нуль).

При  $n = 20$  выше было приведено

$$f = \frac{(2 \cdot 20 + 1)\pi}{2 \cdot 5 \cdot 0,208 \cdot 10^{-4}} = 317 \text{ кГц. } \left( \beta x = \frac{\pi}{2} \text{ рад.} \right).$$

Из (4) получим

$$20Lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = 20Lg\left\| \frac{I_2 \operatorname{ch}(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{U_2}{Z_c}\right) \operatorname{sh}(\alpha + j\beta)x}{I_2} \right\|.$$

При согласованной нагрузке  $U_2 = I_2 Z_c$  расчетное значение затухания с использованием (4)

$$\begin{aligned} \alpha_p &= 20Lg\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = 20Lg\left\| \frac{I_2 \operatorname{ch}(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{U_2}{Z_c}\right) \operatorname{sh}(\alpha + j\beta)x}{I_2} \right\| = \\ &20Lg\left\| \frac{0,5 \operatorname{Exp}\left(\frac{j\pi}{2}\right) \operatorname{ch}\left(0,115 \cdot 0,15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}\right) + \left(\frac{30}{400}\right) \operatorname{sh}\left(0,115 \cdot 0,15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}\right)}{(0,5 \operatorname{Exp}\left(\frac{j\pi}{2}\right))} \right\| = 0,75 \text{ дБ} \end{aligned} \quad (5)$$

При  $x = 5$  км имеем расчетное значение затухания на 1 км

$$\alpha_{p1} = \frac{\alpha_{p1}}{x} = \frac{0,75}{5} = 0,15 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}.$$

При рассогласовании нагрузки с  $Z_c$  (например, при  $U_2 = 1,1I_2 Z_c$  из (4) получим

$$\begin{aligned} \alpha_p &= 20Lg\left\| \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \right\| = 20Lg\left\| \frac{I_2 \operatorname{ch}(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{1,1U_2}{Z_c}\right) \operatorname{sh}(\alpha + j\beta)x}{I_2} \right\| = \\ &20Lg\left\| \frac{0,5 \operatorname{Exp}\left(\frac{j\pi}{2}\right) \operatorname{ch}\left(0,115 \cdot 0,15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}\right) + \left(\frac{1,1 \cdot 30}{400}\right) \operatorname{sh}\left(0,115 \cdot 0,15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}\right)}{(0,5 \operatorname{Exp}(j\pi/2))} \right\| = 1,51 \text{ дБ} \end{aligned}$$

При рассогласовании нагрузки с  $Z_c$ , при  $U_2/Z_c = 0,9I_2$  из (4) получим

$$\begin{aligned} \alpha_p &= 20Lg\left\| \left(\frac{I_1}{I_2}\right) \right\| = 20Lg\left\| \frac{I_2 \operatorname{ch}(\alpha + j\beta)x + \left(\frac{1,1U_2}{Z_c}\right) \operatorname{sh}(\alpha + j\beta)x}{I_2} \right\| = \\ &20Lg\left\| \frac{0,5 \operatorname{Exp}\left(\frac{j\pi}{2}\right) \operatorname{ch}\left(0,115 \cdot 0,15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}\right) + \left(\frac{1,1 \cdot 30}{400}\right) \operatorname{sh}\left(0,115 \cdot 0,15 \cdot 5 + \frac{j\pi}{2}\right)}{(0,5 \operatorname{Exp}(j\pi/2))} \right\| = 0,09 \text{ дБ} \end{aligned}$$

Вышеполученные значения значительно превышают коэффициент затухания  $\alpha_{px} = 0,75$  дБ, соответствующий согласованной нагрузке.

В таблице 1, 2 и 5 приведены значения  $\alpha_{px}$ , рассчитанные по выражению (5) при изменении  $k$  в соотношении  $\frac{U_2}{Z_c} = kI_2$  ( $k$  – целое число). Получены погрешности расчета  $\gamma$  относительно значения, полученного при согласованной нагрузке. В таблицах 3, 4 приведены погрешности при изменении фазового сдвига между током и напряжением согласно выражению (6). При этом

$$I_2 = 0.5 \text{Exp}\left(\frac{m\pi}{180^\circ}\right) = 0.5 \text{Exp}(\psi_i), \frac{U_2}{Z_c} = I_2(\psi_i), \psi_i = \frac{m\pi}{180^\circ} \quad (6)$$

где,  $m$  – целое число;

$\psi_i$  – начальная фаза тока.

Таблица 1 - Параметры затухания при  $I_2 = 0.5 \text{Exp}\left(\frac{j\pi}{3}\right), \frac{U_2}{Z_c} = \kappa I_2, \alpha_{px} = 0,75 \text{ дБ при } \kappa = 1, x = 5 \text{ км}$

| Параметры затухания | Значения параметров (без гололеда) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\kappa$            | 0,90                               | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1    | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,1  |
| $\alpha_{px}$       | 0,09                               | 0,08 | 0,25 | 0,42 | 0,58 | 0,75 | 0,9  | 1,06 | 1,21 | 1,36 | 1,51 |
| $\gamma(\%)$        | 88                                 | 86   | 66   | 44   | 20   | 0    | 20   | 41   | 61   | 81   | 100  |

Приращение затухания от гололеда на длине 30 км согласно рис. 1,31 [3] -  $\Delta\alpha_p = 22/(30 \text{ км}) = 0,73 \text{ дБ/км}$ . При рассматриваемой длине  $x = 5 \text{ км}$  получим  $\Delta\alpha_{px} = 0,73 \cdot 5 = 3,65 \text{ дБ}$ . С учетом значения таблицы 1-  $\alpha_{px} = 0,75$ , общее затухание при наличии гололеда будет -  $\alpha_{p\text{гол}} \cdot x = \alpha_{px} + \Delta\alpha_{px} = 0,75 + 0,73 \cdot 5 = 4,4 \text{ дБ/км}$ . Расчеты приведены в таблице 5.

При согласованной нагрузке воздушной линии по ВЧ сигналам, погрешности измерения затухания, обусловленные гололедообразованием, измеренные по предлагаемому методу практически отсутствуют. Согласно проведенным расчетам, при рассогласовании нагрузки и волнового сопротивления на  $\pm 10\%$  и отсутствии гололеда (при протяженности контролируемого участка 5 км), погрешность измерения затухания относительно данных с согласованной нагрузкой составляют около 100 % (таблица 1), а при  $x = 50 \text{ км}$  погрешность снижается до 6 %.

Таблица 2 - Параметры затухания при  $I_2 = 0.5 \text{Exp}\left(\frac{j\pi}{3}\right), \frac{U_2}{Z_c} = \kappa I_2, \alpha_{px} = 7,5 \text{ дБ при } \kappa = 1, x = 50 \text{ км}$

| Параметры затухания | Значения параметров (без гололеда) |      |      |      |      |     |      |      |      |      |     |
|---------------------|------------------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|
| $\kappa$            | 0,90                               | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1   | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,1 |
| $\alpha_{px}$       | 6,96                               | 7,07 | 7,18 | 7,28 | 7,39 | 7,5 | 7,6  | 7,7  | 7,8  | 7,9  | 8   |
| $\gamma(\%)$        | 7                                  | 6    | 4    | 3    | 1,5  | 0   | 1,5  | 2,5  | 4    | 5    | 6,5 |

Таблица 3 - Параметры затухания при  $\alpha_{px} = 0,75 \text{ дБ}, x = 5 \text{ км}$

| Параметры затухания | Значения параметров (без гололеда) |      |      |      |     |      |     |      |      |     |      |
|---------------------|------------------------------------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|
| $\kappa$            | 1                                  | 2    | 3    | 4    | 5   | 6    | 7   | 8    | 9    | 10  | 11   |
| $\alpha_{px}$       | 0,05                               | 0,19 | 0,33 | 0,47 | 0,6 | 0,75 | 0,9 | 1,03 | 1,17 | 1,3 | 1,45 |
| $\gamma(\%)$        | 93                                 | 75   | 56   | 37   | 20  | 0    | 33  | 37   | 56   | 73  | 93   |

Таблица 4 - Параметры затухания при  $\alpha_{рх} = 7,5 \text{ дБ}, x = 50 \text{ км}$

| Параметры затухания | Значения параметров (без гололеда) |      |      |      |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------|------------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| к                   | 1                                  | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8    | 9    | 10   | 11   |
| $\alpha_{рх}$ (дБ)  | 7,05                               | 7,14 | 7,23 | 7,31 | 7,4 | 7,5 | 7,6 | 7,67 | 7,76 | 7,85 | 7,95 |
| $\gamma(\%)$        | 6                                  | 5    | 3,6  | 2,5  | 1,3 | 0   | 1,3 | 2,2  | 3,5  | 4,5  | 6    |

Таблица 5 - Параметры затухания при  $I_2 = 0.5 \exp\left(\frac{j\pi}{3}\right), \frac{U_2}{Z_c} = \kappa I_2, \alpha_{рх} = 4,4 \text{ дБ}$  при  $\kappa = 1, x = 5 \text{ км}$

| Параметры затухания | Значения параметров (без гололеда) |      |      |      |      |     |      |      |      |      |     |
|---------------------|------------------------------------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|
| к                   | 0,90                               | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 | 1   | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,1 |
| $\alpha_{рх}$       | 3,78                               | 3,9  | 4,03 | 4,15 | 4,28 | 4,4 | 4,51 | 4,63 | 4,74 | 4,86 | 5   |
| $\gamma(\%)$        | 14                                 | 11   | 8    | 5    | 3    | 0   | 2    | 5    | 8    | 10   | 14  |

При расхождении фазового сдвига между током нагрузки и составляющей  $U_2/Z_c$  на 5 градусов, погрешность расчета возрастает практически до 100% (таблицы 3), а при  $x = 50 \text{ км}$  погрешность снижается до 6%.

При гололеде происходит снижение погрешности при  $x = 5 \text{ км}$  до 14% (таблица 5).

Предлагаемый метод определения затухания, при котором проводится измерение действующих значений токов по концам контролируемого участка линии может быть использован при достаточных протяженностях контролируемого участка, исчисляемых десятками км.

### Список литературы

1. Мустафин Р. Г., Писковацкий Ю. В, Хакимзянов Э.Ф. Способ обнаружения гололеда на проводах воздушных линий электропередачи//Патент России № 2537380. 2015. Бюл. № 1.

2. Дементьев С..С. Интеллектуальная система мониторинга гололёдообразования на воздушных линиях электропередачи: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. - Волгоград, 2019. – 142 с.

3. Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35, 110, 220, 330, 500, 750 кВ. [Текст]: Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007 – 33.060.40.045 – 2010. – Введ. 06.05.2010. – ОАО «ФСК ЕЭС», 2010.– 232 с.

4. Гаджибабаев Г.Р., Гаджибабаев Э.Г. «Способ мониторинга гололедно-ветровых нагрузок воздушных линий электропередач». Патент России №2732037. Опубликовано. 2020 Бюл. № 25,

5. Шкарин Ю.П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи (часть 1 и 2). М., МТФ «Энергопресс». «Энергетик», 2001. 216 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ MATLAB

**Дадабаев Шахбоз Толибджонович, ст. преподаватель  
Худжандский политехнический институт Таджикского технического  
университета им.академика М.С.Осими, г.Худжанд, Таджикистан**

*Аннотация:* В статье разработана компьютерная модель для исследования режимов работы электрооборудования насосной станции. В качестве основного электрооборудования для исследования взят асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Результаты моделирования приведены в виде графиков переходных процессов асинхронного двигателя в абсолютных единицах.

*Ключевые слова:* асинхронный двигатель, насосная установка, компьютерное моделирование, переходные процессы, MATLAB.

Насосные станции служат для перекачки большого количества воды от одной точки к другой с целью обеспечения водой потребителя. Сегодня основными потребителями электроэнергии в насосных станциях являются электродвигатели переменного тока, которые приводят в движение насосных установок. Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором по конструкции считаются самой простой и надежной электрической машиной, однако имеют и недостатки, которых надо детально изучить. Одним из этих недостатков является сложные пусковые режимы, когда пусковые токи могут превышать больше восьми раз от номинала [2]. Эти процессы негативно влияют на состояние изоляции обмоток двигателя и токопроводящих частей пусковой аппаратуры электропривода и всего электрооборудования насосной станции в целом [3]. Как известно, прямой пуск АД допустим в тех случаях, если запуск не приведет провалу напряжения в сети больше 10%, но, как показывает практика, при прямом пуске АД средних и больших мощностей этот показатель превышает допустимого значения. Кроме этого, пусковые токи могут привести к нагреву и износу изоляции обмоток двигателя, что приводит к уменьшению срока его службы [4]. Для устранения этих проблем разработаны ряд устройств для безударного пуска, как устройства плавного пуска (УПП), частотные преобразователи (ПЧ) и т.д. [5]. С целью детального исследования вышеприведенных проблем необходимо провести компьютерное моделирова-

ние АД с использованием программы MATLAB [1, 7, 8].

В качестве объекта исследования принят АД марки 4А315М4 мощностью 200 кВт, которая служит приводом для насосной установки. Синхронная скорость данного двигателя равняется к 1500 об/мин. Разработанная модель для исследования электрооборудования насосной станции приведена на рисунке 1.

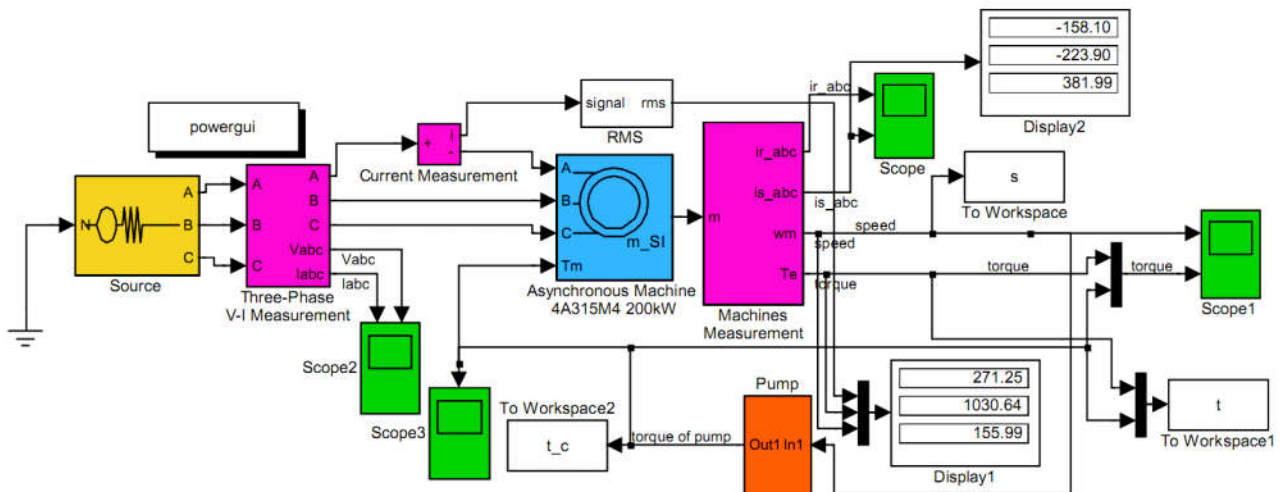


Рис. 1. Компьютерная модель для исследования электрооборудования насосной станции

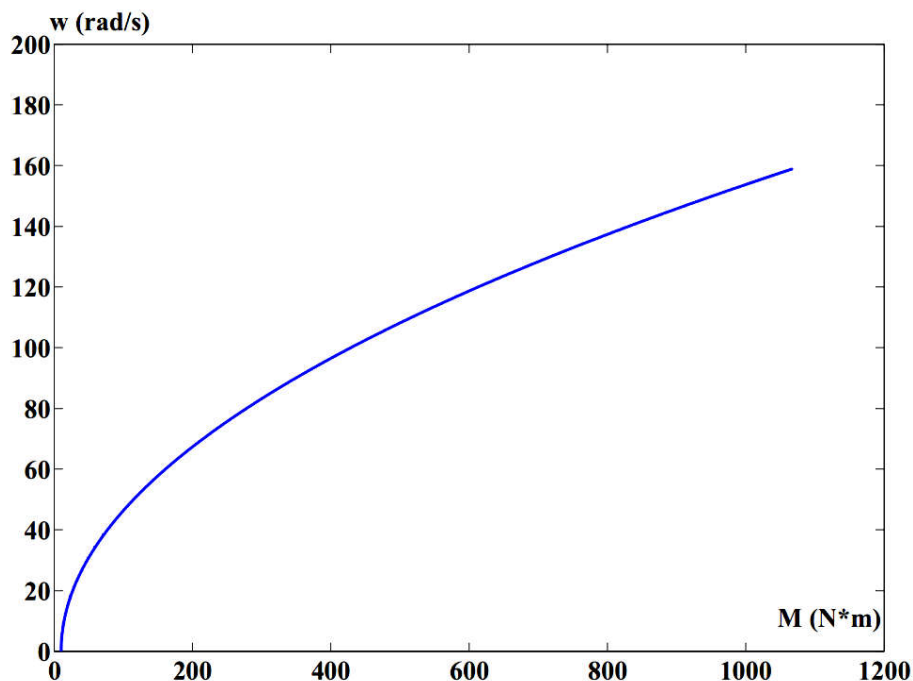
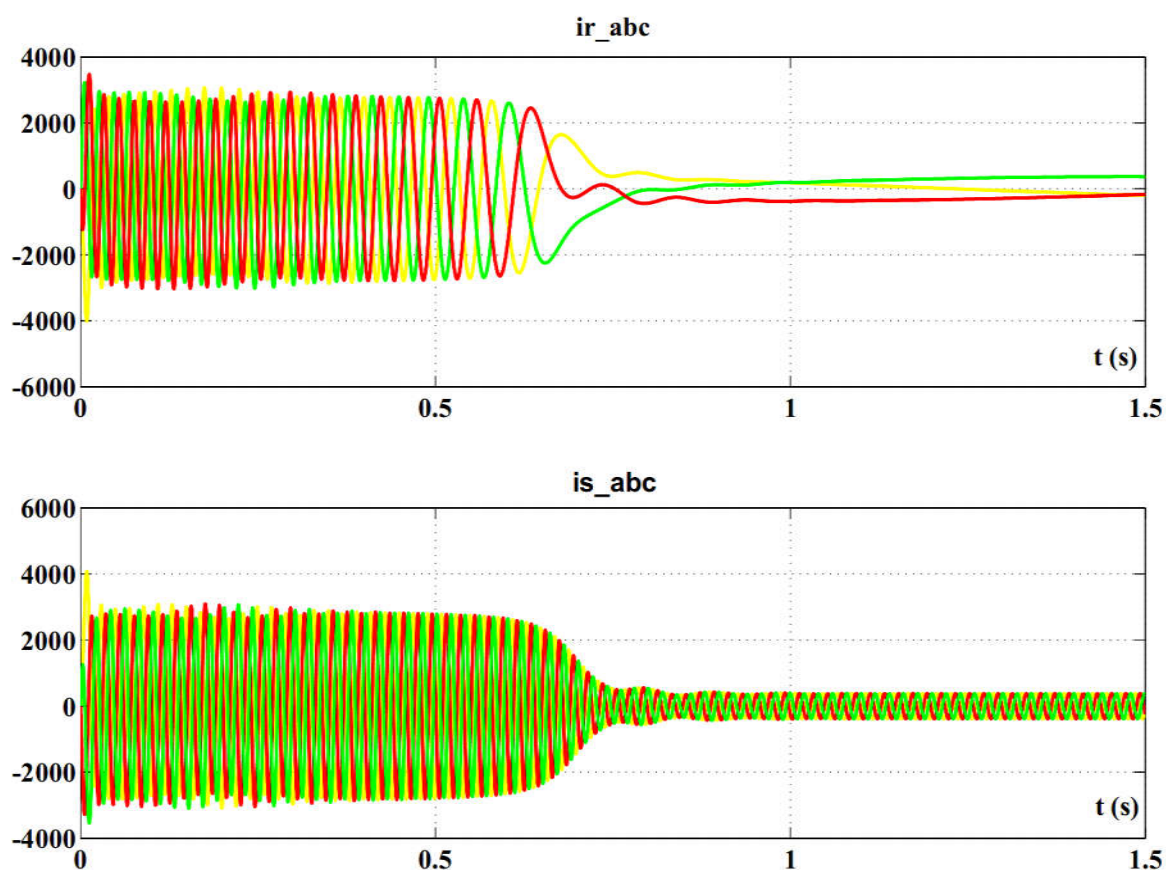


Рис. 2. Характеристика насосной установки

Компьютерная модель (Рис. 1) разработана в системе MATLAB элементами библиотеки SimPowerSystem. Как видно (Рис. 1), основные эле-

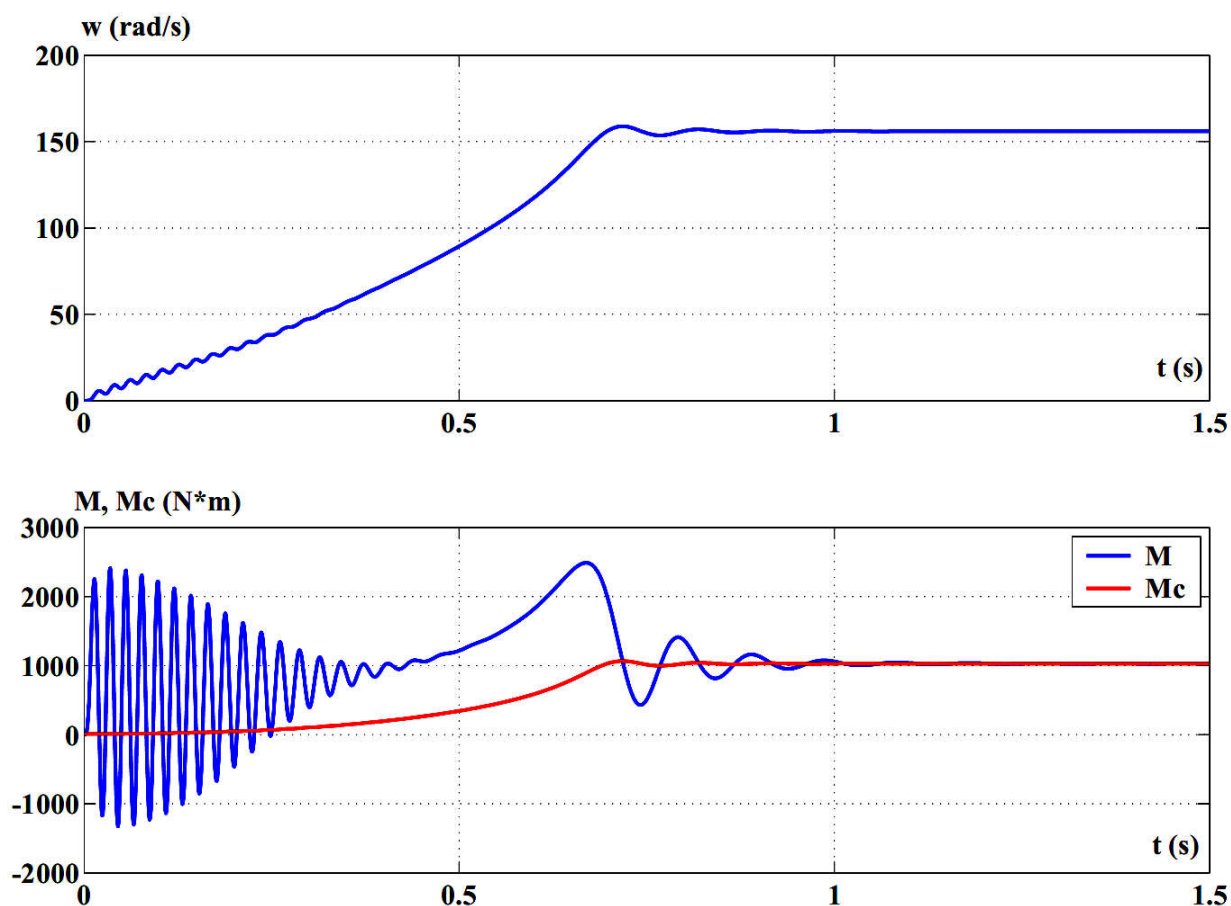
менты модели являются источник питания и АД марки 4А315М4. АД марки 4А315М4 имеет номинальный ток 382 А, но при пуске может достигать более 2,5 кА. В модели (Рис. 1) АД служит для приведения движения насосной установки, которая имеет вентиляторный характер нагрузки [5, 6]. В модели насосная установка приведена в виде subsystemы и обозначена Pump. Полученная характеристика насоса в ходе моделирования приведена на рис. 2.

Рисунок 2 показывает, что механическая характеристика насоса имеет вентиляторный характер нагрузки, и такой характер считается весьма трудным для электропривода, так как при увеличении скорости заметно увеличивается момент механизма. На рисунке 3 приведены графики изменения токов и напряжения АД марки 4А315М4 при пуске.



**Рис. 3. Графики изменения токов и напряжения АД при пуске**

Одним из основных параметров любого электропривода является его скорость и электромагнитный момент создаваемой на валу двигателя (см. на рис. 4).



**Рис. 4. Графики изменения угловой скорости и электромагнитного момента АД**

По рисункам 3 и 4 видно, что при пуске АД, электромагнитный момент меняется знакопеременно, а ток статора увеличился более чем в семь раз.

### **Выводы**

Разработанная модель позволил более детально исследовать переходные процессы электрооборудования насосной станции. Модель является универсальной и можно использовать для исследования других вопросов, как исследования электромагнитной совместимости, влияния электрооборудования насосной станции на систему электроснабжения, определения потерь мощности в АД, нагрева обмоток АД, оценки надежности или устойчивости электрических частей станции и т.д.

## Список литературы

1. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: КОРОНА принт, – 2003. - 256 с.
2. Дадабаев Ш.Т. Исследование эффективности пуска высоковольтных синхронных электродвигателей при помощи инвертора тока. Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2018. № 10. С. 618-621.
3. Дадабаев Ш.Т. Компьютерное моделирование нагрева синхронных электроприводов насосных агрегатов при различных способах пуска. В сборнике: Перспективные информационные технологии (ПИТ 2017), труды Международной научно-технической конференции. 2017. С. 76-80.
4. Дадабаев Ш.Т. Моделирование режимов пуска высоковольтного синхронного электропривода с устройством плавного пуска. В сборнике: САПР и моделирование в современной электронике. Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции. Под ред. Л.А. Потапова, А.Ю. Дракина. 2017. С. 91-94.
5. Дадабаев Ш.Т. Обзор и оценка способов управления насосными установками. Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2013. №12. С. 28-30.
6. Ковач К. П. Переходные процессы в машинах переменного тока/ / К. П. Ковач, И. Рац; пер. с нем. – М. Л.: Госэнергоиздат, 1963. - 735 с.
7. Терёхин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 320 с.
8. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPowerSystem и Simulink.–М.: ДМК Пресс, 2007. - 288 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ И ОТРАСЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ В ЦЕЛОМ

**Мансуров Сайгидула Магомедович, студент,  
научный руководитель к.ф.-м.н.Магомедова Елена Сергеевна,  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный университет»**

*Аннотация:* современные задачи энергетики требуют не только традиционных, но и принципиально новых математических методов их решения. С учетом специфики неопределенности информации, необходимой для решения энергетических задач, разработана система математических методов, применяемых для решения новейших задач в энергетике.

*Ключевые слова:* математические методы, информация, многокритериальность, математическая модель .

На протяжении последних десятилетий ведется реструктуризация отрасли электроэнергетики, сопровождающаяся переходом от единой государственной формы собственности к сложной системе акционерных обществ, держателями акций которых являются государство, местные органы власти, трудовые коллективы, население, коммерческие банки и другие финансово-экономические структуры.

Все процессы реструктуризации отрасли энергетики привели к существенному уменьшению участия государства в процессе управления развитием данной отрасли, то есть государство прекратило выполнять директивные функции и только разрабатывает общие направления политики государства по развитию отрасли.

Появление большого количества собственников с собственными интересами и источниками финансирования привело к существенному изменению структуры основных задач энергетики. То есть, необходимы новые методические подходы к решению этих задач, математические модели и соответствующие математические методы решения

Поскольку задачи развития энергетики весьма разнообразны, а исходные данные для их решения в большинстве случаев не подчиняются теории вероятности, та, кроме того, они многокритериальны, то для их решения необходимо применять методы теории игр, принятия корпоративных решений, многокритериальные методы анализа решений и т.д.

Но необходимо при этом понимать, что разработанные ранее математические модели и методы не утратили своей значимости и по-прежнему актуальны, только в некоторых случаях необходимо для них делать некоторые дополнения и расширения.

Еще одной специфической особенностью решений энергетических задач является то, что все они в условиях рыночной экономики направлены в целом на получение информации о наиболее рациональных направлениях развития (рациональные технологии производства и передачи электроэнергии, наиболее эффективные виды энергоресурсов, требуемые объемы производства и платежеспособный спрос на электроэнергию и др.) и о перспективных условиях функционирования электроэнергетики (уровни цен на топливо для электростанций и цен на электроэнергию и др.) и, соответственно, могут иметь только рекомендательный характер, без разработки стратегических директив. После получения всех видов информации необходимо осуществить ее дифференциацию в территориальном и временном аспектах.

На основании всего вышеизложенного можно составить следующую многоуровневую систему математических моделей, используемых для разработки Схемы и программы развития ЕЭС (электроэнергетики субъекта РФ), представленную на рис.1.

Помимо, обозначенных задач, на верхних уровнях данной системы также формируются решения в сфере энергетики, направленные на реализацию рациональных направлений развития электроэнергетики.

На верхних уровнях рассматриваемой схемы формируются также решения в сфере институциональной организации функционирования и развития электроэнергетики (в частности, организация рыночной среды, нормативные требования к энергетическому оборудованию), налоговой и финансовой политики государства и др., способствующие реализации рациональных направлений развития отрасли электроэнергетики в целом.

Получаемая в результате обозначенных выше задач информация необходима для принятия конкретных решений энергетическими предприятиями о возможностях практической реализации своих инвестиционных проектов, причем эта информация должна быть максимально раскрыта для всех заинтересованных субъектов.

Используемые для решения задач по развитию электроэнергетики в этой схеме математические модели и методы принятия решений, информационное обеспечение для их практического применения в современных условиях требуют своего развития.

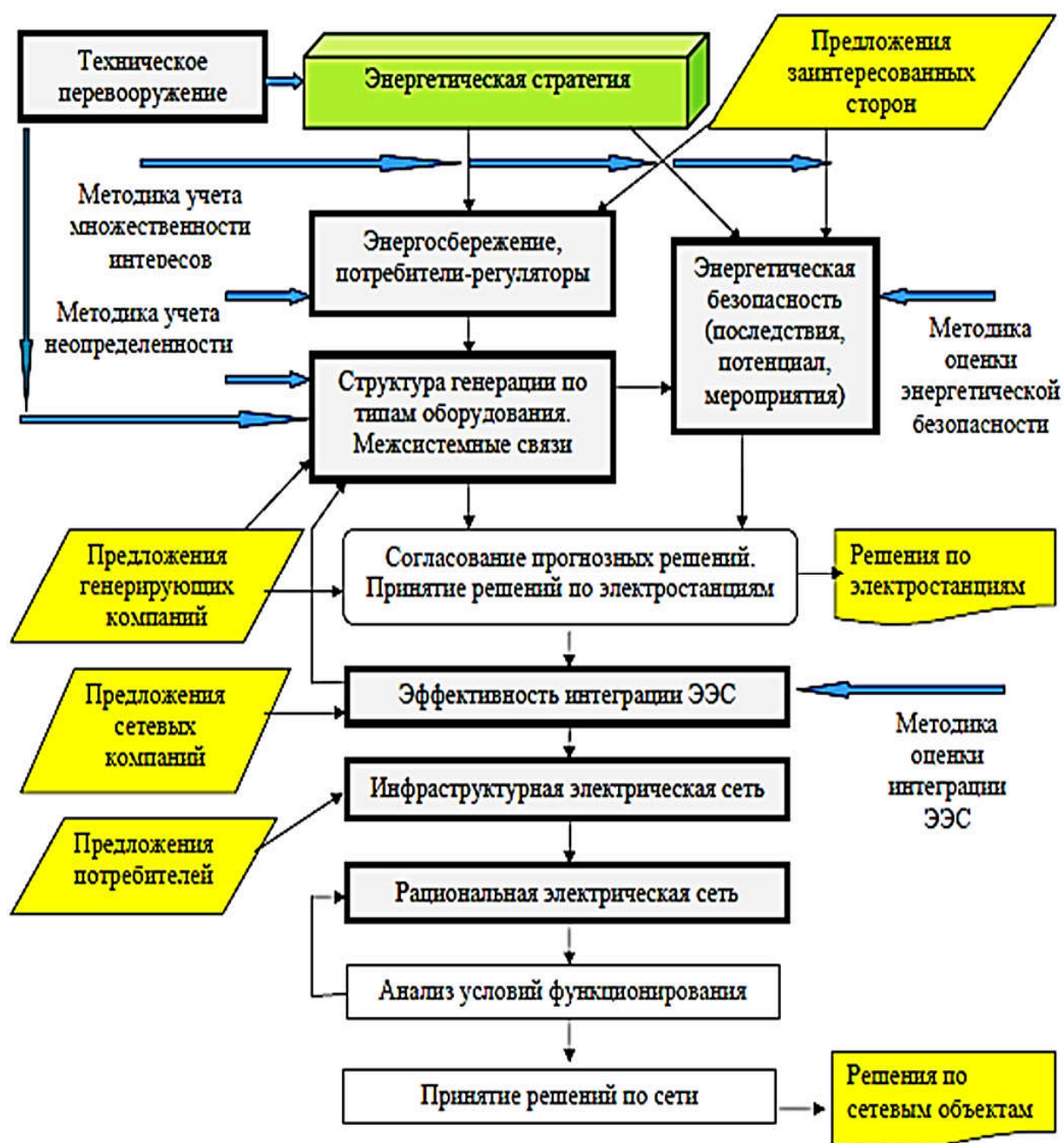


Рис. 1. Система математических моделей для разработки Схемы и программы развития ЕЭС (электроэнергетики субъекта РФ)

В части математического моделирования и методов обоснования и принятия решений представляются требующими развития следующие направления: модели и методы учета неопределенности информации при принятии решений, учета и согласования несовпадающих интересов заинтересованных сторон, рационального стимулирования энергосберегающих мероприятий, рациональных масштабов технического перевооружения в электроэнергетике, потребных уровней и эффективных мероприятий

обеспечения энергетической безопасности страны и регионов, учета инфраструктурной роли электрических сетей при их развитии.

Приведенная на рисунке система моделей может использоваться в процессе разработки Схем и программ развития ЕЭС России и электроэнергетики субъектов РФ.

Этим работам предшествует разработка соответствующей Энергетической стратегии (страны или регионов), где определяются перспективные уровни электропотребления, основные направления развития структуры генерирующих мощностей (по видам энергоресурсов и типам электростанций) и межсистемного транспорта электроэнергии, условия топливоснабжения электростанций (цены и предельные объемы топлива по его видам) и др. показатели.

Процесс разработки Схем и программ развития с использованием приведенной системы моделей необходимо проводить с учетом предложений всех заинтересованных сторон.

### Список литературы

1. Интегральные модели для разработки стратегии технического перевооружения генерирующих мощностей. *Виктор Васильевич Труфанов, Анатолий Соломонович Апарцин, Евгения Владимировна Маркова, Инна Владимировна Сидлер, Viktor V. TRUFANOV, Anatolii S. APARTSIN, Yevgeniya V. MARKOVA, Inna V. SIDLER. Журнал «Электричество, №3, 2017. <https://old-etr1880.mpei.ru/index.php/electricity/article/view/866> (свободный доступ).*

2. Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М. Моделирование развивающихся систем. — М.: Наука, 1983, 350 с.

3. Парцин А.С., Караулова И.В., Маркова Е.В., Труфанов В.В. Применение интегральных уравнений Вольтерра для моделирования стратегий технического перевооружения электроэнергетики. — *Электричество*, 2005, № 10, с. 69—75.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Назаров Бобожон Исматиллоевич, докторант РНД 2-го года обучения.  
Джураев Дадахон Собирджонович, к.т.н., ст. преподаватель.**

**Аннотация:** В данной статье приведены сведения о целях создания и преимуществах автоматизированной системы управления в гидроэнергетике. Представлена информация о конфигурации и структуре схемы автоматизированной системы управления и контроля на гидроэлектростанциях.

**Ключевые слова:** автоматизированная система управления, гидроэнергетика, электроэнергия, микропроцессор, гидроагрегат.

Автоматизированная система управления (АСУ) – это система, в которой для получения и обработки информации, а также для управления, используются различные автоматические устройства, но главные функции управления выполняются человеком. Термин «автоматизированная» всегда предполагает обязательное и основное участие людей. Часто, такую систему называют человеко-машинной системой. АСУ является важнейшим техническим средством по оптимизации всех технологических и экономических процессов в энергетике. Такие системы существенно повышают эффективность управления, от которого прямо зависит эффективность экономическая, поскольку управление содержит в себе обе важные части – техническую и экономическую.

Гидроэнергетика является одним из важных источников энергии как в повседневной жизни человека, так и в различных отраслях промышленности, которые можно улучшить с внедрением новых современных технологий. На сегодняшний день, технический уровень систем контроля и учета на подавляющем большинстве гидроэлектростанций не в состоянии удовлетворить современные требования к качеству технических средств, их объему и функциональности. Уровень автоматизации напрямую влияет как на качество эксплуатации оборудования, так и на экономическую эффективность производства электроэнергии и, в конечном итоге, на конкурентоспособность гидроэлектростанции на рынке энергоснабжения, значимость чего в условиях реформирования отрасли трудно переоценить.

Гидроэнергетика в настоящее время обеспечивает приблизительно 16,8% всей выработки электроэнергии в мире. Согласно текущим прогнозам, растущее осознание глобального потепления и возрастающая потреб-

ность в услугах по балансировке энергосетей также приведут к дальнейшему росту спроса на гидроэлектроэнергию. До настоящего времени было освоено только около 37,7% глобальных гидроэнергетических ресурсов, а энергия, вырабатываемая гидроэлектростанциями, является наилучше зарекомендовавшей себя и наиболее развитой формой энергии, получаемой из возобновляемых источников.

Системы управления гидроагрегатами, введенные в эксплуатацию 30 – 40 лет тому назад, являются на сегодня морально и физически устаревшими. Такие системы не могут быть интегрированы в единую АСУ ТП электростанции.

Комплекс АСУ ТП ГЭС предназначен для использования как на реконструируемых, так и на вновь возводимых объектах гидроэнергетики. Система автоматизированного управления (САУ) масштаба станции является единым комплексом высокой степени интеграции, объединяющим в себя все подсистемы выработки и распределения электроэнергии станции, и позволяет осуществлять управление всеми процессами из единого центра.

Введение данного комплекса повышает надежность и эффективность работы оборудования, а также уменьшает возможность ошибочных действий персонала и улучшает условия труда. САУ предназначена для автоматического, местного и дистанционного управления, регулирования, защиты и контроля состояния оборудования блока в нормальных, аварийных и переходных режимах работы [1].

Цели создания системы:

- замена существующих устаревших систем автоматики ГА на микропроцессорные устройства управления и контроля;
- расширение функциональных возможностей и повышение качества автоматического управления ГА ГЭС;
- повышение качества контроля за работой оборудования ГА и систем управления;
- повышение надежности функционирования систем автоматики гидроагрегатов;
- улучшение условий труда дежурного и эксплуатационного персонала;
- улучшение условий обслуживания и ремонта систем управления, снижение трудозатрат при проведении регламентных и ремонтно-восстановительных работ;
- предоставление возможности внесения изменений в функции и алгоритмы систем управления и контроля без изменения аппаратных средств;
- создание базы для построения интегрированной многоуровневой

системы управления.

Все гидроагрегаты электрически защищены, напряжение генератора регулируется, гидроагрегаты синхронизированы с частотой сети. В течение почти века это осуществлялось с помощью специальных механических и электромеханических устройств. Однако, за последние десятилетия все системы управления, регулирования и автоматизации для гидроэлектростанций были полностью преобразованы. Сведение различных устройств управления и регулирования на одну общую платформу программного и аппаратного обеспечения является следующим логическим шагом в этом преобразовании.

Управление и контроль основным технологическим и вспомогательным оборудованием ГЭС осуществляется с помощью микропроцессорной автоматизированной системы управления, современных электронных устройств, релейно-коммутационных и аналоговых устройств управления, автоматики, защиты, сигнализации и измерений «рисунок» [2].

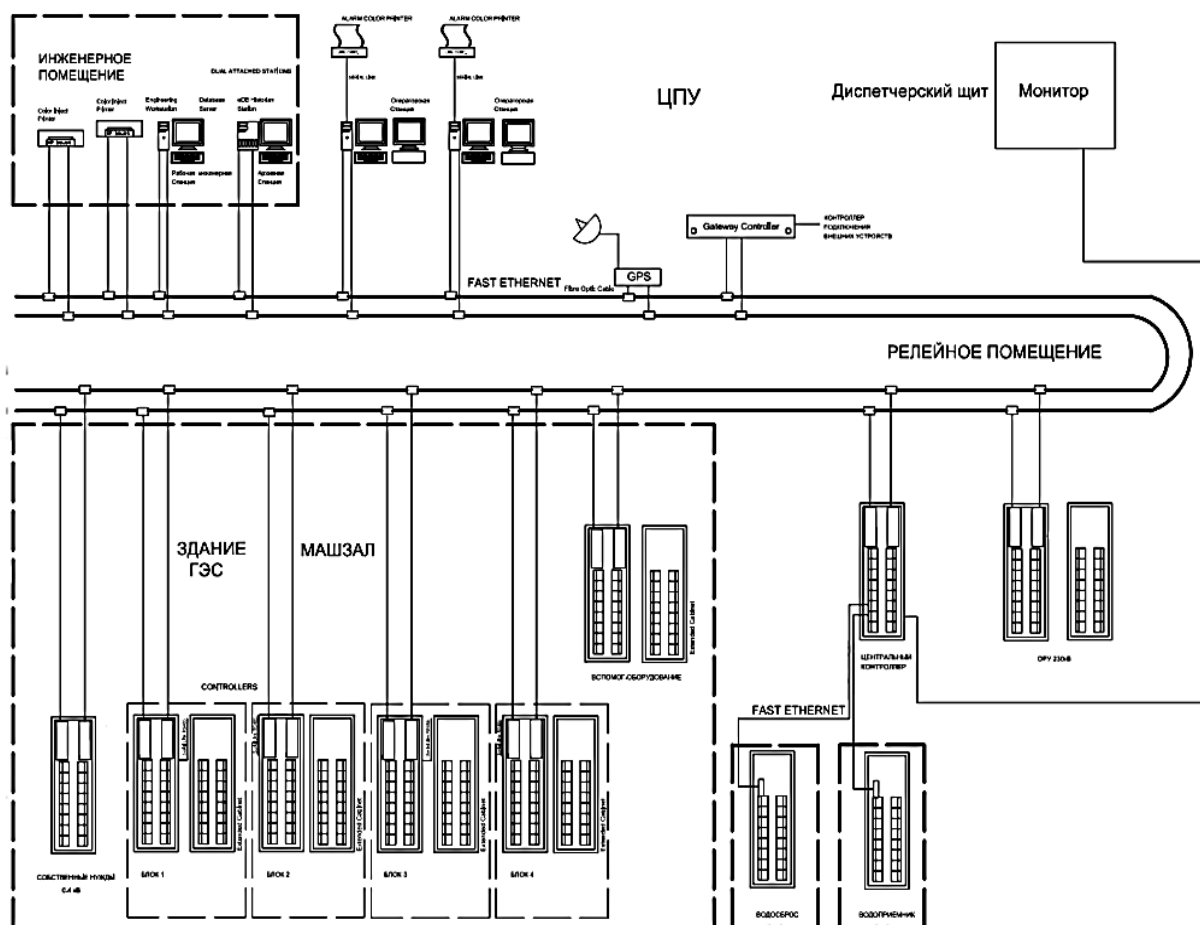


Рисунок – Схема расположения АСУ ТП ГЭС.

Конфигурация и структурная схема автоматизированной системы

управления и контроля ГЭС состоит из:

- высокоскоростной и свободной от наводок в среде предприятия сети Ethernet TCP/IP, обеспечивающей применение технологии коммутируемых сетей, дублированной кольцевой топологией с электрическими или оптическими каналами связи;
- универсального управляющего модуля — программируемого логического контроллера, основанного на архитектуре INTEL Pentium и PCI и выполняющего функции сбора, обработки и передачи информации, а также автоматического управления;
- устройств удаленного ввода-вывода (станций распределенного ввода-вывода);
- операторских станций (автоматизированных рабочих мест операторов), рабочих станций, инженерных станций, архивной станции, работающей с операционной системой реального времени и периферийной аппаратурой — мониторами, принтерами, диспетчерского щита;
- контроллера для подключения к диспетчерскому пункту.

Аппаратное дублирование (резервирование) имеют магистрали Fast Ethernet, CPU-контроллеры, внутренние источники энергии, распределяющая сеть питания, операторские станции [3].

Структура системы предусматривает возможность дальнейшего наращивания и расширения состава решаемых задач и выполняемых функций, а также может варьироваться применительно к особенностям технологического оборудования и составу уже введенных в эксплуатацию подсистем конкретного объекта.

Вывод. У каждой гидроэлектростанции есть собственная определенная стратегия работы, основанная на ее возрасте, контрактах энергетического рынка и концепциях работы с участием и без участия человека. Сегодня требуется ориентированный на решение подход к автоматизации, гарантирующий безопасную работу станции, повышающий ее общую эффективность, снижающий операционные затраты и продлевающий ее срок службы.

### **Список литературы**

1. Саркисян Р.Е., Мезин С.В. Применение метода анализа иерархий к оцениванию эффективности АСУ ТП ТЭС и ГЭС. Метод, пособие. – М.: Изд. МЭИ, 2004.
2. <http://www.elnavf.ru/solutions>
3. Плетнев Г.П. Автоматизированные системы управления объектами гидроэлектростанций. – М.: Изд. МЭИ, 2005.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ERP-СИСТЕМ В ЭНЕРГЕТИКЕ

**Дубровина Александра Викторовна,**

студентка третьего курса специальности среднего профессионального образования 09.02.04 «Информационные системы (по отраслям)»

**Джамбеков Азамат Матифулаевич,**

научный руководитель, к.т.н., преподаватель отделения «Связь и телекоммуникации» факультета среднего профессионального образования

Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань

**Аннотация.** В настоящее время почти все современные западные системы управления производством основаны на концепции ERP и соответствуют ее рекомендациям. Эти рекомендации производятся американской общественной организацией APICS, которая объединяет производителей, консультантов по управлению производством, а также разработчиков программного обеспечения. Предприятия мировой энергетики требуют наличия в используемых ERP-системах модуля техобслуживания и ремонта. В энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве России действуют около 50 компаний-интеграторов ERP-проектов. Этими компаниями в данной отрасли реализовано в целом 140 внедрений.

**Ключевые слова.** ERP-система, единое хранилище данных, интеграция информационных систем, системы управления производством, энергетические компании.

### Основные понятия

В последнее время в России наблюдается постоянный интерес к компьютерным интегрированным системам, которые могут обеспечить эффективное управление предприятием. Одним из таких является ERP.

ERP (сокр. от Enterprise Resource Planning означает "планирование ресурсов предприятия") – это организационная стратегия интеграции производства и бизнеса, управления рабочими ресурсами, финансового управления и управления активами, ориентированная на постоянную балансировку и оптимизацию ресурсов предприятия с помощью специализированного интегрированного пакета прикладного программного обеспечения, обеспечивающего общую модель данных и процессов для всех облас-

тей бизнеса. Это программное обеспечение для автоматизации бизнес-процессов компании. Системы ERP работают на одной базе данных и помогают в более эффективном управлении. В основе ERP лежит принцип создания единого хранилища данных, содержащего всю бизнес-информацию, собранную организацией в процессе ведения бизнеса, включая финансовую информацию, данные, связанные с производством, управление персоналом или любые другие детали. Это устраняет необходимость передачи данных из системы в систему. Кроме того, каждая информация, которую имеет эта организация, становится одновременно доступной всем работникам, имеющим соответствующие полномочия [1].

Развитие программных решений позволяет удовлетворить современные требования, заключающиеся в повышении оперативности, аналитичности и достоверности учета, интеграции информационных систем как по вертикали, так и по горизонтали, оперативного взаимодействия со смежными системами, повышение объема и скорости обрабатываемой информации, обеспечение защиты информации. Стандарт ERP позволил объединить все ресурсы предприятия и повысить эффективность управления ими.

### **Подход ERP в энергетике**

В настоящее время почти все современные западные системы управления производством основаны на концепции ERP и соответствуют ее рекомендациям. Эти рекомендации производятся американской общественной организацией APICS, которая объединяет производителей, консультантов по управлению производством, а также разработчиков программного обеспечения. К сожалению, большинство современных российских систем управления производством даже не соответствуют требованиям MRP, не говоря уже о других, более сложных концепциях [2].

Энергетические транспортные предприятия, а также энергетические компании имеют дорогостоящие базовые фонды (ЛЭП, подстанции, теплотрассы, тепловые пункты и т.д.) и, следовательно, подразделение управления основными фондами также присутствует в системе ERP сетевой компании и выполняет функции аналогичной функциональности для энергетической компании.

Автоматизация учета энергии (в интеграции с АСКУЭ – автоматизированной системой комплексного учета энергии) предназначена для повышения работоспособности компании. Блок учета энергии, в частности, включает в себя такие функции, как учет межсоединений, учет расчетных

схем границ баланса, учет измерительных комплексов и показаний, расчет передаваемой электроэнергии, расчет потерь при передаче, формирование балансовых отчетов и т. д.

Управление продажами включает, в частности, поддержание базы контрактов на передачу электроэнергии и тепла, расчет тарифов на передачу электроэнергии и тепла, управление дебиторской задолженностью и т. д.

Блок управления продажами, по сути, представляет собой полностью функциональную систему расчета, в которой реализуются процессы управления взаимоотношениями с абонентами, ведения договоров энергоснабжения, расчета фактической катастрофы и выставления счетов, учета полученных платежей, работы с дебиторской задолженностью и т.д. [3]

Российские фирмы стремятся следовать и развивать американский стиль менеджмента и американскую культуру, внедряя, в частности, системы класса ERP, не перестраивая системы мотивации и организационного развития. Однако российские компании остаются информационно закрытыми не только для внешних партнеров, но и для внутренних, что не допустимо при внедрении ни толкающих, ни тянущих концепций. Следует также учитывать и тот факт, что основной тенденцией в развитии комплексных систем управления предприятием является объединение сильных сторон толкающих (описание и четкая регламентация бизнес-процессов) и тянущих концепций (гибкость, адаптивность, постоянное улучшение и развитие процессов компании). Таким образом, появляется возможность получать не только объективную и оперативную картину бизнес-процессов, но и заняться улучшением существующего положения дел [4].

### **Использование ERP-систем в энергетике**

Предприятия мировой энергетики требуют наличия в используемых ERP-системах модуля техобслуживания и ремонта. Реализация данного модуля может быть осуществлена либо в качестве отдельной EAM (Enterprise Asset Management)-системы, либо включена в состав единой ERP-системы. С учетом мирового рынка коммунального хозяйства и теплоэнергетики можно утверждать, что больше половины рынка ERP-систем отводится на энергетику. В энергетике ERP-система с модулем EAM рассматривается как профильная.

Основными производителями ERP-систем, имеющими в составе развитые модули техобслуживания и ремонта, являются:

Lawson Software;  
Oracle;  
IFS;  
Mincom;  
SAP.

Лидером на мировом энергетическом рынке по числу ERP-клиентов является Oracle. Разрабатываемые программные продукты должны отвечать минимальному набору требований к функциональности, включая управление отношениями с клиентами, управление доходами, управление продукцией и управление сервисными услугами.

В целом можно судить о том, что рынок ERP-систем в энергетике достаточно зрелый и насыщенный различными решениями. Активное использование ERP-систем в ряде развивающихся стран способствует развитию мирового энергетического рынка.

На российском рынке ERP-систем представлены следующие разработчики:

IFS;  
«1С»;  
Microsoft;  
Infor;  
SAP;  
Oracle;  
«Галактика»;  
«Бизнес Технологии»;  
«Компас»;  
«ИНФОСОФТ»;  
«МираксСофт»;  
«Компьютер НПО»;  
«Парус».

В энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве России действуют около 50 компаний-интеграторов ERP-проектов. Этими компаниями в данной отрасли реализовано в целом 140 внедрений. К лидерам по числу внедрений относятся компании: OXS, Сайнер и Инфософт. От общего количества внедрений данными компаниями выполнено около 30 % объема [5].

Доля каждого из основных интеграторов ERP-систем в российской энергетике и ЖКХ представлена на рис.1.

В России крупнейшим ERP-интегратором в энергетике и ЖКХ явля-

ется компания «Сайнер», на счету которой реализовано 15 ERP-проектов. Данная компания занимается построением корпоративных информационных систем на основе платформы SAP R3 и разработкой соответствующих отраслевых решений.

Второе место по числу реализованных ERP-проектов в области ЖКХ и энергетики разделили компании «Инфософт» и «OXS», реализовавшие по 13 проектов.

Компания «OXS» занимается внедрением ERP-систем на базе mySAP ERP и Microsoft Dynamics, имеет отраслевое решение на базе Microsoft Dynamics AX [5].

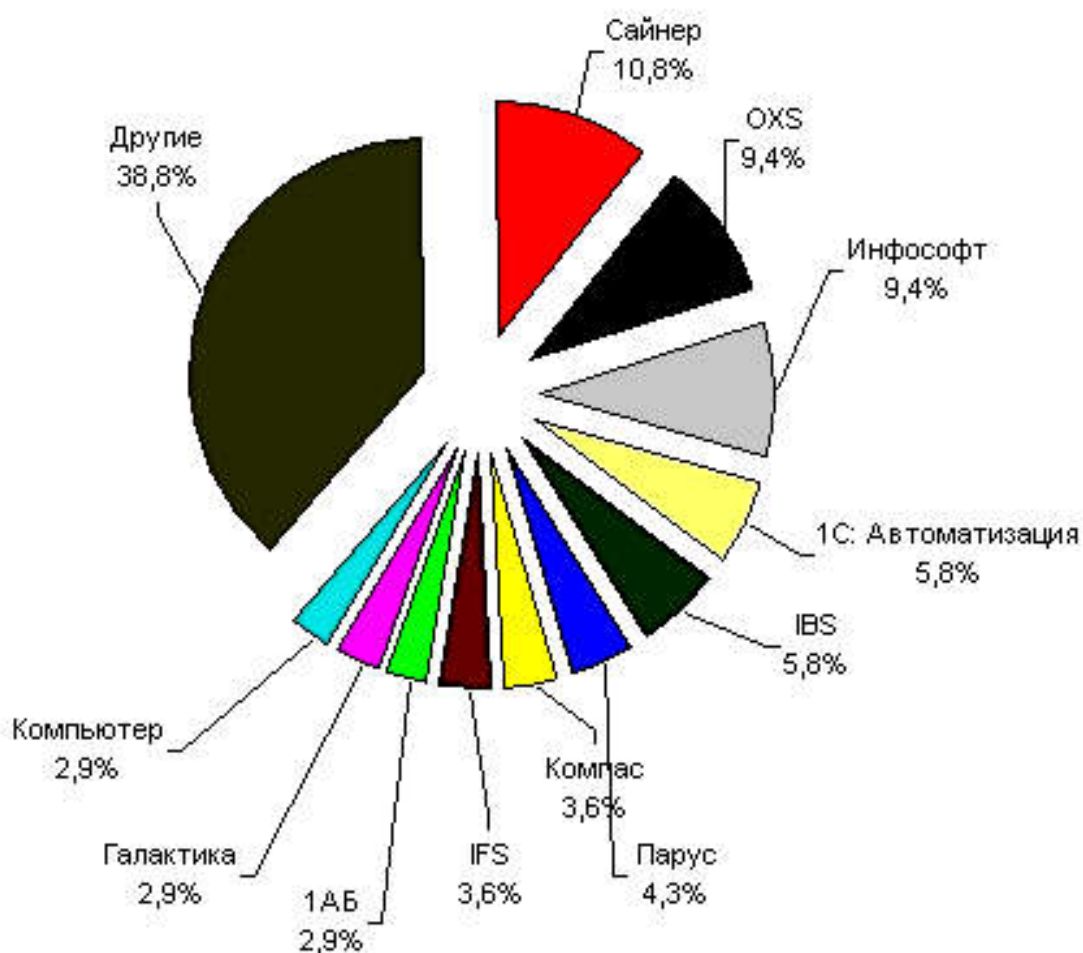


Рисунок 1 – Ключевые игроки российского энергетического рынка ERP

Компания «Инфософт» занимается построением ERP-систем на основе платформы КИС "Флагман".

Количество проектов, реализованных каждым из остальных основных

ERP-интеграторов в российской энергетике и ЖКХ, составляет менее 10.

Третье место по числу реализованных ERP-проектов в области ЖКХ и энергетики разделили компании «IBS» и «1С: Автоматизация», реализовавшие по 8 проектов.

### Список литературы

1. Современные методы управления ресурсами предприятия / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.fa.ru/org/dpo/vsgu/Documents/uslugi/05/5.18.2\\_лекции.pdf](http://www.fa.ru/org/dpo/vsgu/Documents/uslugi/05/5.18.2_лекции.pdf) (дата обращения: 06.11.2021).
2. Современные системы управления предприятием / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://compress.ru/article.aspx?id=11760> (дата обращения: 06.11.2021).
3. В чем преимущество использования ERP-систем для энергетиков и ЖКХ? / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://integral-russia.ru/2016/10/10/v-chem-preimushhestvo-ispolzovaniya-erp-sistem-dlya-energetikov-i-zhkh/> (дата обращения: 06.11.2021).
4. Нехода Е.В. Комплексные системы управления предприятием: концептуальные подходы и тенденции развития // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 3(7). С. 48-54. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnye-sistemy-upravleniya-predpriyatiem-kontseptualnye-podhody-i-tendentsii-razvitiya> (дата обращения: 06.11.21).
5. Крупнейшие ERP-интеграторы в российской энергетике и ЖКХ / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.erp-online.ru/phparticles/show\\_news\\_one.php?n\\_id=505](http://www.erp-online.ru/phparticles/show_news_one.php?n_id=505) (дата обращения: 06.11.2021).

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРА И АРКТИКИ

Местников Николай Петрович, аспирант; ассистент<sup>1,2</sup>

Альзаккар Ахмад Мухаммед-Насер, аспирант<sup>3</sup>

Васильев Павел Филиппович, к.т.н., и.о. заведующего кафедрой<sup>1,2</sup>

ФГАОУ ВО «СВФУ им. М.К. Аммосова», г. Якутск, Россия

ФГБУН НИЦ «ИФТПС СО РАН», г. Якутск, Россия

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Россия

**Аннотация:** Статья посвящена вопросам разработки математической программы вычисления рабочих параметров функционирования объектов гелиоэнергетики, а именно солнечных электростанций на территории Севера и Арктики в том числе Республики Саха (Якутия). Кроме того, результатом данной статьи является полностью разработанная математическая программа расчет параметров солнечной электростанции

**Ключевые слова:** математическое моделирование, фотоэлектрическая солнечная установка, EPEVER, Север и Арктики

В настоящий момент направление «Гелиоэнергетика» развивается высокими темпами в Российской Федерации. Например, на территории Республики Саха (Якутия) активно функционируют более 20 солнечных электростанций с удельными мощностями от 10 кВт до 1 МВт, которые находятся на балансе энергетического предприятия АО «Сахаэнерго».

Внедрение вышеуказанных объектов гелиоэнергетики обосновывается тем, что филиалы энергетического предприятия размещены в зоне действия децентрализованной системы электроснабжения, а именно на Северном энергетическом районе Якутии, где генерация электроэнергии производится, как правило, посредством применения дизель-генераторных и газотурбинных установок малой и средней мощности. Обеспечение объектов автономной генерации Северного энергетического района Якутии комплектующими и горюче-смазочными материалами производится с помощью речной навигации по направлению: Усть-Кут (Иркутская область) → Якутск (Якутия) → Тикси (Якутия) → устья рек Оленек, Лена, Яна, Индигирка и Колыма. В этой связи срок перевозки составляет порядка 2,5 лет, что значительно увеличивает удельную стоимость перевозимых материалов до 250% [1-3].

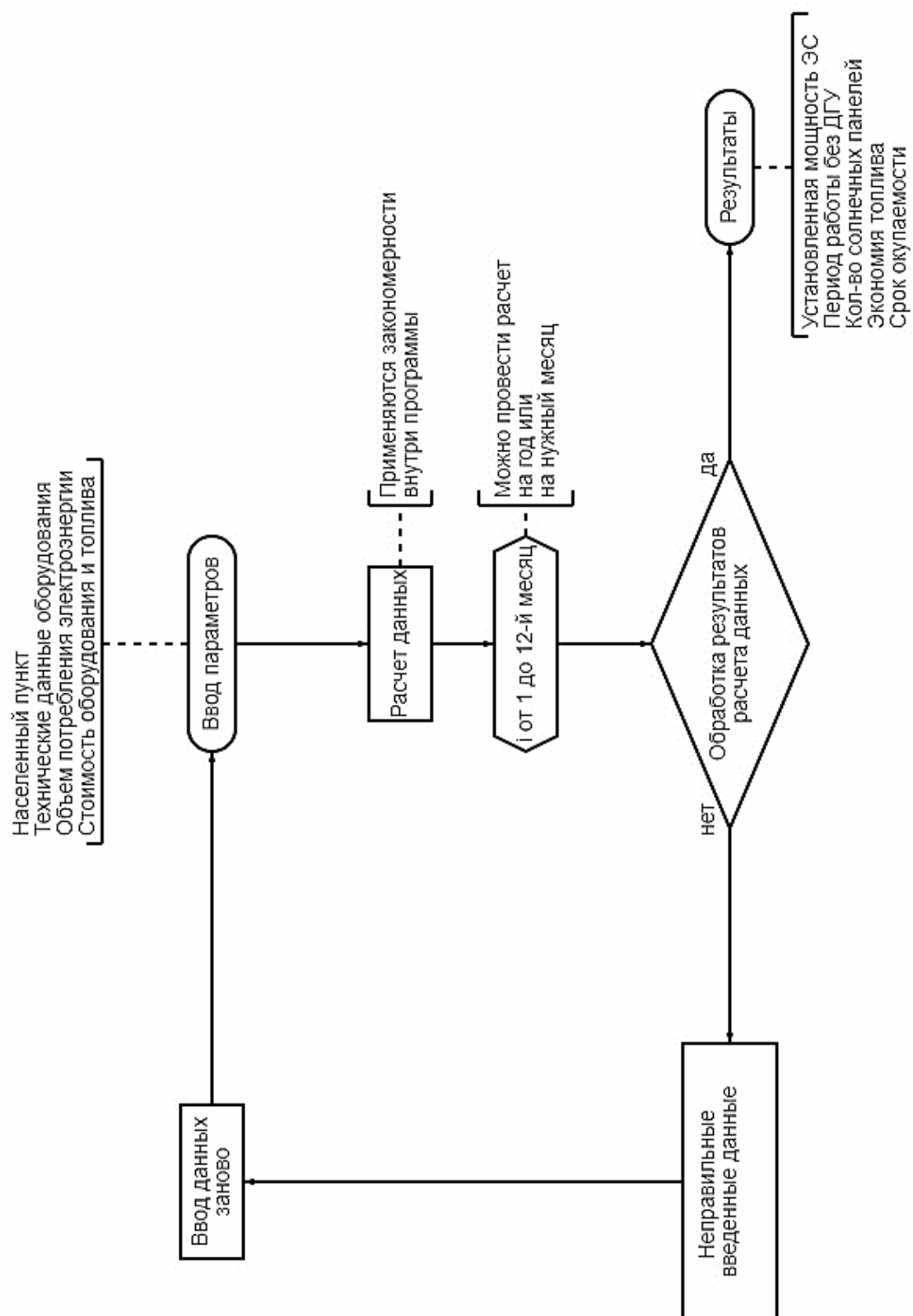


Рисунок 1 – Блок-схема математической программы

Перевозка материалов по данным направлениям обосновывается тем, что территория Севера и Арктики имеет слабо развитую транспортную инфраструктуру, а именно практическое отсутствие круглогодичных автомобильных дорог и железнодорожной магистрали, а перевозка воздушным путем увеличивает удельную стоимость перевозимых материалов до 500%.

На основании вышеизложенного внедрение объектов нетрадиционных энергетики является востребованным и актуальным в целях достижения экономии ГСМ, уменьшения изношенности главных мощностей генерации электроэнергии и повышения надежности электроснабжения.

Однако необходимо особо отметить, что в рамках предварительных работ по выбору потенциальных мест строительства солнечных электростанций необходимо применение специализированных программ (Homer Energy, RET Screen и т.д.), где полный доступ имеет в платном порядке, где месячная стоимость подписки составляет от 10 тыс. российских рублей.

В связи с этим в целях увеличения доступности применения новой специализированной программы авторами статьи разработана математическая программа, с помощью которой вычисляются основные параметры солнечной электростанции различных линеек мощностей, где на рисунке 1 представлена блок-схема работы программы. В ходе разработки вышеуказанной блок-схемы авторами статьи применена лицензированная программа MS Office Excel и использованы электроэнергетические закономерности по расчету выработки электроэнергии от солнечных электростанций с учетом внешних параметров окружающей среды Якутии, такие как: дневная сумма солнечной радиации, продолжительность солнечного сияния, количество ясных, пасмурных и облачных дней, средняя температура воздуха по месяцам, относительная влажность воздуха, средняя скорость ветра по месяцам и т.д. [4-5].

В ходе практической апробации результатов исследования погрешность расчетов вышеуказанной программы составила не более 10%, что отвечает требованиям потенциальных пользователей в том числе инженерного персонала энергетического предприятия АО «Сахаэнерго».

### **Список литературы**

1. Местников, Н. П. Разработка математической модели объектов солнечной энергетики малой мощности в условиях холодного климата Севера и Арктики / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев // Актуальные вопросы

теплофизики, энергетики и гидрогазодинамики в условиях Арктики : Тезисы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ и ЯАССР, д. т. н., профессора Э. А. Бондарева, Якутск, 12–17 июля 2021 года. – Киров, 2021. – С. 160-162.

2. Местников, Н. П. Разработка математической модели объектов ветровой энергетики малой мощности в условиях холодного климата Севера и Арктики / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев // Актуальные вопросы теплофизики, энергетики и гидрогазодинамики в условиях Арктики : Тезисы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ и ЯАССР, д. т. н., профессора Э. А. Бондарева, Якутск, 12–17 июля 2021 года. – Киров, 2021. – С. 162-164.

3. Местников, Н. П. Исследование влияния резко-континентального климата Якутии на функционирование монокристаллических панелей / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев // Актуальные вопросы теплофизики, энергетики и гидрогазодинамики в условиях Арктики : Тезисы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки РФ и ЯАССР, д. т. н., профессора Э. А. Бондарева, Якутск, 12–17 июля 2021 года. – Киров, 2021. – С. 164-166.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660383 Российская Федерация. «Программа расчета установленной мощности солнечной электростанции для питания нефтеперерабатывающего завода в условиях Арктики» : № 2021619651 : заявл. 22.06.2021 : опубл. 25.06.2021 / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.Аммосова".

5. Исследование возможности применения фотоэлектрических солнечных установок внутри купольного строения в условиях Севера / Н. П. Местников, П. Ф. Васильев, Г. И. Давыдов [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2021. – Т. 25. – № 4(159). – С. 435-449. – DOI 10.21285/1814-3520-2021-4-435-449.

## **СОДЕРЖАНИЕ ВЫСШИХ ВРЕМЕННЫХ ГАРМОНИК В ВЫХОДНОМ НАПРЯЖЕНИИ СИНУС-ФИЛЬТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЭФФИЦИЕНТА МОДУЛЯЦИИ ШИМ-НАПРЯЖЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ**

Пустоветов Михаил Юрьевич, к.т.н., преподаватель  
Ростовский-на-Дону колледж радиоэлектроники,  
информационных и промышленных технологий

Рассматриваются результаты гармонического анализа опытных осциллограмм линейного напряжения на выходе преобразователя частоты и синус-фильтра при различном коэффициенте модуляции напряжения преобразователя, но одинаковой несущей частоте и частоте модуляции 2 кГц. Сделан вывод об условиях работы синус-фильтра.

*Ключевые слова:* синус-фильтр, преобразователь частоты, широтно-импульсная модуляция, режим короткого замыкания, напряжение, коэффициент модуляции.

Синус-фильтр (СФ) [1] в настоящее время стал признанным широко используемым инструментом обеспечения электромагнитной совместимости электрооборудования, содержащего в своем составе преобразователи частоты (ПЧ). С другой стороны, сфера использования ПЧ также расширяется. Если ранее ПЧ использовались в основном как средство автоматизации электроприводов с двигателями переменного тока [2], иногда как элемент системы электроснабжения [3] то в настоящее время ПЧ используются и как регулируемый источник питания при испытаниях электротехнического оборудования. Например, для проведения опытов холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) силовых трансформаторов. Поскольку большинство силовых трансформаторов предназначено для работы на синусоидальном напряжении, то не представляется возможным непосредственно подать на них выходное напряжение ПЧ, формируемое как набор трапецеидальных импульсов с очень крутыми фронтами, во избежание возможных повреждений изоляции. Для преодоления этого противоречия между импульсной формой выходного напряжения ПЧ, формируемого по принципу широтно-импульсной модуляции (ШИМ), и необходимостью подавать на испытуемый трансформатор синусоидальное напряжение на выходе ПЧ включается СФ.

Известно, что опыт ХХ проводят при номинальном напряжении, а опыт КЗ с целью ограничения токов через обмотки испытуемого транс-

форматора проводится при пониженном напряжении питания. То есть, ПЧ, например, на выходе может выдать 690 В номинального линейного напряжения, а выдает 200...250 В в режиме опыта КЗ трансформатора. Это 29...36 % от номинального напряжения (округленно это 1/3). Это фактически коэффициент модуляции ШИМ, коэффициент заполнения импульсов, усредненный за период модулирующего напряжения. Следовательно, 2/3 времени в периоде напряжения занимают паузы (см. опытные осциллограммы линейного напряжения на выходе ПЧ на рисунке 1 и рисунке 2).

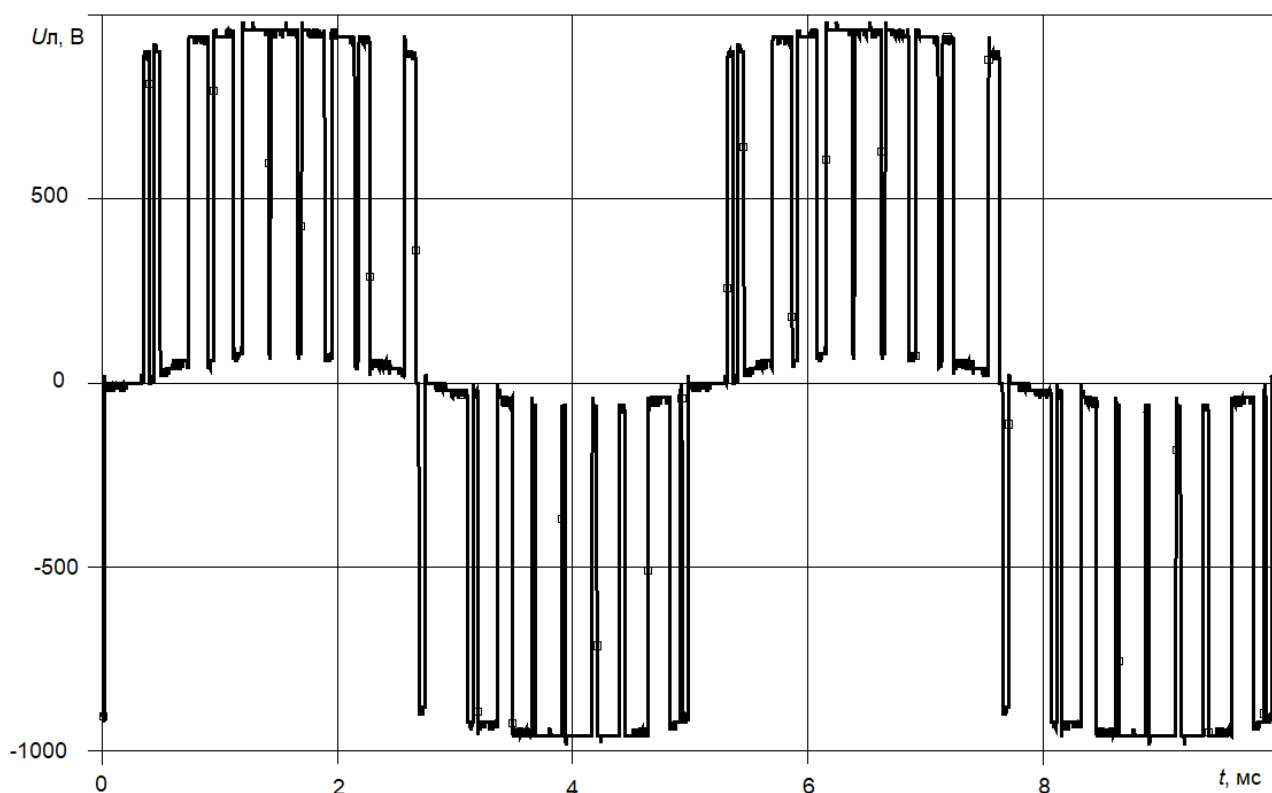


Рисунок 1 – Осциллограмма линейного напряжения на выходе ПЧ (частота 1-й гармоники 200 Гц, заданное действующее значение 1-й гармоники 600 В)

Имея осциллограмму напряжения и инструмент для ее гармонического анализа, можно вычислить суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения [4]

$$THD\% = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left( \frac{U_n}{U_1} \right)^2} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Однако, этот коэффициент можно вычислить иначе:

$$THD\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2 - U_1^2}}{U_1} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Интересные результаты исследований  $THD\%$  для ПЧ приведены в [5].

В таблицах 1 и 2 приведены результаты гармонического анализа опытных осциллограмм линейного напряжения на выходе ПЧ и на выходе СФ соответственно. В таблицах в расчет принимались частоты от 0 Гц до 1,6 МГц.

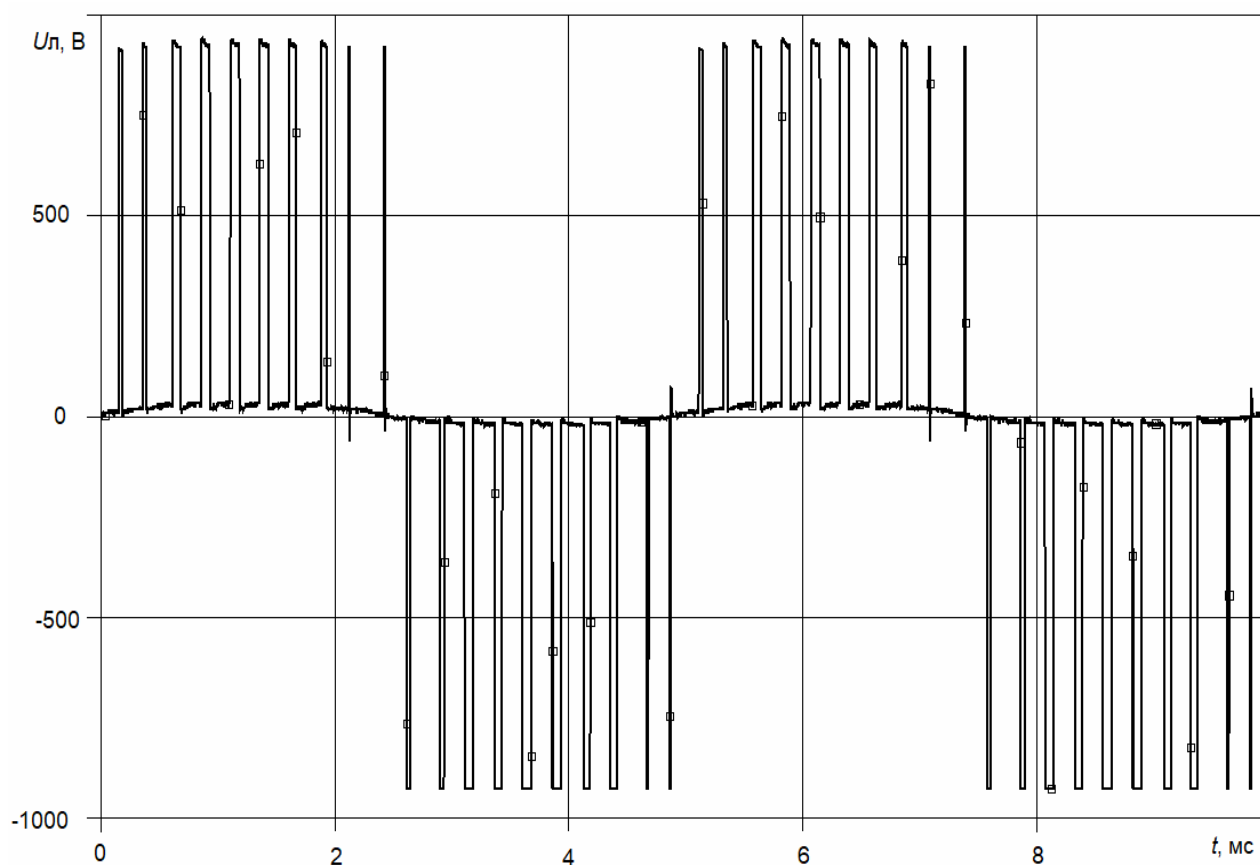


Рисунок 2 – Осциллограмма линейного напряжения на выходе ПЧ (частота 1-й гармоники 200 Гц, заданное действующее значение 1-й гармоники 200 В)

Таблица 1 - суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения на выходе ПЧ в зависимости от действующего значения линейного напряжения первой гармоники, заданного для выхода ПЧ

| Частота основной гармоники $f_1$ , Гц | Действующее значение линейного напряжения 1-й гармоники, заданное для выхода ПЧ, В | $U_1^2$ , В <sup>2</sup> | $\sum_{n=1}^{\infty} U_n^2$ , В <sup>2</sup> | THD%  |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------------------|-------|
| 50                                    | 200                                                                                | 39227                    | 145328                                       | 164,5 |
| 100                                   | 200                                                                                | 42486                    | 153086                                       | 161,3 |
| 150                                   | 200                                                                                | 46128                    | 165002                                       | 160,5 |
| 200                                   | 200                                                                                | 46479                    | 168472                                       | 162,0 |
| 50                                    | 600                                                                                | 359278                   | 488290                                       | 59,9  |
| 100                                   | 600                                                                                | 366262                   | 498926                                       | 60,1  |
| 150                                   | 600                                                                                | 372175                   | 508275                                       | 60,5  |
| 200                                   | 600                                                                                | 374511                   | 517329                                       | 61,8  |

На рисунке 3 показана опытная осциллограмма линейного напряжения на выходе СФ.

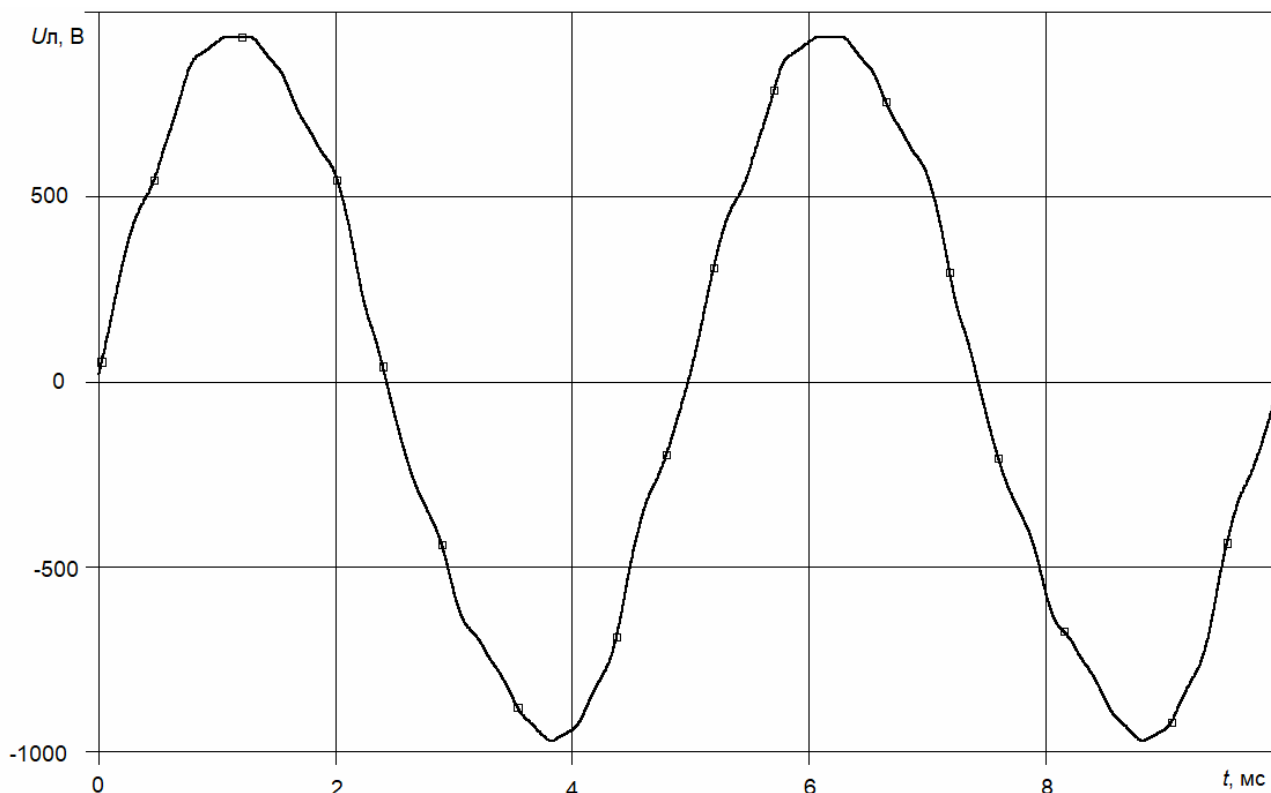


Рисунок 3 – Осциллограмма линейного напряжения на выходе СФ (частота 1-й гармоники 200 Гц, действующее значение 1-й гармоники 663,9 В)

Таблица 2 - суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения на выходе СФ в зависимости от действующего значения линейного напряжения первой гармоники

| Частота основной гармоники<br>$f_1$ , Гц | Действующее значение 1-й гармоники линейного напряжения на выходе СФ, В | $THD\%$ |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| 100                                      | 260,4                                                                   | 8,5     |
| 200                                      | 239,1                                                                   | 8,0     |
| 100                                      | 662,2                                                                   | 5,0     |
| 200                                      | 663,9                                                                   | 5,7     |

Вывод: при пониженном напряжении основной гармоники выходного напряжения инвертора, как это происходит в режиме КЗ нагрузки, гармонический состав выходного напряжения инвертора значительно более зашумлен, чем в режиме ХХ, когда напряжение основной гармоники инвертора близко к номинальному значению. То есть, при пониженном напряжении основной гармоники условия работы СФ значительно сложнее, чем при номинальном напряжении основной гармоники, а именно: СФ ожидается обеспечить в случае пониженного выходного напряжения ПЧ худший гармонический состав напряжения на нагрузке, чем при номинальном напряжении ПЧ.

Особенная проблема возникает в том случае, если СФ должен обеспечивать высококачественную фильтрацию в широком диапазоне значений выходного напряжения. Поэтому, формулируя требования к качеству выходного напряжения СФ, целесообразно уточнять, какому именно режиму работы ПЧ они соответствуют, и допустимо ли увеличение  $THD\%$  при отклонении от этого режима.

### Список литературы

1. Сазонов А.С., Лебедев Д.Ю. Расчет и выбор параметров синусных фильтров частотно-регулируемых приводов с ШИМ-инвертором напряжения // Промышленная энергетика. 2012. № 2. С. 18–22.
2. Пустоветов М.Ю. Опыт разработки синус-фильтра для силовой схемы частотно-регулируемого асинхронного электропривода // Известия

Томского политехнического университета, 2014. - Т.324, №4. С. 87–95.

3. Пустоветов М.Ю. Компьютерное моделирование системы электро-снабжения автономного объекта: составные части модели, результаты// Материалы 62-й Международной сетевой научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов «Наука, техника и инженерное образование в цифровую эпоху: идеи и решения». Часть I. – Бишкек, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 2020. С. 126–134. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

[https://kstu.kg/fileadmin/user\\_upload/materialy\\_62\\_stud\\_konf\\_chast\\_1.pdf](https://kstu.kg/fileadmin/user_upload/materialy_62_stud_konf_chast_1.pdf)  
(дата обращения: 28.10.21).

4. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Стандартинформ, 2012. – 20 с.

5. Зырянов В.М., Митрофанов Н.А., Соколовский Ю.Б. Исследование гармонического состава напряжения преобразователя частоты // Вестник ИГЭУ.2015. № 1. С. 1–6.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

## МАТЕРИАЛЫ

VI Всероссийской научно-технической конференции  
«Современные проблемы электроэнергетики и пути  
их решения»

15-16 декабря 2021 года

Формат 60x84 1/16. Бумага офсет 1. Печать ризографная. Гарнитура Таймс.  
Усл.п.л. 11,9. Заказ № 042-22. Тир. 100 экз. Отпеч. в тип. ИП Тагиева Р.Х.  
г.Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

**“ФОРМАТ”**