

СЕКЦИЯ 8

«НАУЧНО- МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ»

СОДЕРЖАНИЕ

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКИНГ Абсалямов А.А., Воронин Н.С.	1062
ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ» Андросов В.И., доцент, Полякова Л.Ю., канд. техн. наук, доцент	1066
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ КОТЕЛЬНОЙ Бескоровайный А.А., Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент.....	1069
АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНЫХ КАНАЛОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СВЯЗИ С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА Богданов А.В., канд. техн. наук, Ларькина А.А., Шарипова С.Г., канд. хим. наук	1074
О РОЛИ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ В ИЗУЧЕНИИ КУРСА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент, Быковский В.В., канд. техн. наук, доцент, Ушакова Н.Ю., канд. техн. наук, доцент	1078
ВЫБОР ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА Викторова Е.В., Шлейников В.Б., канд. техн. наук	1081
ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ МЕХАНИЗМА КАЧЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МНЛЗ Воронин Н.С., Смотрин В.А., Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент.....	1086
МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТИЯ ДВЕРЕЙ ЗДАНИЯ Гусев Н. И., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор	1092
МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В ЦЕЛЯХ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БОЛТОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ Дмитриев А.Д., Косенко А.Д., канд. техн. наук, доцент	1097
ВЫБОР МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КЛАСТЕРА «ТРАНСФОРМАТОРЫ» СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНА ГОРОДА Дубовсков К.Ю., Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент.....	1106
К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ Звонов М.Н., Воронин Н.С., Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент	1112
ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ Канайкина К.А., Косенко А.Д., канд. техн. наук, доцент	1118
АНАЛИЗ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ Ковалев Е.А., Шлейников В.Б., канд. техн. наук	1123

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЭНЕРГЕТИКОВ Корнеев А.А., Хаустова Е.В.	1129
АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ Косенко А.Д., канд. техн. наук, Мустафин Р.М.	1132
КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ Косенко А.А., Косенко А.Д., канд. техн. наук, Шелихов Е.С., канд. техн. наук	1140
АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В АВАРИЙНОМ И ПОСЛЕАВАРИЙНОМ РЕЖИМАХ Кошкин Ф.В., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор	1145
АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА Мазурин Д.Ю., Шлейников В.Б., канд. техн. наук, доцент	1150
АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Титов Д.И.	1153
ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ГЛОБАЛЬНУЮ СОЛНЕЧНУЮ РАДИАЦИЮ Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Калашник Н.А. .	1158
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕКЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ Митрофанов С. В., канд. техн. наук, доцент, Турсунов Р. Н.	1163
ОБЗОР АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРО- СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Карагодин Н.В.	1172
ОДНОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, РАБОТАЮЩЕГО НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Темиргалиев Р.Р.	1177
ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МИКРОСЕТЬ Муллаянов Р.И., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор ...	1182
АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ Нечетов И.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент.....	1187
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ Нечетов И.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент.....	1194

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS МЕЖДУ ОБОРУДОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФИРМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ Пичугин А.В., Сорокин В.А.....	1198
АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ Полуэктов Е.К., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор..	1203
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Полянских А.А., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор.....	1208
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ Романенко Д.В., Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент	1218
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ Селезнев И.В., Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент.....	1224
ЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДА НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент, Левикина И.П.	1230
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ АВТОГЕНЕРАТОРОВ Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент	1234
ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННО-АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ Соколов В.Ю. ¹ , канд. техн., доцент, Деденева Е.Е. ¹ , Козловцев А.П. ² , д-р техн. наук, профессор.....	1240
РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НАСОСНОЙ АККУМУЛИРУЮЩИХ БАКОВ В ПРОГРАММЕ СТАРТ-ПРОФ Соколов В.Ю. ¹ , канд. техн., доцент, Петрова Ю.А. ¹ , Козловцев А.П. ² , д-р техн. наук, профессор	1246
ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ» Сорокин В.А.....	1254
ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ Шиллерт Д.М., Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент	1257
АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ Шинкарев В.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, Семенова Н.Г., канд. техн. наук, д-р пед. наук, профессор.....	1261

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ
ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА ОТ СОЛНЕЧНОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ Иштерьяков Р.М., Шлейников В.Б., канд. техн. наук,
доцент 1268

СОЛНЕЧНЫЙ ТРЕКИНГ

Абсалямов А.А., Воронин Н.С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В последние десятилетия солнечная энергетика активно прогрессирует и становится существенной составляющей мирового энергобаланса. Перспективы этой области выглядят многообещающими по ряду причин:

- Удешевление технологий способствует расширению доступа к солнечной энергии как для обычных потребителей, так и для крупных энергетических компаний.

- Развиваются более продуктивные солнечные панели для генерации большего количества энергии при одинаковых условиях - это текущий тренд в увеличении производительности солнечных панелей.

- Экологические выгоды солнечной энергетике заключаются в том, что она является экологически чистым источником энергии с низким уровнем выбросов углекислого газа и способствует уменьшению зависимости от ископаемых видов топлива.

Исследования, посвященные изучению потенциала солнечной энергии для её использования в альтернативных источниках энергии, часто подтверждают, что современные технологии не только являются экономически невыгодными, но и не вызывают коммерческого интереса [1]. Для преодоления этих проблем предлагаются два основных направления:

1. Уменьшение цены на фотоэлектрические элементы. Это может быть достигнуто через внедрение автоматизированных производств этих модулей или за счет использования более дешевых материалов для солнечных панелей.

2. Увеличение эффективности сбора энергии. Для этого предлагаются следующие подходы:

- Внедрение фотоприемников с многослойными гетеропереходами оправдывается повышенной эффективностью, однако их высокая цена снижает их привлекательность.

- Использование двусторонних фотоэлектрических конвертеров может повысить эффективность за счет дополнительных затрат.

- Использование устройств для усиления фоточувствительности.

Применение модулей с системой автоматического отслеживания солнца приводит к значительному увеличению производительности.

В данной статье подчеркивается важность изучения современного метода оптимизации эффективности использования солнечного трекинга для солнечных панелей. Один из главных факторов, влияющих на работоспособность системы - это угол падения солнечных лучей на поверхность батареи.

Эффективность работы солнечной батареи напрямую зависит от угла ее ориентации по отношению к Солнцу (Рисунок 1). Солнечное излучение состоит

из двух составляющих: прямых солнечных лучей и рассеянного света. Около 90% солнечной энергии приходится на прямые лучи. В дневное время преобладает рассеянный свет из-за облачности. Поскольку основная энергия концентрируется в прямых лучах, критически важно как можно дольше сохранять ориентацию солнечной батареи по направлению к Солнцу.

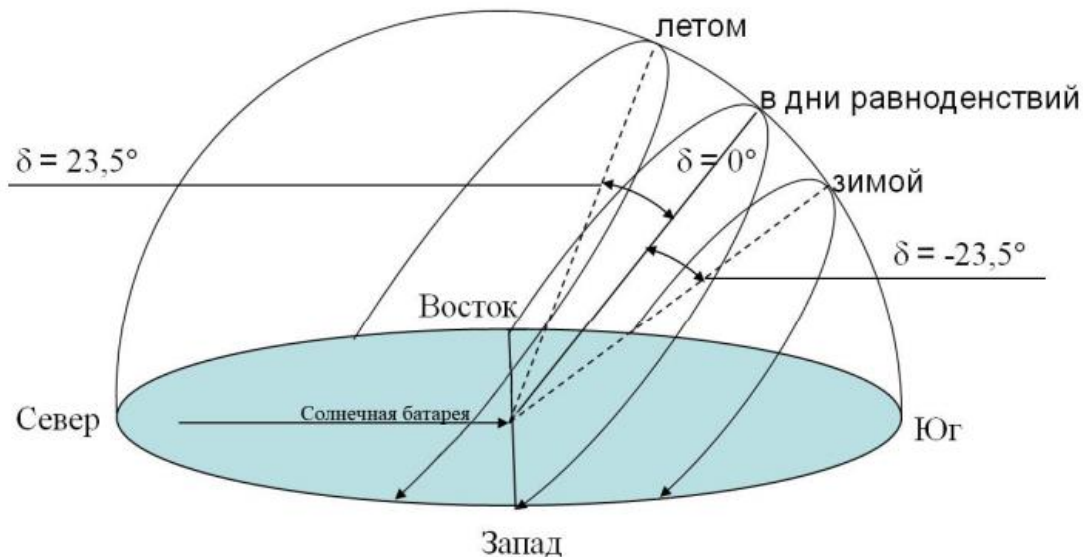


Рисунок 1 – Траектория движения солнца, вокруг солнечной батареи

Эффективность прямого света снижается при увеличении угла наклона панели относительно светового луча. Однако стоит помнить о том, что трекеры, способные поддерживать точность в пределах $\pm 5^\circ$, могут обеспечить получение более 99,6% энергии от прямых лучей за счет полного использования рассеянного света. Поэтому для неконцентрирующих фотоэлектрических панелей часто не применяется высокоточное слежение.

В течение суток солнце проходит полный круг по небу по всей орбите. Однако если стоять на одном месте и следить за его движением, видимый путь светила составляет примерно 180 градусов в течение дня. Этот временной интервал может меняться: удлиняться в тёплые месяцы и сокращаться в холодные. Эффект горизонта уменьшает этот путь примерно до 150 градусов — это эффективный угол поворота солнечного трекера. В утренние и вечерние часы солнечная панель, установленная стационарно, теряет до 75% своей эффективности по сравнению с максимальным потенциалом выработки энергии. Однако если повернуть ее в сторону восхода и заката, можно компенсировать эти потери.

Современные солнечные трекеры имеют различные характеристики в зависимости от их функциональности, дизайна и способов управления. Их разделяют на одноосевые и двухосевые в зависимости от количества осей вращения. Разница между ними заключается в более простой конструкции и более доступной цене одноосевых трекеров.

В зависимости от количества солнечных часов и географических координат в разных регионах целесообразно использовать разные типы трекеров сол-

нечной энергии. Одноосевые трекеры могут иметь различные оси вращения: горизонтальную, вертикальную, наклонную или полярно-ориентированную. В то время как для регионов с переменным количеством солнечных часов и узкими широтами рекомендуется использовать вертикальные или наклонные трекеры, для более южных регионов предпочтительны горизонтальные трекеры солнечной энергии.



1. Одноосный вертикальный трекер 2. Одноосный горизонтальный трекер
Рисунок 2 – Одноосные трекеры

Двухосевые трекеры позволяют достичь максимальной эффективности использования солнечной энергии и делятся на два типа: те, у которых ось вращения расположена на поддерживающем столбе, и те, у которых опорная плоскость делает вертикальную ось вращения основной.

Также существуют устройства для отслеживания солнца на платформе. Они строятся на массивном кольце, которое крепится к поддерживающим роликам или большой платформе с подшипниками. Основным преимуществом этого варианта является равномерное распределение веса солнечной батареи по всей поверхности кольца. Этот тип конструкции наиболее подходит для регионов с повышенной ветровой активностью, однако стоимость такой системы высока, и для её установки требуется много места.

Также стоит учитывать различия между типами приводов в системах:

Привод с гидropередачей: для преобразования давления от насосов во вращательное или линейное движение используются электродвигатели или гидроцилиндры.

Электрический механизм: для выполнения действий используются линейные, шаговые двигатели и другие устройства.

Привод со встроенным редуктором скорости, который работает за счет внешних источников энергии, таких как двигатель или другое устройство, передающее энергию для создания движения. Движение подвижной детали устройства вокруг своей оси возникает из-за разницы в давлении рабочей жидкости.

Широкое распространение получили электрические приводы в системах отслеживания солнечных батарей, так как они доступны, неприхотливы в обслуживании и недорогостоящие.

Использование установок для отслеживания солнца является эффективным методом повышения производительности солнечных батарей, что крайне важно для обеспечения устойчивого развития и перехода на возобновляемые источники энергии.

Список литературы

1. Попель, О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике/ О.С. Попель // Российский химический журнал. - 2008, №52 (6). -С. 95-106.

2. Китаева, М.В. Системы слежения за Солнцем / М.В. Китаева, В.В. Юрченко, А.В. Скороходов, А.В. Охорзина // Вестник науки Сибири – 2012. - №3(4) .-С. 61-65.

3. Чалбаш, О.Х. Следящие системы для ориентации солнечных панелей и оптимизация их позиционирования с использованием трехкоординатных платформ /О.Х. Чалбаш // Проблемы региональной энергетики– 2017. №3(35).-С. 94-108

ЦИКЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»

Андросов В.И., доцент, Полякова Л.Ю., канд. техн. наук, доцент
Кумертауский филиал ОГУ

Лабораторные работы (ЛР) по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» чаще всего выполняются на стендах с товарным знаком ГалСен ООО «ИПЦ «Учебная техника». Эти стенды содержат блоки эквивалентных моделей линий электропередач (ЛЭП).

Модель ЛЭП в этих стендах представляет собой набор резисторов, индуктивностей, емкостей, образующих известную П-образную схему замещения ЛЭП (рисунок 1).

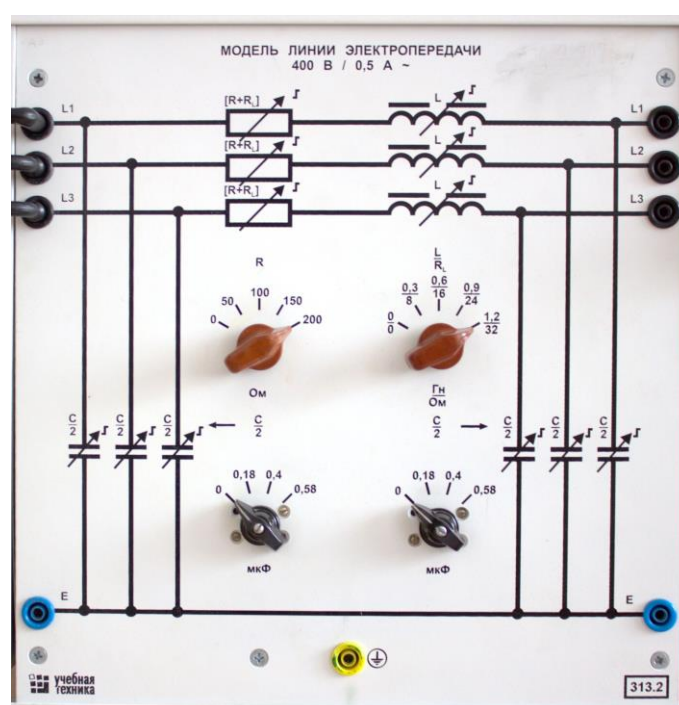


Рисунок 1 - Блок стенда «Модель линии электропередачи»

Следует отметить, что на стенде можно задать конкретные четыре значения продольных индуктивностей L_M , три значения зарядовой емкости $C_M/2$, четыре значения активного сопротивления модели линии R_M .

В методических рекомендациях по проведению лабораторных работ приводится порядок выполнения работ, но эти работы не взаимосвязаны.

В статье рассматривается возможность объединения лабораторных работ по исследованию ЛЭП по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий» в одно целое, где результаты одной работы являются исходными данными для следующей работы. Такой подход к выполнению лабораторных работ позволит студентам приобрести практические умения и навыки, необходимые для профессиональной деятельности выпускника.

Предлагаемое объединение ЛР, можно пояснить алгоритмом:

- первоначальные исходные данные - конструктивные параметры ЛЭП;
- расчет эквивалентной схемы ЛЭП для высокого напряжения (ВН);
- расчет установившегося режима работы ЛЭП;
- расчет номиналов элементов схемы ЛЭП стенда на напряжение НН;
- экспериментальные замеры режима работы ЛЭП на НН;
- перерасчет режима работы ЛЭП на ВН;
- сравнение опытных и рассчитанных значений режима работы ЛЭП.

Более подробно этот алгоритм можно пояснить следующим образом:

-ЛР 1. Исходные данные - это конструктивные параметры ЛЭП: её длина, тип и сечение проводов, их взаимное расположение на траверсах. В процессе выполнения этой работы рассчитываем параметры П-образной эквивалентной схемы ЛЭП для уровня ВН.

-ЛР 2. Исходные данные - рассчитанная, в предыдущей работе эквивалентная П-образная схема ЛЭП уровня ВН, используя которую, рассчитываем на уровне ВН режим работы ЛЭП: токи в ветвях, напряжения в узлах, фазовые соотношения между ними, перераспределение потоков мощностей.

Расчет установившегося режима ЛЭП производим в зависимости от способа задания исходных данных:

- заданы напряжение и мощность в конце линии;
- заданы напряжение и мощность в начале линии;
- задана мощность в конце линии и напряжение в начале линии.

-ЛР 3. Исходные данные - рассчитанная в ЛР 1 П-образная эквивалентная схема ЛЭП уровня ВН. В работе рассчитываются номиналы низковольтной (НН) П-образной эквивалентной схемы ЛЭП, через выбранные масштабные коэффициенты. Полученные значения резисторов, индуктивностей и емкостей необходимо набрать с помощью переключателей на блоке модели линии стенда и экспериментально измерить параметры установившегося режима ЛЭП на уровне НН: токи, напряжения и мощности на входе ЛЭП и на нагрузке. Далее измеренные значения пересчитывают на уровень ВН и сравнивают их с рассчитанными в ЛР 2.

Теоретически, первоначальные исходные данные - конструктивные параметры ЛЭП, можно выбрать произвольным образом. В этом случае номиналы элементов стендовой схемы на НН, также окажутся произвольными. Но, фактически, в лабораторном блоке установлены элементы с конкретными значениями. Поэтому, чтобы рассчитанные номиналы элементов схемы стенда можно было задать на лабораторном стенде, исходные конструктивные данные ЛЭП должны быть выбраны определенным образом, как указано в руководстве по выполнению базовых экспериментов [1].

Выводы:

1. Предлагается лабораторные работы по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий», в части исследования режима работы ЛЭП, объединить в один цикл, когда результаты одной работы, являются исходными данными для следующей работы.

2. Исходные данные для первой лабораторной работы - конструктивные параметры ЛЭП необходимо выбрать таким образом, чтобы рассчитанные номиналы модели ЛЭП на напряжении НН, можно было задать переключателями на блоке стенда.

3. Выполнение цикла лабораторных работ позволяет обучающимся получить навыки использования методов моделирования, анализа и расчёта режимов работы линий электропередач.

Список литературы

1. Карпеш М.А., Сенигов П.Н. Производство электрической энергии. Руководство по выполнению базовых экспериментов. ПЭЭ.001 РБЭ (933). - Челябинск: Инженерно-производственный центр «Учебная техника», 2021. – 94 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕМ КОТЕЛЬНОЙ

**Бескоровайный А.А., Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Котельная установка, или котельная, представляет собой сооружение, расположенное в отдельном техническом помещении, предназначенное для нагрева теплоносителя (обычно воды) для нужд отопления или пароснабжения.

Современные системы теплоснабжения являются важнейшей составляющей инфраструктуры жилых, общественных и промышленных зданий, обеспечивая комфортные условия проживания и производственный процесс. Сердцем этих систем зачастую выступают котельные установки, преобразующие энергию топлива в тепловую для отопления и горячего водоснабжения. Эффективность работы котельной напрямую влияет на экономичность теплоснабжения, его надежность и безопасность. В условиях постоянного роста тарифов на энергоносители и ужесточения требований к энергосбережению, вопрос оптимизации работы котельных приобретает особую актуальность.

Одним из ключевых факторов повышения эффективности и экономичности котельных является внедрение автоматизированных систем управления теплотреблением (АСУ ТП). Эти системы позволяют осуществлять точный контроль и регулирование всех параметров работы котельной в режиме реального времени, что обеспечивает оптимальный режим горения топлива, минимизирует тепловые потери и исключает перерасход энергоресурсов. АСУ ТП, таким образом, становятся неотъемлемой частью современной котельной, обеспечивая не только автоматизацию технологических процессов, но и интеллектуальное управление теплотреблением.

Исследование и разработка подходов к созданию и внедрению автоматизированных систем управления теплотреблением котельных. В рамках исследования будут проанализированы существующие методы автоматизации котельных, выявлены их недостатки, предложены новые решения и обоснованы их преимущества. Особое внимание будет уделено вопросам интеграции различных подсистем АСУ ТП, а также обеспечению надежности и безопасности работы котельной.

Методы, применяемые в автоматизированных системах управления (АСУ) теплотреблением котельных, представляют собой комплекс подходов и технологий, направленных на оптимизацию работы котельной, снижение энергозатрат и обеспечение стабильного теплоснабжения. Эти методы можно разделить на несколько ключевых категорий:

1. Методы управления горелкой:

Автоматическое регулирование подачи топлива и воздуха:

- ПИД-регулирование: Используется для точной настройки соотношения топлива и воздуха, обеспечивая оптимальное сгорание. Контроллеры ПИД настраиваются на основе обратной связи от датчиков кислорода и температуры дымовых газов.

- Каскадное регулирование: Позволяет более точно регулировать подачу топлива, используя каскад из нескольких ПИД-регуляторов. Например, один регулятор может контролировать давление топлива, а второй - его подачу.

- Адаптивное регулирование: Настраивает параметры ПИД-регуляторов в зависимости от изменяющихся условий работы котельной (например, температуры окружающей среды, нагрузки).

Модуляция мощности горелки:

- Плавное регулирование мощности: Горелка меняет свою мощность в зависимости от текущей потребности в тепле, избегая резких перепадов и обеспечивая стабильную температуру теплоносителя.

- Многоступенчатое регулирование мощности: Горелка работает на нескольких фиксированных уровнях мощности, переключаясь между ними в зависимости от нагрузки.

Контроль пламени:

- Оптические датчики пламени: используются для контроля наличия пламени в горелке, обеспечивая безопасную работу системы и предотвращая утечку топлива в случае погасания пламени.

- Анализ факела: Современные системы могут анализировать характеристики факела, позволяя оптимизировать сжигание топлива и снизить выбросы.

2. Методы управления системой водоподготовки:

Автоматическая дозировка реагентов:

- Регулирование по рН: Датчики рН контролируют кислотность воды, автоматически дозируя реагенты для предотвращения образования накипи и коррозии.

- Регулирование по электропроводности: Контроль электропроводности воды позволяет дозировать реагенты для поддержания оптимального солевого содержания.

- Пропорциональное дозирование: Дозировка реагентов изменяется пропорционально расходу воды.

Автоматический контроль уровня воды в котле:

- Регулирование по уровню: Датчики уровня контролируют уровень воды в котле, включая насосы подпитки при его снижении и отключая их при достижении заданного уровня.

- Аварийное отключение: В случае критического снижения или превышения уровня воды система автоматически отключает котельную для предотвращения аварий.

3. Методы управления циркуляцией теплоносителя:

Автоматическое регулирование насосов:

- Частотное регулирование: Насосы управляются частотными преобразователями, изменяющими их скорость вращения в зависимости от потребности в теплоносителе.

- Регулирование по перепаду давления: Датчики давления контролируют перепад давления в системе, автоматически регулируя работу насосов для обеспечения требуемого расхода.

- Каскадное управление насосами: Несколько насосов работают по очереди или параллельно, в зависимости от нагрузки.

Управление трехходовыми клапанами:

- Термостатическое регулирование: Клапаны управляются термостатами, регулируя поток теплоносителя в зависимости от температуры воздуха в помещении.

- Программное управление: Клапаны управляются по заданному расписанию, позволяя более точно контролировать теплопотребление.

4. Методы управления учетом и контролем:

Автоматический сбор данных:

- Сбор данных от датчиков: Данные с датчиков температуры, давления, расхода топлива и других параметров автоматически собираются и передаются в систему управления.

- Учет расхода топлива: Система точно измеряет расход топлива для контроля затрат и анализа эффективности.

- Учет выработки тепла: Измеряется количество выработанного тепла для оценки эффективности работы котельной.

Анализ данных:

- Визуализация данных: Данные представляются в виде графиков и отчетов для удобства анализа.

- Алгоритмы анализа: Используются для выявления закономерностей и отклонений в работе котельной.

- Формирование отчетов: Система формирует отчеты о работе котельной за определенный период, позволяя отслеживать ее эффективность.

5. Методы диспетчеризации:

- Удаленный мониторинг: Система обеспечивает удаленный доступ к данным о работе котельной.

- Удаленное управление: Оператор может удаленно управлять котельной, настраивать параметры и устранять неполадки.

- Сигнализация об авариях: Система автоматически оповещает оператора о возникновении аварийных ситуаций.

- Журнал событий: Все события, происходящие в системе, записываются в журнал для последующего анализа.

6. Методы оптимизации:

- Предиктивное управление: Система прогнозирует будущую потребность в тепле на основе анализа исторических данных и прогноза погоды, позволяя заранее настраивать параметры работы котельной.

- Адаптивное управление: Система автоматически подстраивает параметры управления в зависимости от изменяющихся условий работы.

- Методы оптимизации на основе искусственного интеллекта: Применяются нейронные сети и другие методы машинного обучения для оптимизации работы котельной.

7. Применение искусственного интеллекта (ИИ):

- Машинное обучение (ML): ML используется для анализа данных, прогнозирования будущей нагрузки, выявления отклонений в работе и оптимизации параметров управления.

- Нейронные сети (NN): Нейросети используются для сложных задач управления, таких как оптимизация сжигания топлива или прогнозирование поломок оборудования.

- Экспертные системы: Имитируют рассуждения эксперта для принятия решений в сложных ситуациях.

Выбор конкретных методов управления зависит от типа котельной, ее мощности, используемого оборудования и требований к энергоэффективности и надежности. Комплексное применение этих методов позволяет создать эффективную и надежную АСУ теплоснабжением котельной, обеспечивающую значительное снижение затрат и повышение качества теплоснабжения.

Проведя тщательный анализ научной и технической литературы, можно получить глубокое понимание текущего состояния области автоматизированных систем управления теплоснабжением котельных, определить перспективные направления развития и сформировать прочную основу для собственных исследований. Каждая котельная выбирает свои способы и условия автоматизации, широкий спектр возможностей позволяет действовать более обширно и свободно.

Список литературы

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети / Е. Я. Соколов. – Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с. – ISBN: 5-7046-0703-9.

2. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции / А. А. Калмаков и [др.]. – Москва: Стройиздат, 1986. – 479 с., ил.

3. Марков, И. В. Автоматизация тепловых сетей / И. В. Марков. – Москва: БТИ, 1961. – 60 с.

4. Голдобин, Ю. М. Автоматизация теплоэнергетических установок: учебное пособие для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника / Ю. М. Голдобин, Е. Ю. Павлюк. – Режим доступа: <http://elar.urfu.ru/handle/10995/55411> – дата обращения: 12.01.2025.

5. Варганова, А. В. Комплексная оптимизация режимов работы промышленных тепловых электростанций / А. В. Варганова, Н. Ф. Джагаров. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-optimizatsiya-rezhimov-raboty-promyshlennyh-teplovyyh-elektrostantsiy> – дата обращения: 12.01.2025

6. Юрманов, Б. Н. Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Теплоснабжение и вентиляция» / Б. Н. Юрманов. – Ленинград: Изд-во Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1976. – 213 с., ил.

7. Втюрин, В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Основы АСУТП: Учебное пособие / В. А. Втюрин. – Санкт-Петербург, 2006. – 151 с.

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНЫХ КАНАЛОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ СВЯЗИ С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ЧЕТКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ПЕРЕДАТЧИКА

Богданов А.В., канд. техн. наук, Ларькина А.А.,
Шарипова С.Г., канд. хим. наук
Кумертауский филиал ОГУ

Прием радиоэлектронного сигнала практически всегда осуществляется при наличии электромагнитной помехи. Качественный радиоприем сигналов в радиоэлектронном канале базируется на обратном радиоканале, где формируется сигнал управления мощностью излучения радиопередатчика, что позволяет существенно уменьшить или полностью компенсировать влияние замираний на качество радиоприема. Автоматическое регулирование мощности передатчика (АРМП) вместе с обратным радиоэлектронным сигналом и основным каналом образует замкнутую, нелинейную и нестационарную систему. В такой системе произвести синтез регуляторов, которые обеспечивают качественную работу систем, достаточно сложно. Данную задачу можно решить путем применения четких цифровых регуляторов. Проведем исследование методом математического моделирования в программной среде Matlab.

Математическая модель системы АРМП (в программной среде Matlab) с четким регулятором представлена на рисунке 1.

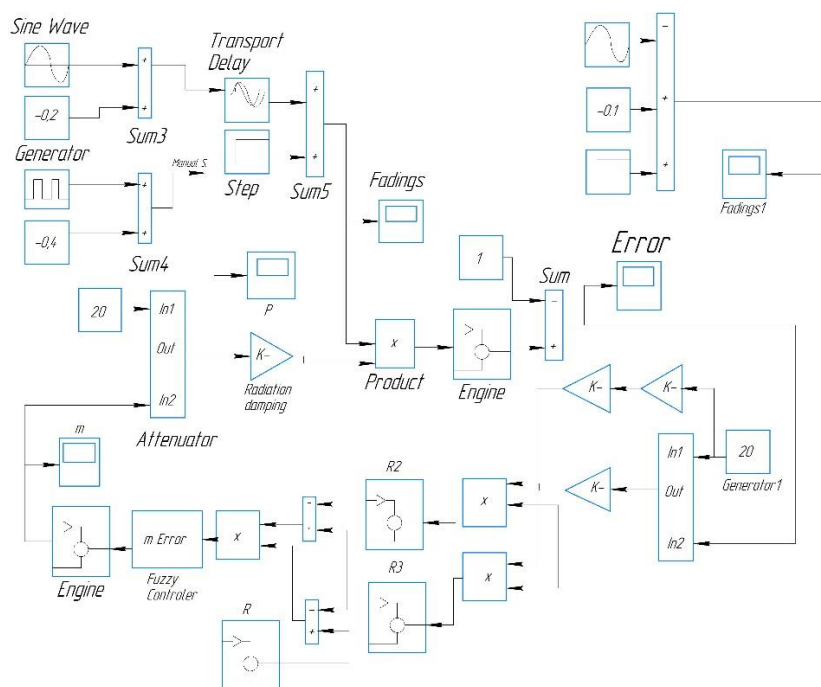


Рисунок 1 - Математическая модель системы АРМП в программной среде Matlab

Данная математическая модель описывает канал передачи данных (канал связи). Основными блоками модели являются: блок генератора, блок управле-

мого аттенюатора, блок имитации затухания сигнала без помех распространения, блок идеального радиоэлектронного звена.

При моделировании затухание сигнала в идеальной (без помех) среде распространения имитируется пропорциональным блоком с коэффициентом $k=1/P_{\text{ном}}$ (блоки Radiation damping). Двигатель с регулирующим механизмом (Engine), посредством которого перестраивается мощный аттенюатор, опишем передаточной функцией:

$$G_{\partial}(s) = [s(s + a)]^{-1} = 12[s(s + 12)]^{-1} \quad (1)$$

где постоянная времени двигателя $T_{\partial} = 1/a = 1/12$ с. Мощность генератора СВЧ-колебаний примем равной $= 20$ Вт. Для получения на выходе передатчика РПДУ1 номинальной мощности $P_{\text{ном}} = 10$ Вт на вход управляемого аттенюатора вводится напряжение уставки $m_0 = 5$. Управление двигателем осуществляем цифровым четким регулятором (Fuzzy Controller). $m(t)$ - сигнал на выходе регулятора.

Каждое идеальное радиозвено (R1 и R2) с учетом только запаздывания сигнала в среде распространения и фильтра приемника опишем передаточной функцией:

$$G_{p3}(s) = \frac{\alpha_3 e^{-\tau_3 s}}{s+b} = 10e^{-0,01} / (s + 10) \quad (2)$$

Имитация замираний сигнала (Fadings) в среде распространения радиоволн канала передачи данных (радиоканала связи) осуществляется следующим образом. Допустим, что возникают ступенчатые периодические замирания сигнала на входе приемника РПрУ1 канала радиосвязи или, что эквивалентно, ступенчатые периодические уменьшения отношения сигнал/шум, например, на 40% от нормального. Эту ситуацию можно имитировать генератором периодических сигналов (Generator) с амплитудой импульсов $-0,4$. При моделировании период импульсов выбран 20 с, а длительность импульсов 10 с. Такие импульсы следует подавать при включении модели с задержкой (Transport Delay) примерно $2,5$ с, после того, как в системе наступит устойчивое состояние равновесия. Мультипликативные внешние воздействия (замирания) в виде периодической последовательности отрицательных импульсов (Fadings) подаются на верхний вход умножителя Product [1].

Замирания сигнала (Fadings 1) в среде распространения радиоволн канала радиоуправления также можно имитировать, например, при помощи генератора синусоидальных колебаний (Sine Wavel) со смещением. При моделировании выбраны колебания с периодом 4 с, амплитудой, равной $0,05$, и смещением $-0,05$. Мультипликативные внешние воздействия (замирания) в канале радиоуправления в виде синусоидальных колебаний подаются на нижние входы умножителей Product1 и Product2 и после соответствующей обработки на выходе делителя Products компенсируются.

При моделировании мультипликативных внешних возмущающих воздействий (замираний) и при задании напряжения уставки $u_0 = 1$ необходимо на

верхний вход умножителя Product и на нижние входы умножителей Product1 и Product2 подать также единичные сигналы (для чего служат блоки Step и Step 1).

Моделируемые замирания сигнала (Fadings) в среде распространения радиоволн канала передачи данных $u(t)$ и замирания сигнала (Fadings 1) в среде распространения радиоволн канала радиопередачи $u_1(t)$ приведены и на рисунке 2.

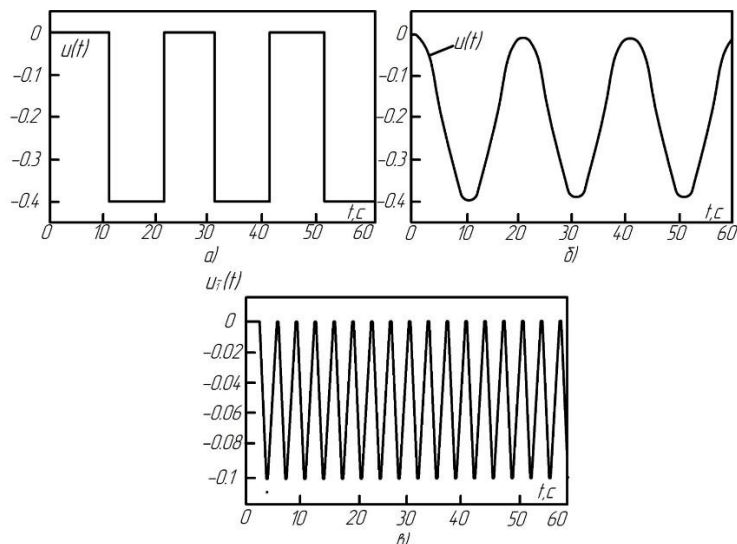


Рисунок 2 – Моделируемые сигналы

Цифровой четкий регулятор (Fuzzy controller на рисунке 1) выполнен с идентичными возведенными в степень прямоугольными функциями принадлежности и состоит из блока формирователя величин $A(t)$ и $B(t)$, блока сравнения величин A и B и расчета u_c и блока нормировки выходной переменной [2, 3].

Ошибка рассогласования $0(f)$ на вход нечеткого регулятора по ступает дискретно, с шагом квантования $h = 0,01c$ [4].

При условии идеальной (без помех) среды распространения радиоволн канала передачи данных (канала радиосвязи) и идеальной (без помех) среды распространения радиоволн канала радиопередачи (блоки имитации помех Fadings и Fadings 1 отключены, но с блоков Step и Step 1 на умножители Product, Product 1 и Product 2 подаются единичные сигналы) и при оптимальной настройке цифрового четкого регулятора система работает следующим образом.

В установившемся режиме при нулевой ошибке (Error) на выходе аттенюатора (Attenuator1) сигнал равен 10 (что соответствует номинальной выходной мощности радиопередатчика РПДУ2 в канале радиопередачи). На выходе блока Radiation damping1, имитирующего затухание излучаемого сигнала в среде распространения радиоволн канала радиопередачи, сигнал равен единице [5].

Таким образом, на всех входах умножителей Product 1 и Product2 сигналы равны единице и на выходе сумматора Sum сигнал равен нулю. При этом сигнал на выходе аттенюатора (Attenuator) равен 10 (что соответствует номи-

нальной выходной мощности радиопередатчика РПДУ1 в канале радиоэлектронной связи). На выходе блока Radiation damping, имитирующего затухание излучаемого сигнала в среде распространения радиоволн канала передачи данных (радиоканала связи), и на входах умножителя Product и на нижнем входе сумматора Sum сигналы равны единице. При вычитании единичного сигнала уставки $u_0=1$, поступающего на верхний вход сумматора Sum, из единичного сигнала на нижнем входе сумматора на выходе сумматора ошибка (Error) равна нулю и система автоматического регулирования мощности передатчика АРМП находится в равновесном, устойчивом состоянии.

Таким образом, системы автоматического регулирования мощности передатчика РПДУ1 с нечетким регулятором и аттенуатором, управляемым двигателем, обеспечивают более высокое качество принимаемого СВЧ-сигнала $u_c(t)$ на входе радиоприемника РПрУ1 при ступенчатых периодических и синусоидальных уменьшениях отношения сигнал/шум на входе приемника РПрУ1, чем аналогичные системы с ПИД-регулятором.

Однако системы автоматического регулирования мощности передатчика РПДУ1 с ПИД-регулятором и аттенуатором, управляемым непосредственно напряжением с выхода регулятора, обеспечивают более высокое качество принимаемого СВЧ-сигнала $u_c(t)$ на входе радиоприемника РПрУ1 при ступенчатых периодических и синусоидальных уменьшениях отношения сигнал/шум на входе приемника РПрУ1, чем аналогичные системы с нечетким регулятором.

Список литературы

1. Богданов А.В., Багров К.А. Управление технологическим процессом парового котлоагрегата с минимизацией энергозатрат на основе многомерного четкого логического регулятора. – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. – 170 с.
2. Богданов А.В., Каяшев А.И. Двухмерный четкий логический регулятор давления и температуры пара парового котла // Управление большими системами: материалы X Всероссийской школы-конференции молодых ученых. – Уфа: УГАТУ, 2013. – 339 с.
3. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: «Радіаматор», 2008. – С. 972; Веселовский О.Н. Очерки по истории электротехники / О.Н. Веселовский, Я.А. Шнейберг. – М.: Изд-во МЭИ, 1993. – 252 с.
4. Гузаиров М.Б., Муравьева Е.А. Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах. – М.: Машиностроение, 2012. – С. 305.
5. Каяшев А.И., Муравьева Е.А., Габитов Р.Ф. SCADA-система на основе многомерного четкого логического регулятора для управления цементной печью // Вестник УГАТУ. Т.14, №4 (39). – Уфа: УГАТУ, 2009. – С.119-125.

О РОЛИ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ В ИЗУЧЕНИИ КУРСА ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

**Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент,
Быковский В.В., канд. техн. наук, доцент,
Ушакова Н.Ю., канд. техн. наук, доцент**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

В современном мире развитие технологий требует от специалистов различных областей глубоких знаний и навыков. В области электротехники это особенно важно, так как она охватывает широкий спектр вопросов, связанных с преобразованием, передачей и использованием электрической энергии. Изучение курсов «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) и «Электротехника и электроника» (ЭЭ) является основой для успешного освоения практических навыков и применения полученных знаний на практике. Расчётно-графические задания (РГЗ) являются важным элементом учебного процесса.

Расчётно-графические задания — это самостоятельные проекты, цель которых — освоение теории на практике. Они содержат большое количество расчётов, векторных диаграмм и графиков; могут быть частью курсовой работы или отдельным заданием. Такие задания помогают студентам приобрести практический опыт, развить навыки анализа и синтеза электрических цепей. В электротехнике, где многие концепции могут показаться абстрактными, расчёты помогают увидеть реальное применение законов и принципов. Например, при решении задач на законы Ома и Кирхгофа.

В данной работе рассматривается роль таких заданий в изучении курса «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ).

Основными задачами выполнения расчётно-графических заданий являются:

- закрепление и углубление теоретических знаний студентов;
- развитие навыков анализа и синтеза электрических цепей;
- формирование умений применять полученные знания на практике.

Для достижения этих задач задания должны быть разнообразными и соответствовать уровню подготовки студентов, но все варианты заданий должны иметь одинаковый уровень сложности. Для этого на этапе разработки заданий следует сохранять основные параметры топологии электрической цепи во всех вариантах, то есть схемы должны содержать одинаковое количество ветвей и узлов.

Расчётно-графические задания могут быть разделены на следующие виды:

- задания на анализ и синтез электрических цепей;
- задания на определение параметров элементов цепи;
- задания на моделирование электрических процессов.

Каждый вид заданий должен включать в себя теоретическую часть, в которой излагаются основные понятия и законы электротехники, и практическую часть, где студенты применяют полученные знания для решения конкретных задач.

Так в первом семестре изучения курса ТОЭ на сегодняшний день обучающиеся Института энергетики, электроники и связи ОГУ выполняют два расчетно-графических задания, требующих от обучающегося выполнить анализ процессов в линейных электрических цепях постоянного и синусоидального тока. В процессе выполнения расчетов студенты закрепляют межпредметные связи, так как для вычислений и построения диаграмм необходимы знания курса математики, а для понимания сути явлений – курса физики. В рамках РГЗ студенты учатся строить модели и схемы замещения электрических цепей, электромагнитных устройств, электрических машин, а также рассчитывать основные эксплуатационные характеристики электротехнического оборудования

Расчётно-графические задания играют важную роль в изучении курса теоретических основ электротехники. Они позволяют студентам:

- закрепить и углубить теоретические знания;
- развить навыки анализа и синтеза электрических цепей;
- научиться применять полученные знания на практике.

Кроме того, выполнение расчётно-графических заданий способствует формированию у студентов самостоятельности, ответственности и творческого подхода к решению задач.

Выполнение РГЗ способствует развитию аналитического мышления. Студенты учатся разбивать сложные проблемы на более простые составляющие и делать выводы. Это важно не только в рамках курса ТОЭ, но и в будущей профессиональной деятельности, где требуется способность к критическому мышлению и решению нестандартных задач.

Работа с РГЗ позволяет углубить понимание ключевых понятий и законов электротехники. Например, при проектировании электрических цепей студенты сталкиваются с необходимостью учитывать различные параметры. Это помогает лучше понять взаимосвязи между этими величинами и их влияние на работу системы.

В будущем многие из студентов будут работать в области проектирования, эксплуатации и обслуживания электрических систем. РГЗ готовят их к реальным задачам, с которыми они столкнутся на практике. Умение правильно рассчитывать параметры электрических цепей, анализировать их поведение и предсказывать результаты - это навыки, которые будут востребованы в их карьере.

РГЗ также способствуют повышению мотивации студентов. Видя результаты своих трудов, они начинают осознавать ценность получаемых знаний. Успешное решение задач может стать источником вдохновения для дальнейшего изучения предмета.

Заключение: таким образом, расчётно-графические задания являются важным элементом учебного процесса при изучении теоретических основ элек-

тротехники. Они позволяют студентам закрепить и углубить теоретические знания, развить навыки анализа и синтеза электрических цепей, а также научиться применять полученные знания на практике. Разнообразие видов заданий и их соответствие уровню подготовки студентов обеспечивают эффективность учебного процесса и способствуют успешному освоению курса теоретических основ электротехники.

РГЗ занимают центральное место в образовательном процессе по электротехнике. Они не только способствуют усвоению теоретического материала, но и развивают практические навыки, необходимые для успешной профессиональной деятельности.

Включение РГЗ в учебный план по электротехнике способствует подготовке специалистов, способных квалифицированно использовать электротехнические устройства в процессе решения проектно-конструкторских задач.

Список литературы

1. Ушакова, Н. Ю. Трансформация дисциплины "Теоретические основы электротехники" [Электронный ресурс] / Н. Ю. Ушакова, Л. В. Быковская // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 1-3 февр. 2024 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Зайцев. - Оренбург : ОГУ, 2024. - . - С. 1098-1101. . - 4 с.

2. Даниловских М. Г., Кумушкина Н. Ю., Ефимова Е. А. К методике организации самостоятельной работы студента колледжа по дисциплине "электротехника" // Теория и практика современной науки. 2022. №3 (81). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-metodike-organizatsii-samostoyatelnoy-raboty-studenta-kolledzha-po-distipline-elektrotehnika> (дата обращения: 16.12.2024).

3. Быковская, Л. В. Опыт использования системы электронного обучения Moodle в преподавании электротехники в вузе [Электронный ресурс] / Л. В. Быковская, В. В. Быковский, Н. Ю. Ушакова // Известия Тульского государственного университета. Педагогика, 2024. - № 1. - С. 8-13. . - 6 с.

ВЫБОР ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Викторова Е.В., Шлейников В.Б., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Актуальность темы исследования:

Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, разработанная в соответствии с Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации», предполагает внедрение современных технологий и методов энергосбережения в промышленности и бытовом секторе. Тема оптимизации системы электроснабжения для индивидуального жилого дома является актуальной в современных условиях, когда энергетическая эффективность и устойчивость энергоснабжения становятся все более важными вопросами.

Оптимизация системы электроснабжения, включающая интеграцию различных источников электроэнергии, позволяет не только снизить зависимость от централизованных источников энергии, но и экономить деньги на коммунальных платежах, поэтому целью работы является:

- оптимизировать систему электроснабжения индивидуального дома по критерию минимизации затрат пользователя на электроэнергию.

Задачи:

- 1) Выполнить анализ научно-технической литературы в области системы электроснабжения частного дома;
- 2) Разработать математическую модель функционирования СЭС на базе различных источников энергии с учётом минимизации затрат пользователя на электроэнергию;
- 3) Программная реализация разработанной модели в MathCad;
- 4) Разработка имитационной модели СЭС индивидуального жилого дома в MatLab;
- 5) Сравнение результатов теоретического и имитационного исследования.

Объект исследования: система электроснабжения индивидуального жилого дома.

Предмет исследования: оптимизация функционирования системы электроснабжения индивидуального жилого дома.

В данной статье мы провели анализ научно-технической литературы в области существующих методик. Были рассмотрены темы:

- 1) Минимизация потерь электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства. Данной темой занимались Авер-

бух М.А., Жилин Е.В., Прокопишин Д.И., где рассматривалась методика статистической оценки и прогнозирования коэффициентов в электроэнергетике, которая включает в себя следующие шаги:

- Сбор данных о потреблении электроэнергии, погодных условиях, ценах на энергоносители и других факторах, влияющих на электропотребление.

- Предварительный анализ данных для выявления трендов и сезонных колебаний, а также исключения выбросов и аномальных значений.

- Построение регрессионных моделей, учитывающих влияние различных факторов на потребление электроэнергии.

- Оценка параметров моделей с использованием статистических методов, таких как метод наименьших квадратов.

- Прогнозирование будущих значений коэффициентов на основе построенных моделей.

- Оценка точности прогнозов с помощью статистических показателей, таких как коэффициент детерминации и среднеквадратическая ошибка.

Эта методика позволяет эффективно предсказывать и управлять электропотреблением, оптимизировать производственные процессы и снизить эксплуатационные затраты в электроэнергетике. Недостаток темы заключается в её ограниченности до минимизации потерь электроэнергии.

2) Методика выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии для локальных энергосистем, изучением которой занимались Соснина Е.Н., Шалухо А.В.

Для выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с учетом эксплуатационных рисков электроснабжения потребителей (ЭРЭП) необходимо провести комплексный анализ. Оценить потребности в энергии, определив потребность в электроэнергии объекта, а также вариабельность этого потребления в разное время суток и в течение года. Необходимо исследовать климатические условия, проанализировав климатические условия на территории, где будет располагаться система ВИЭ, чтобы определить, какие источники энергии (солнечная, ветровая, гидроэнергия и т.д.) будут наиболее эффективными. Также важным является оценить риски, связанные с эксплуатацией выбранных ВИЭ: возможные простои, износ оборудования, погодные условия и другие факторы, которые могут влиять на работоспособность системы.

Проводятся расчеты эффективности работы выбранных ВИЭ и оценка их потенциал для обеспечения стабильного и доступного электроснабжения потребителей, разработка проекта системы ВИЭ с учетом всех полученных данных и оценок, выбрав оптимальное сочетание источников энергии для обеспечения надежного и стабильного электроснабжения.

Также необходим постоянный мониторинг и управление работы ВИЭ, чтобы оперативно реагировать на возможные сбои или проблемы и обеспечить непрерывность электроснабжения потребителей.

Таким образом, сочетание ВИЭ с учетом ЭРЭП требует комплексного анализа различных факторов и разработки оптимального решения, которое обеспечит стабильное и эффективное электроснабжение.

Недостаток рассмотренной методики заключается в ограничении исследования только альтернативными источниками электроэнергии.

3) Некоторые аспекты оптимизационных задач при расчете автономных систем микрогрид, авторами которой являются Кугучева Д.К., Харитонов М.С. В работе применяется методика исследования при помощи искусственных нейронных сетей. Искусственные нейронные сети могут быть использованы для расчета автономных систем микрогрид для оптимизации управления энергией и повышения эффективности системы.

Методика включает в себя следующие шаги:

- Сбор данных о потреблении энергии, производстве энергии и других параметрах системы микрогрид;
- Обучение искусственной нейронной сети на этих данных для прогнозирования будущего потребления и производства энергии;
- Настройка параметров системы микрогрид на основе прогнозов, полученных от нейронной сети, с целью оптимизации работы системы;
- Мониторинг и корректировка работы системы на основе обратной связи и обновленных данных;

Этот подход позволяет учитывать любые параметры, влияющие на режим энергопотребления. Но при нем есть необходимость подготовки обучающей выборки из достаточно большого количества обучающих примеров.

4) Оптимизация размещения и мощности генерации. Изучением данной темы занимались Малькова Я.Ю., Уфа Р.А. В работе рассматривался метод оптимизации целевой функции. Метод оптимизации целевой функции в контексте размещения и мощности генерации включает в себя поиск оптимальных решений для размещения генераторов и определения необходимой мощности для эффективной работы системы.

Для этого можно использовать различные алгоритмы оптимизации. Процесс оптимизации начинается с задания целевой функции, которая может представлять собой минимизацию стоимости производства энергии, максимизацию эффективности работы системы или другие критерии.

Затем проводится поиск оптимального решения, учитывая ограничения, такие как максимальная и минимальная мощность генераторов, доступные ресурсы, требования к надежности системы и другие.

После того как найдено оптимальное решение, можно провести его проверку и анализ для уточнения результатов, и улучшения производительности системы.

Использование методов оптимизации целевой функции позволяет улучшить эффективность и экономическую эффективность системы генерации энергии. В работе представлена полнота исследования. Рассмотрены различные

способы оптимизации. При использовании данного метода возможна запись многокритериальной функции.

Сравнительные характеристики данных методов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление методов

Тема	Основные авторы	Достоинства	Недостатки
Минимизация потерь электроэнергии в системах электроснабжения индивидуального жилищного строительства	Авербух М.А., Жилин Е.В., Прокопишин Д.И.	1) Исследование повышения энергоэффективности в жилищном строительстве	1) Ограниченность темы до минимизации потерь электроэнергии
Методика выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии для локальных энергосистем	Соснина Е.Н., Шалухо А.В.	1) Предложен критерий выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии	1) Ограничение исследования только альтернативными источниками электроэнергии
Некоторые аспекты оптимизационных задач при расчете автономных систем микрогрид (применение искусственных нейронных сетей)	Кугучева Д.К., Харитонов М.С.	1) Учет любых параметров, влияющих на режим энергопотребления 2) Высокая точность прогноза	1) Необходимость подготовки обучающей выборки из достаточно большого количества обучающих примеров
Оптимизация размещения и мощности генерации (метод оптимизации целевой функции)	Малькова Я.Ю., Уфа Р.А.	1) Полнота исследования; 2) Рассмотрены различные способы оптимизации; 3) Простота метода; 4) Возможность записи многокритериальной функции	1) Применено только к генерации.

Приведенный анализ показывает, что целесообразно использовать метод оптимизации целевой функции.

Список литературы

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

2. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, разработанная в соответствии с Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации»

3. Малькова Я.Ю. Разработка алгоритма определения оптимального места и мощности объекта генерации в электрической сети / Я.Ю. Малькова, Р.А. Уфа, Е.А. Мыцко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2021. – № 39. С. 34-53.

4. Козлов, В. А. Электроснабжение городов: учебное пособие / В.А. Козлов–Л.: Энергоатомиздат, 1988.–264с.

5. Шведов, Г. В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети: учебное пособие/Г.В. Шведов. -М.: Издательский дом МЭИ, 2012. 268 с.

6. Соснина Е. Н., Шалухо А. В. Методика выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии для локальных энергосистем [Текст] / Соснина Е. Н., Шалухо А. В. // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексева. — 2012. — № 3 (96). — 215 с.

7. Кугучева Д.К., Харитонов М.С. Некоторые аспекты оптимизационных задач при расчете автономных систем микрогрид [Текст] / Кугучева Д.К., Харитонов М.С. // Вестник Северо-Кавказского Федерального Университета. – 2020. – № 6 (81). — 7-16 с.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ МЕХАНИЗМА КАЧАНИЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МНЛЗ

Воронин Н.С., Смотрин В.А.,
Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) представляет из себя автоматизированный комплекс устройств, который предназначен для реализации всех производственных циклов переплавки металла. Каждый механизм в нём осуществляет технологическую операцию, которая обуславливает требования к используемому электроприводу. Наиболее интересным является кристаллизатор, в котором осуществляется вывод слитка с необходимой толщиной наружной корки. Особенностью электропривода его качания является синусоидальный цикл изменения его скоростей.

Целью данной работы является разбор последовательности расчёта для выбора двигателя механизма качания кристаллизатора на реальном примере.

Задачи работы: разработка кинематической схемы, расчёт основных параметров механизма, построение ключевых графиков работы системы электропривода и определение необходимой мощности двигателя.

Кинематическая схема работы рассматриваемого механизма со всеми обозначениями составных частей представлена на рисунке 1 [1].

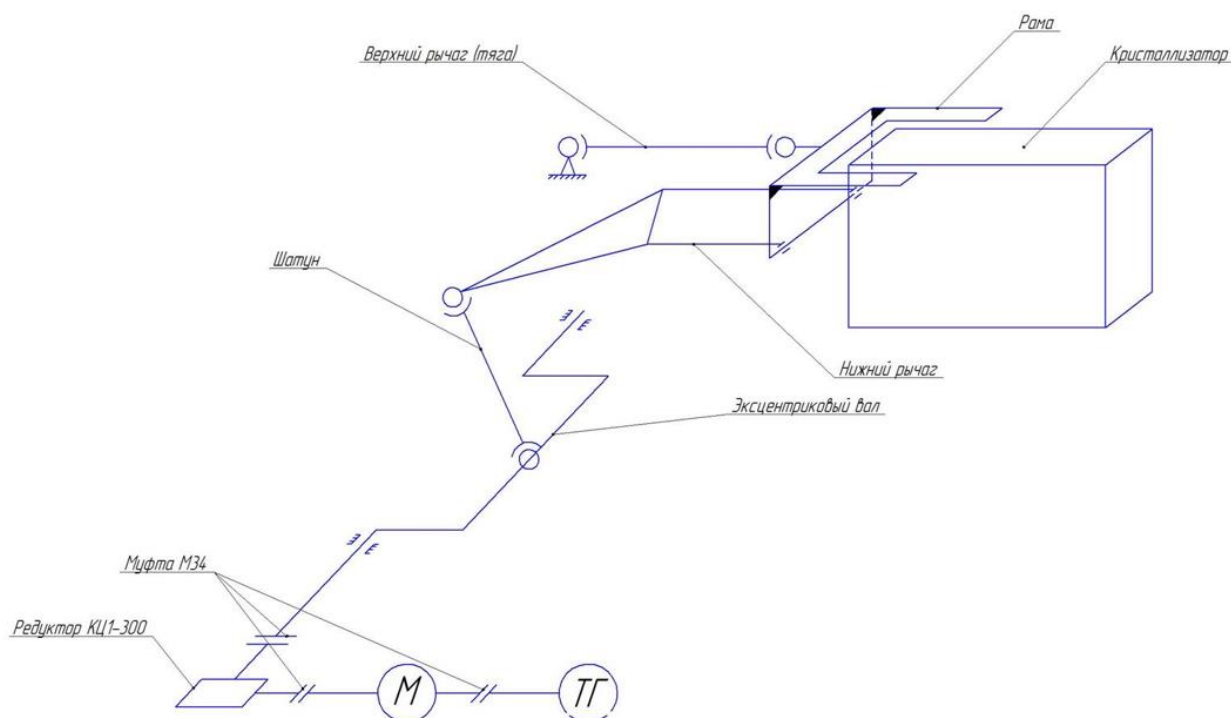


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма качания кристаллизатора

На начальном этапе по кинематической схеме определяется схема приложения нагрузок в процессе работы механизма, как показано на рисунке 2.

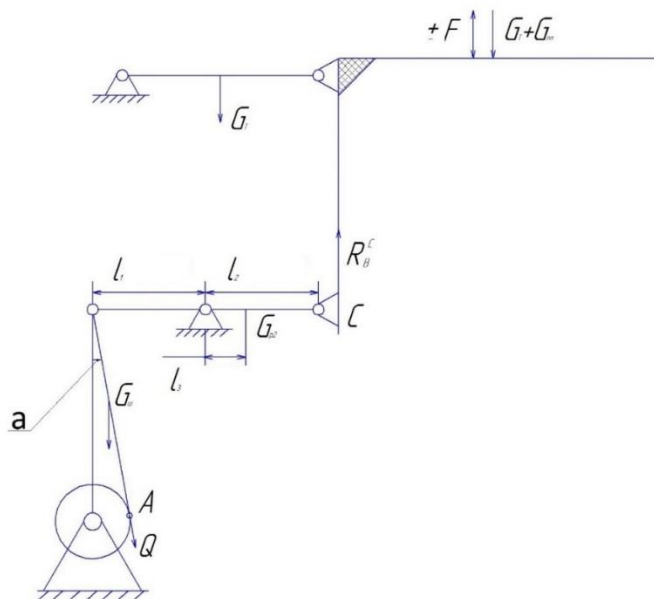


Рисунок 2 – Кинематическая схема приложения нагрузок

Из схемы рисунка 2 находим величину реакции в шарнире С:

$$R_C^B = G_{кр} + G_{пл} + 0,5 \cdot G_T \pm F, \quad (1)$$

где $G_{кр}$ – вес кристаллизатора с рамой и водой;

$G_{пл}$ – вес плиты кристаллизатора;

G_T – вес тяги;

F – усилие сопротивлению перемещению кристаллизатора.

Находится максимальное усилие Q с учётом, что сумма моментов относительно В равна нулю:

$$\sum M_{(B)} = 0;$$

$$R_c^B \cdot l_2 + G_{p2} \cdot l_3 - G_{ш} \cdot l_1 - Q \cdot l_1 \cdot \cos \alpha = 0, \quad (2)$$

Упростим (2):

$$l_2 \cdot (G_{кр} + G_{пл} + 0,5 \cdot G_T \pm F) + G_{p2} \cdot l_3 - G_{ш} \cdot l_1 - Q \cdot l_1 = 0; \quad (3)$$

$$Q = \frac{l_2 \cdot (G_{кр} + G_{нл} + 0,5 \cdot G_T \pm F) + G_{p2} \cdot l_3}{l_1} - G_{ш}; \quad (4)$$

Для движения механизма вниз строим график зависимости скорости движения от функции угла поворота эксцентрика (рисунок 3):

$$V_{кр} = V_{кр.мах} \cdot \cos \alpha, \quad (5)$$

Суммарный статический момент:

$$M_{ст} = M_{пер} + M_{пост}, \quad (6)$$

где $M_{пер}$ – переменная составляющая момента;

$M_{пост}$ – постоянная составляющая момента.

$$M = \frac{M_{пер.экс.}}{i}, \quad (7)$$

где $M_{пер.экс.}$ – переменная составляющая статического момента на валу эксцентрика,

$$M_{пер.экс.} = Q_2 \cdot \varepsilon \cdot \cos \alpha, \quad (8)$$

где ε – величина эксцентриситета,

i – передаточное число редуктора.

Значение постоянной составляющей статического момента – суммарного момента потерь:

$$M_{пост.} = 1,15M_{тр.экс.} + M_{тр.ред.},$$

где $M_{тр.экс.}$ – момент трения в подшипниках эксцентрика;

$M_{тр.ред.}$ – момент трения редуктора.

Момент трения в подшипниках эксцентрика, приведённый к валу двигателя:

$$M_{тр.экс.} = \frac{Q \cdot \mu_n \cdot d}{2 \cdot i}, \quad (10)$$

где μ_n – коэффициент трения в подшипниках эксцентрика;

d_3 – диаметр цапфы эксцентрикового вала;

Составляется сводная таблица расчётов на двенадцати равных угловых интервалах и строятся полученные зависимости, представим их $V_{кр} = f(\alpha)$, $Q = f(\alpha)$, $M_{пер.экс.} = f(\alpha)$; $M_{ст} = f(\alpha)$ на рисунках 3 – 6 соответственно [2, 3].

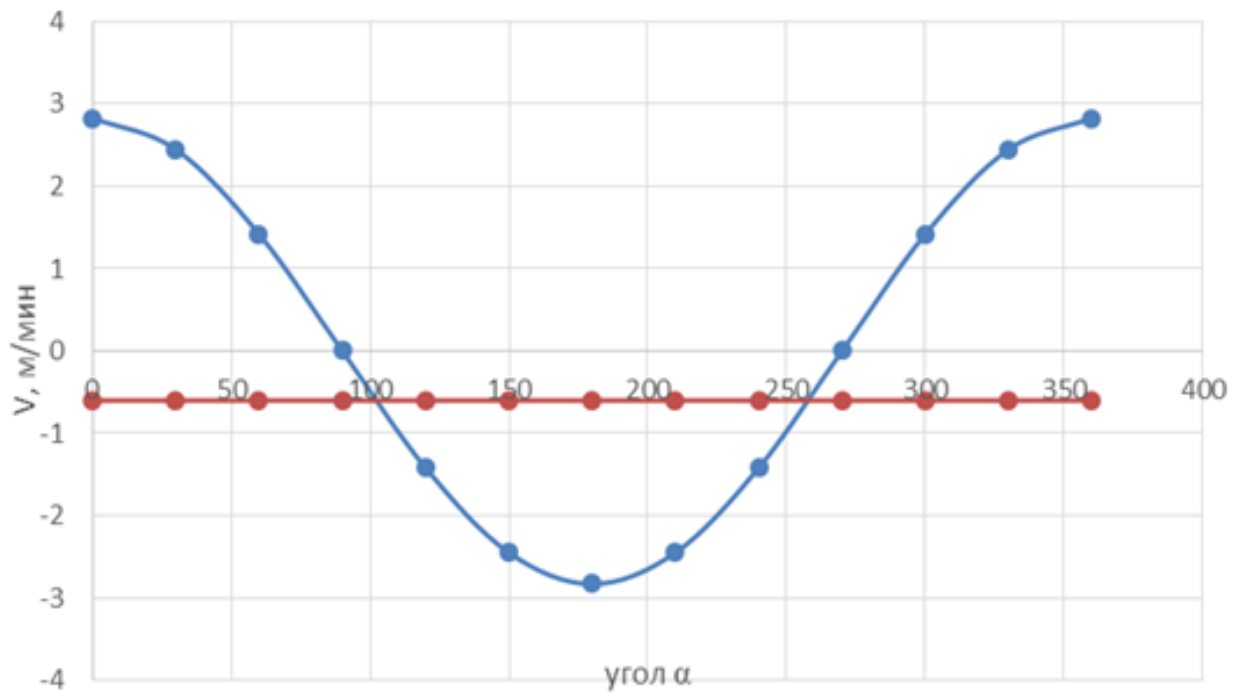


Рисунок 3 – Зависимость $V_{кр} = f(\alpha)$

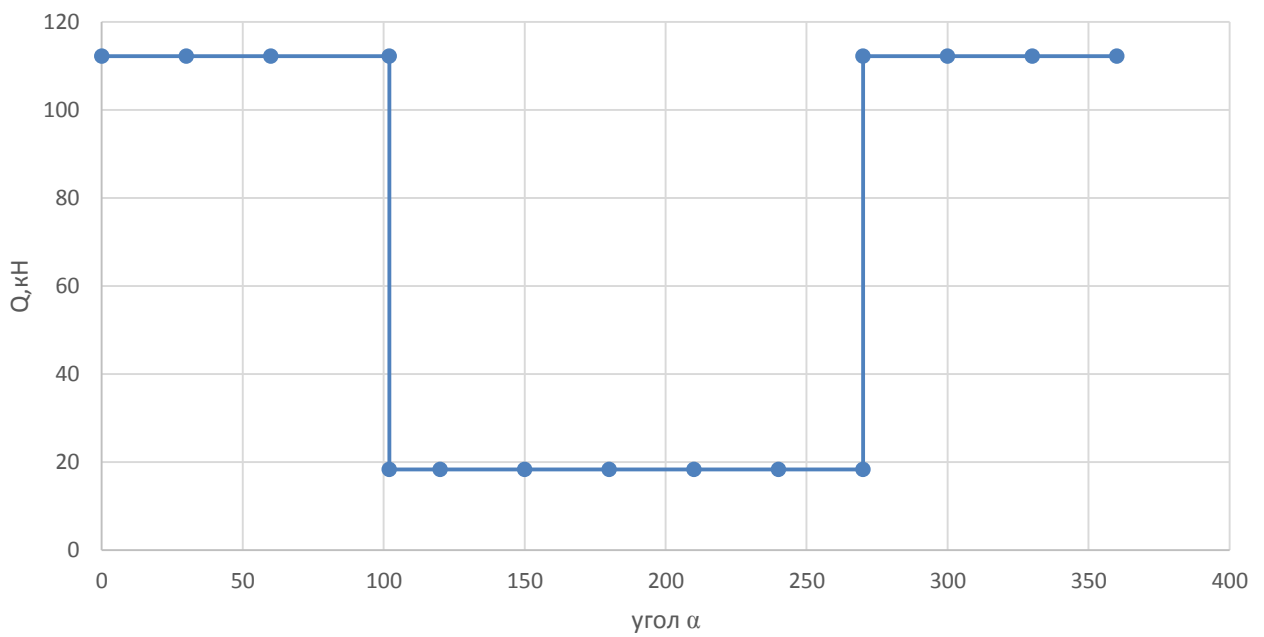


Рисунок 4 – Зависимость $Q = f(\alpha)$

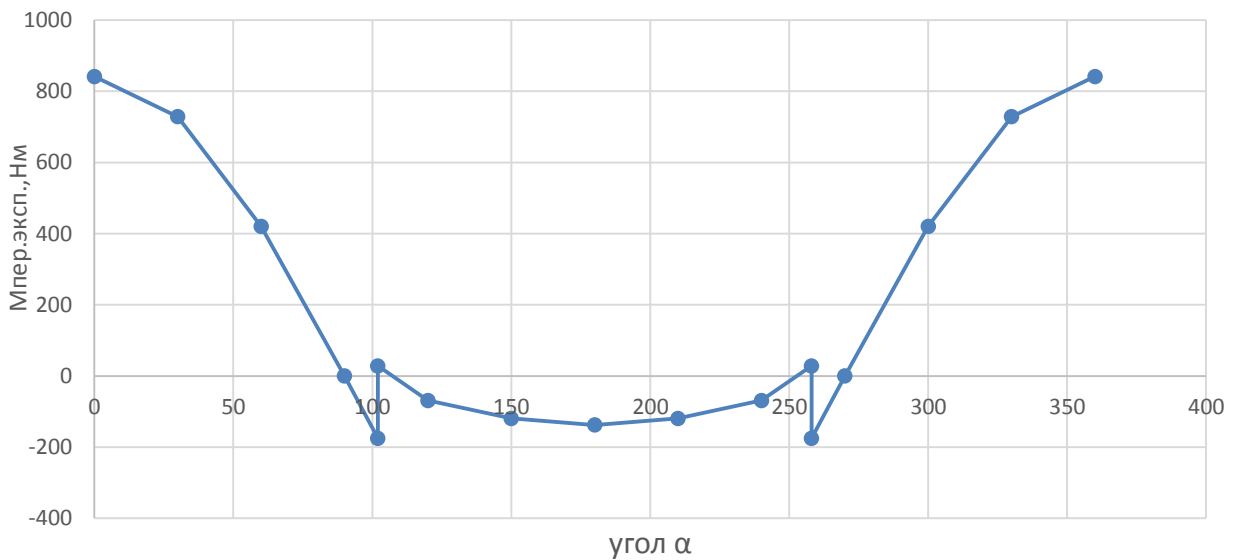


Рисунок 5 – Зависимость $M_{\text{пер.экс.}} = f(\alpha)$

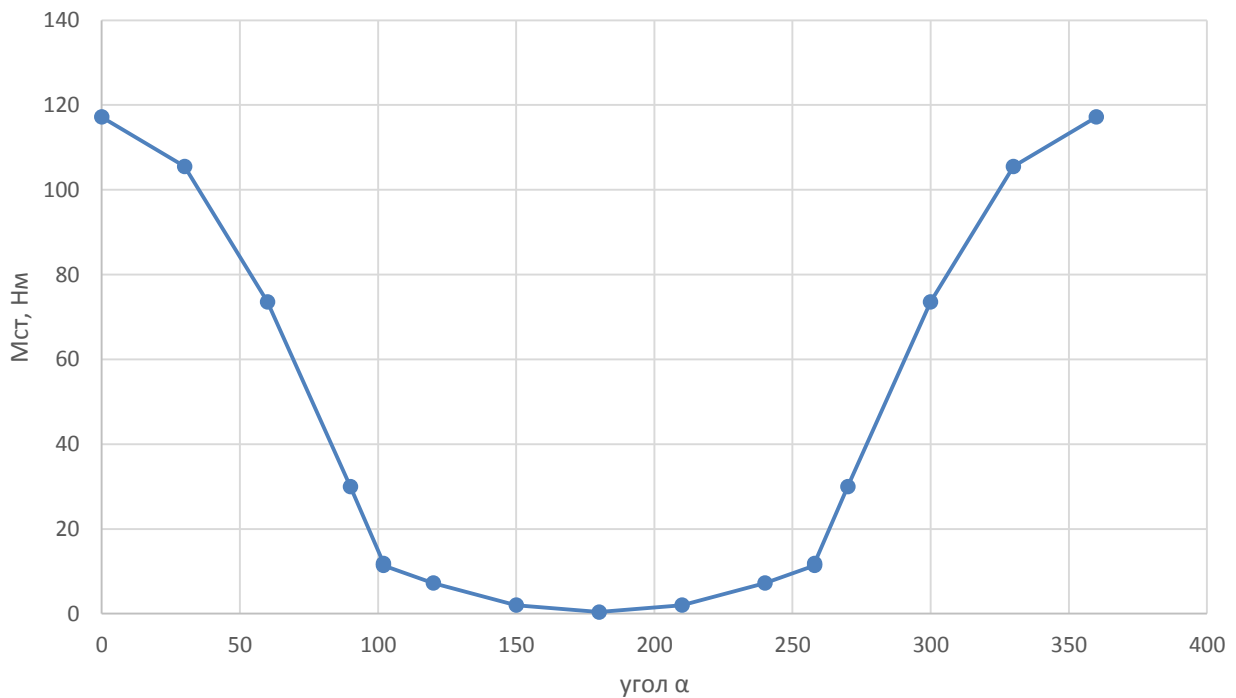


Рисунок 6 – Зависимость $M_{\text{ст.}} = f(\alpha)$

Предварительный выбор двигателя осуществляется по формуле:

$$M_n \geq \kappa_3 \cdot M_{\text{ср.р.}} = \kappa_3 \cdot \frac{1}{t_y} \sum_{i=1}^n M_{ci} \cdot t_i, \quad (11)$$

где M_{ci} – статический момент на участке нагрузочной диаграммы;

t_i – время действия момента;

κ_3 – коэффициент запаса.

Мощность требуемого двигателя:

$$P_n \geq P_{cp.p.} = \frac{1}{t_y} \sum_{i=1}^n P_{ci} \cdot t_i, \quad (12)$$

где P_{ci} – статическая мощность на участке нагрузочной диаграммы.

Оптимальным вариантом выбора двигателя (по стоимости, надёжности и энергопотреблению) считается асинхронный с короткозамкнутым ротором с частотным регулированием скорости.

Список литературы

1. Бровман, М. Я. Непрерывная разливка металлов / М. Я. Бровман. – М.: «ЭКОМЕТ», 2007. – 484 с., – ISBN 5-89594-132-X.
2. Дюдкин, Д. А. Производство стали: книга том 4. Непрерывная разливка металла / Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Смирнов А. Н. – М.: «Теплотехник», Москва 2009. – 528 с. – ISBN 5-98457-087-4.
3. Смирнов, А. Н. Непрерывная разливка стали: учебник / Смирнов А.Н., Куберский С.В., Штепан Е.В. – ДонНТУ, 2007 – 482 с., – ISBN: 978-966-310-250-4.

МЕХАНИЗМ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТИЯ ДВЕРЕЙ ЗДАНИЯ

**Гусев Н. И., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

В последние годы наблюдаются тенденции роста иностранных инвестиций в возобновляемую энергетику. Систематический поиск новых источников энергии связан с ростом цен на ископаемые энергоносители.

Аналитическая оценка используемых, в данный момент, возобновляемых источников энергии (ВИЭ), позволяет делать выбор их применения для различных технических нужд.

Бесспорно, термоядерный синтез Солнца расширяет потенциал использования возобновляемых источников энергии. Одной из главных задач является возможность трансформации ВИЭ в электрическую энергию и сохранения ее в накопителях.

Многие компании, включая Google, уже широко используют ВИЭ и осуществляют инвестирование в развитие этих источников, при этом не исключается полный переход некоторых компаний на ВИЭ.

Известно, что основными источниками ВИЭ считаются энергия Солнца, воды, воздуха. Эти виды энергии являются энергетически безопасными и в свете повторяющихся катаклизмов и экологических катастроф, имеют весьма большие перспективы [1].

В нашей стране применение ВИЭ носит эпизодический характер, причем разработкой и внедрением ВИЭ занимаются лишь отдельные инициаторы. Следует отметить, что нормативно - правовая база для реализации проектов ВИЭ, практически отсутствует, а не возобновляемые источники энергии не являются дефицитными, как в других странах [2].

Преимущества ВИЭ включают снижение выбросов парниковых газов, уменьшение загрязнения окружающей среды и создание новых рабочих мест в зеленых технологиях. Однако существуют и вызовы, такие как необходимость в развитии инфраструктуры, хранении энергии и интеграции ВИЭ в существующие энергетические системы.

Например, в Голландии, вопрос с применением фермерами энергии ветряков на своих территориях, давно решен. В сезон ветров в хозяйствах используется вырабатываемая энергия, а ее излишки сбрасываются в единую государственную сеть, из которой, при необходимости, в период отсутствия ветра энергия забирается, то есть происходит посезонный обмен. Внедрение такой системы в наших, особенно отдаленных, сельских районах, позволило бы решить много проблем, таких как энерго-тепло снабжение жилищного, общественного и промышленного фонда, подачу воды из скважин [3].

Рассматривая эту проблему на уровне Оренбургского государственного университета, можно отметить, что есть возможность использования возобновляемых источников энергии при помощи преобразования механической энергии в электрическую. Процесс ежедневного открытия входных дверей при использовании приложения усилия, то есть механической энергии в момент соприкосновения человека с препятствием (дверью), можно использовать для генерации электрической энергии.

В Оренбургском государственном университете ежедневно проходят более пяти тысяч людей, и игнорировать такую механическую энергию — просто неразумно. Представленный механизм генерации энергии, работающий от открытия двери, может показаться необычным, но он открывает интересные возможности в этой области.

Необходимо решить проблему преобразования механической энергии в электрическую. Можно предложить следующий алгоритм, включающий определенный набор действий. Использование генератора и устройства, которое будет вращать этот генератор. За основу возьмем устройство доводчиков дверей, которое ставится в наше время во многих бюджетных организациях. Именно его можно интегрировать вместе с устройством выработки энергии [4].

Встроенный в дверь рычаг, при открытии двери, который приводит в движение небольшой генератор с помощью зубчатой передачи.

Можно использовать традиционную зубчатую передачу, представляющую собой трехзвенный механизм, включающий зубчатое колесо, шестерню и рейку, которые выполняют роль редуктора для передачи движения между валами.

В качестве генератора можно использовать магнитный генератор постоянного тока, который преобразует механическую энергию в электрическую. Синхронный генератор будет на основе электромагнитной индукции индуцировать ЭДС в проводнике, пересекаемом силовыми линиями магнитного поля [5,6].

Можно применять магнитный генератор (рисунок 1), который состоит из катушек проводника и магнитов для создания магнитного поля. При этом механическая энергия, затраченная в момент толкания двери, будет прикладываться к генератору, и передаваться через систему зубчатой передачи на ротор с расположенными на нем магнитами.

Их вращение изменяет магнитное поле вокруг катушек проводника, образуется индукция электрического тока. Этот ток и будет собираться. Эффективность магнитного генератора зависит от качества магнитов, конструкции катушек, а также скорости вращения.

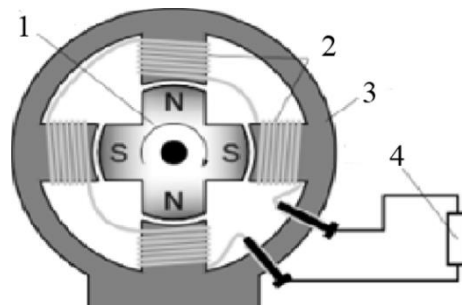


Рисунок 1- Магнитный генератор (1-ротор, 2- обмотки, 3-статор, 4- нагрузка)

Генератор подключен к устройству поглощения энергии, например, аккумулятору, который накапливает заряд и отдает его на необходимый потребитель.

Схема устройства для преобразование механической энергии в электрическую (рисунок 2). Дверь открывается, и тянет за собой рычаг, закрепленный к двери, второй конец рычага, закрепленный на стене, имеет на конце ведущую шестерню, которая передает передаточное движение на ведомую шестерню. Передаточное отношение 1:5. Ведомая шестерня вращает вал магнитного генератора, и создает возбуждение в обмотке, образуя электрический ток. Вся подвижность осуществляется с помощью подшипников.

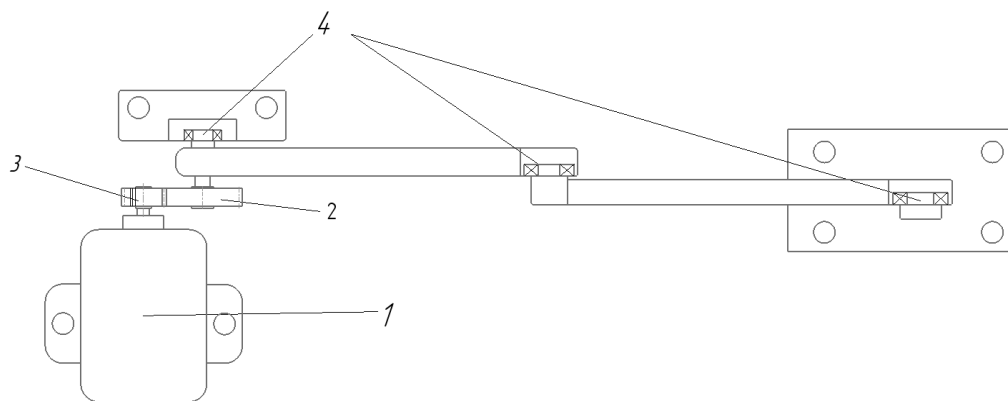


Рисунок 2 – Схема устройства для преобразование механической энергии в электрическую (1-генератор, 2-зубчатое колесо, 3- шестерня, 4-подшипник)

Таким образом, энергию, которая образуется с помощью этого механизма, можно использовать для освещения помещений, а в холодный период года для электрических тепловых пушек, устанавливаемых на входе в учебные корпуса. При необходимости возможно накопление энергии и использования для других целей.

Доказательной базой, целесообразности использования предлагаемого механизма, может служить следующий расчет. Определим количество энергии вырабатываемое устройством для преобразование механической энергии в электрическую за один проход человека. В качестве генератора используем генератор с постоянным магнитом со следующими характеристиками:

Полярное число: 4

Номинальная мощность: 350 Вт
Напряжение: 24В холостой ток: 16.4А
Номинальная скорость: 2700 об/мин

Теперь рассмотрим, как он связан с рычагом. Рычаг поворачивается только на пол-оборота, но благодаря шестерёнкам, которые соединяют рычаг с генератором, последний делает 5 оборотов за каждый оборот рычага. Это называется передаточным числом 1:5.

Итак, когда рычаг повернулся на пол-оборота, генератор сделал 2,5 оборота (потому что $0,5 * 5 = 2,5$).

Каждый полный оборот генератора создаёт два электрических цикла (так как у него 4 полюса), поэтому за 2,5 оборота генератор создаст 5 циклов электричества.

Определим время, затраченное на этот процесс. Если полная скорость генератора — 2700 оборотов в минуту, то 2,5 оборота займут около 0,056 секунды (это приблизительно 2,5 делённое на 2700 и переведённое в секунды).

Теперь, зная, что генератор вырабатывает 350 ватт мощности, можно рассчитать, сколько энергии он произведет за эти 0,056 секунды. Энергия определяется по формуле: мощность, умноженная на время. То есть 350 ватт умноженные на 0,056 секунд дают примерно 19,6 джоулей энергии.

Таким образом, за пол-оборота рычага генератор выработал 19,6 джоулей электроэнергии.

Казалось бы, очень мало, но при прохождении около 5000 человек через дверь, выработанной энергии хватит, что бы освещать что-либо 10 ваттной диодной лампой около 3 часов. Если изменять передаточное число, то можно увеличить количество вырабатываемой электроэнергии. Так же рационально будет установка нескольких таких механизмов на несколько дверей.

Преимущества:

- Простая конструкция.
- Низкая стоимость.
- Использование энергии от ежедневных действий.

Недостатки:

- Низкая эффективность.
- Недостаточное количество энергии для большинства нужд.
- Механический износ.

Генерация энергии на основе открытия двери, хотя и находится на ранней стадии развития, представляет собой перспективный подход к использованию энергии, которая уже доступна. Дальнейшее совершенствование и оптимизация данной технологии могут привести к созданию эффективных и доступных источников энергии, которые помогут снизить зависимость от традиционных источников и сделать мир более экологичным

Кроме того, внедрение подобных технологий в учебных заведениях способствует формированию у студентов осознанного отношения к вопросам энергосбережения и устойчивого развития. Такие проекты могут служить примером

того, как небольшие изменения в повседневной жизни могут привести к значительным улучшениям в области экологии и энергоэффективности.

Список литературы

1. Захожий К.А. Возобновляемые источники энергии // Colloquium-journal. 2020. №28 (80)
2. Нехорошев Д.Д., Ермоленко Е.А. Возобновляемые источники энергии // Эпоха науки. 2021. №25
3. Мустафакулов А. А. Исследование возобновляемых источников энергии. А. А. Мустафакулов, Э. Р. Муртазин, А. А. Сафаров // Ученый XXI века. 2016. №3-1 (16)
4. Дербенева В.А., Иванова А.П. Проектирование приборов и систем в электротехнике. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Материалы Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург, 2024. С. 1153-1155.
5. Дорохин А.М., Иванова А.П. Новые возможности генерации электроэнергии -живая энергетика. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург, 2023. С. 1086-1090.
6. Турсунов Р.Н., Иванова А.П. Огу - генерирование электроэнергии с помощью турникетов. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург, 2023. С. 1183-1187.

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В ЦЕЛЯХ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БОЛТОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

**Дмитриев А.Д., Косенко А.Д., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Одной из причин возникновения аварийных ситуаций в электроэнергетических системах является неудовлетворительное состояние токоведущих частей, а именно разъемных контактных соединений, которые теряют свою надежность с течением времени в силу старения в нормальных режимах работы, а также от повышенного износа при работе в режиме перегрузки или при наличии агрессивной среды. В случае выхода из рабочего состояния болтового электрического соединения, которое относится к разъемному типу, неизбежны прямые материальные потери, нарушение технологического процесса промышленных предприятий, недоотпуск электроэнергии в городских сетях бытового потребления.

Таким образом тема исследования оценки состояния болтовых электрических соединений является актуальной.

В качестве решения проблем, связанных с диагностикой большого количества контактных соединений, предлагается использование методов комплексной диагностики болтовых электрических соединений.

Для разработки системы оценки необходимы опытные данные о нагреве болтового контактного соединения при различных значениях протекающего через него тока с разными условиями его физико-механического состояния. В связи с этим предлагается к проведению описанный в работе эксперимент.

Первично для проведения эксперимента необходим объект, через который будет протекать электрический ток. Так как исследование проводится в отношении болтовых разъемных соединений выбираются плоские медные шины, твердые (ШМТ), которые обычно применяются в низковольтных электрических установках шины используют для подсоединения нескольких отдельных электрических цепей. В высоковольтных установках шинами, как правило, соединяют друг с другом высоковольтные устройства в тех местах, где требуется низкое активное и реактивное сопротивление, это позволяет существенно сократить площадь установки, расход материала и трудозатраты. В открытых установках — электрических подстанциях и высоковольтных распределительных устройствах — шины могут эксплуатироваться на открытом воздухе без защитных кожухов.

Большинство конфигураций шин не изолированы для более лучшего конвективного охлаждения и обеспечения наиболее легкого доступа к ним, но, в связи с этим подвергаются воздействию окружающей среды, что негативно влияет на их состояние.

Для эксперимента были выбраны медные шины сечением 50x5 мм (рисунки 1-3). Длительно допустимый переменный ток для данных шин равен 860А.



Рисунок 1 – Медные шины сечением 5x50 мм

У двух имеющихся образцов, с одной стороны, по 4 отверстия, со второй по 6 (диаметром 10 мм) под крепежные элементы. Это способствует увеличению количества конфигураций болтового соединения шин, помимо остальных факторов, которые будут описаны далее.



Рисунок 2 – Медные шины сечением 5x50 мм



Рисунок 3 – Медные шины сечением 5x50 мм

Функцию крепежных элементов выполняют стальные болты с диаметром резьбы М10 класса прочности 8,8 (согласно ГОСТ 10434-82 не ниже 5,8), длиной 40 мм (согласно ГОСТ 10434-82 не менее 25 мм для сборки толщиной 10 мм), гайки, шайбы, пружинные шайбы (согласно ГОСТ 10434-82 необходимо

использовать контргайку в дополнение к основной, или заменять ее пружинной шайбой, для предотвращения самоотвинчивания соединения) (рисунки 4-5).



Рисунок 4 – Соединенные медные шины



Рисунок 5 – Соединенные медные шины

Согласно ГОСТ 10434-82 «Соединения контактные электрические классификация. Общие технические требования» крутящий момент для данного болтового соединения должен составлять $45 \pm 1,5$ Н·м. Таким крутящим моментом и были затянуты болты сертифицированным динамометрическим ключом.

Источником тока в данном эксперименте служит установка измерительная для прогрузки первичным током РЕТОМ-30КА НПП «Динамика» (рисунок 6).

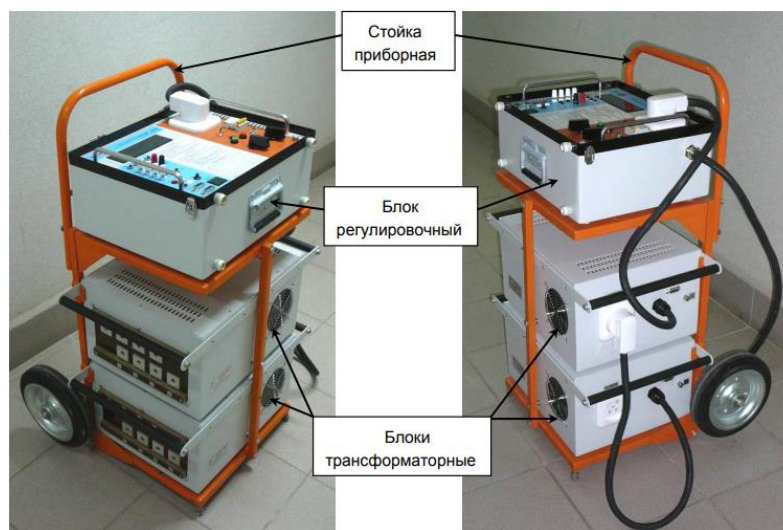


Рисунок 6 – Внешний вид установки Ретом 30-КА

Согласно руководству по эксплуатации для выдачи необходимого тока в длительном режиме до 1 часа необходимо включение выходных обмоток трансформаторного блока по схеме «4 параллельно» (рисунок 7) или при использовании двух трансформаторных блоков по схеме «4 параллельно + 2 последовательно» (рисунок 8).

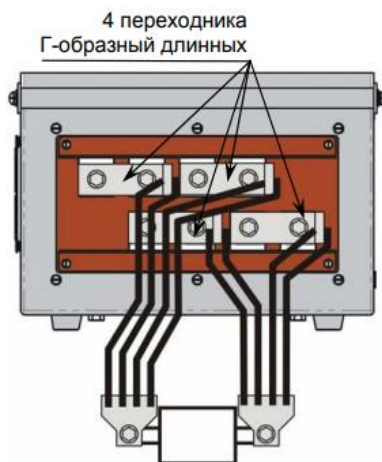


Рисунок 7 – Изображение схемы один блок, 4 обмотки параллельно

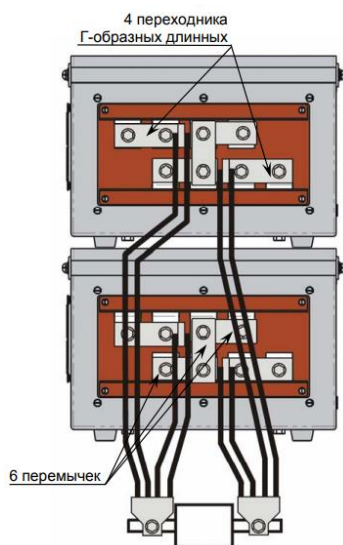


Рисунок 8 – Изображение схемы два блока, 4 обмотки параллельно и 2 обмотки последовательно

Времятоковые и нагрузочные характеристики одного и двух трансформаторных блоков представлены на рисунках 7-8.

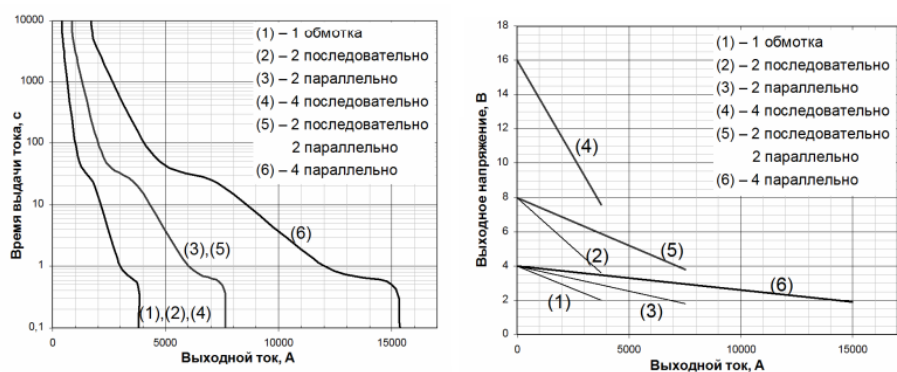


Рисунок 7 – Времятоковые и нагрузочные характеристики одного трансформаторного блока

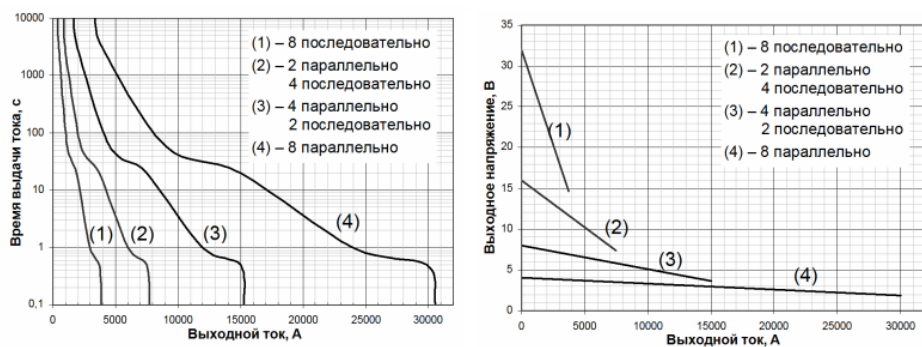


Рисунок 8 – Времятоковые и нагрузочные характеристики двух трансформаторных блоков

Необходимо помнить, что работа РЕТОМ-30КА связана с выдачей токов свыше 1 кА, которые генерируют электромагнитные поля, вредные для здоровья человека при продолжительном воздействии. Поэтому, при выдаче тока в течение 1 с и более стоит находиться на расстоянии 3 - 5 м от схемы испытания.

Для измерения переходного сопротивления различных конфигураций болтового соединения необходим миллиметр.

Для выполнения данной работы выбрано средство измерений МИКО-8. Конструктивно МИКО-8 состоит из измерительного блока и измерительного кабеля с зажимами или щупами для подключения к измеряемому сопротивлению с одной стороны, а с другой – разъемом для подключения к миллиметру. Внешний вид МИКО-8 приведен на рисунке 9. Измерительный блок состоит из блока питания, микро-ЭВМ с дисплеем и клавиатурой, источника тока и напряжения, блока измерительных шунтов и двух аналого-цифровых преобразователей. Для подключения к измеряемому объекту используется четырехзажимная схема подключения.



Рисунок 9 – Внешний вид миллиомметра МИКО-8

Диапазон измерений электрического сопротивления постоянному току составляет от 10^{-5} до 10^4 Ом.

Для измерения температуры болтового соединения в процессе нагрева будут использоваться два прибора: тепловизионный инфракрасный термометр FLIR TG165 (рисунок 10).



Рисунок 10 – Внешний вид инфракрасного термометра FLIR TG165

Данный прибор позволяет дистанционно измерять температуру объекта в диапазоне от -25°C до 380°C , с температурным разрешением $0,1^{\circ}\text{C}$ и точностью $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ или $\pm 1,5\%$ в зависимости от того, что больше.

Тепловизор создает изображение, используя разницу температур. Самые горячие области на тепловом изображении окрашены в белый цвет, а самые холодные в черный. Остальные области отображаются в оттенках серого.

Тепловая камера отличается от световой в источнике энергии, на основе которой создается изображение. Для создания изображения с помощью обычной камеры требуется источник видимого света, отражающегося от объектов и падающего в объектив камеры, а тепловизионная камера воспринимает энергию, которая непосредственно излучается объектом в инфракрасном диапазоне. Энергия ИК – излучения является частью полного спектра волнового излучения, который называется электромагнитным спектром. ИК – излучение отличается частотой и длиной волны, располагающимися между видимой и микроволновой частью электромагнитного спектра. Тепловизоры создают изображение на основе преобразования ИК – излучения различной интенсивности, невидимого для человеческого глаза.

Вторым источником получения данных о температуре объекта будет являться термопара используемая с мультиметром АКПП-2201. Данный источник будет выдавать информацию о температуре методом непосредственного контакта с объектом, для большей достоверности показаний.

АКПП-2201 позволяет проводить измерения в диапазоне от -200°C до 1760°C , в зависимости от типа используемой термопары.

Температура и влажность в помещении, где будет проводиться эксперимент, будут измерены комплексным электронным прибором.

Целью проведения эксперимента является проверка и уточнение функциональной зависимости температуры контактного соединения от тока, протекающего через него.

После подготовки всего оборудования и объекта, над которым проводится эксперимент необходимо зафиксировать (подробно описать и сделать фотографию) состояние поверхности места контакта двух медных шин, скрепляемых болтовыми крепежными элементами и его конфигурацию (количество крепежа, момент затяжки).

На основе полученных результатов планируется осуществить модернизацию традиционных методик диагностики контактных соединений, а именно прогнозирование фактической температуры соединения для номинального режима работы при режиме работы отличном от номинального (Пример: необходимо произвести диагностику состояния болтовых контактных соединений шин на П/ст или РУ, а в момент обследования исходя из потребностей технологического процесса соединение слабо нагружено и неизвестно каким будет поведение объекта при полной нагрузке, при этом необходимо дать оценку его состояния, имея фактическое значение тока, в таком случае разработки на базе результатов эксперимента будут полезны).

Конкретно в данном эксперименте будет производиться исследование медных проводников (твердые шины прямоугольного сечения), имеющих болтовое контактное соединение, с различным состоянием поверхности места контакта, механической конфигурации.

При проведении эксперимента рекомендуется избегать изменения условий окружающей среды.

Для проведения измерений необходимо установить геометрические размеры опытного образца, установить $I_{\text{НОМ}}$ -номинальный ток контактного соединения:

- 1) Установить конфигурацию испытательного образца;
- 2) Измерить скорость воздушного потока, при его наличии;
- 3) Произвести замер влажности среды;
- 4) Измерить температуру окружающей среды;
- 5) Установить коэффициент дефектности образца путем сравнения переходного сопротивления контактного соединения с сопротивлением проводника той же длины;
- 6) Произвести замер переходного сопротивления контактного соединения до нагрева;

7) Произвести замер температуры соединения до нагрева;

8) Произвести нагрев образца путем пропускания через него тока (в ходе проведения эксперимента необходимо нагружать болтовое электрическое соединение токами в интервале от $0,1$ до $1,2 \cdot I_{НОМ}$ контактного соединения, с изменением уровня тока $0,1 \cdot I_{НОМ}$ между замерами;

9) Произвести замер температуры соединения после нагрева, (дожидаясь установления температуры в течение 5 минут);

10) Произвести замер переходного сопротивления контактного соединения после нагрева (только после отключения источника тока);

Полученные экспериментальные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Полученные экспериментальные данные

№ опыта	Токр, °С	Vв, м/с	Вид соединения	Iном, А	Iфакт, А	Тизм1, °С	Тизм2, °С	R1, МОм	R2, МОм
1	25	0	1	...	20	25	39	13	25
2	25	0	1	...	50	25	42	14	27
3

Проведение эксперимент подразумевает многократное его проведение при различном состоянии объекта.

Рассматриваемые случаи:

- Состояние шин, выведенных из эксплуатации после длительного хранения в сухом складском помещении;

- Состояние шин после искусственного состаривания и ухудшения их состояния;

- Состояние шин после полной подготовки согласно ВСН 164-82 «Инструкция по проектированию и монтажу контактных соединений шин между собой и с выводами электротехнических устройств».

Каждый из экспериментов следует провести при различном моменте затяжки крепежных элементов от $0,5$ до $1,2 \cdot M_{НОМ}$, Н·м, с шагом $\approx 5 \cdot Н \cdot м$.

В данной работе выполнен выбор необходимых материалов и оборудования для проведения экспериментальной части разработки системы оценки. Изучены правила использования оборудования повышенной опасности для человека. Разработана методика проведения эксперимента по нагреву медных шин путем пропускания через них электрического тока.

Список литературы

1. Бредихин, А.М. Электрические контактные соединения / А.М. Бредихин, М.В. Хомяков. – М.: Энергия, 1980. – 168 с.

2. ГОСТ 17441-84 Соединения контактные электрические. Правила приемки и методы испытаний. – М., 1984. – 20 с.

3. ГОСТ 10434-82 Соединения контактные электрические. Классификация. Общие технические требования

4. ВСН 164-82 «Инструкция по проектированию и монтажу контактных соединений шин между собой и с выводами электротехнических устройств».
5. РД 34.45-51.300-97. Объемы и нормы испытаний электрооборудования. - М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 256 с.
6. РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ БРГА.441322.025 РЭ РЕТОМ 30-КА / НПП «Динамика». – Режим доступа: <https://pribor-energy.ru/uploads/documents/rukovodstvo-po-ekspluatacii-retom-30-6029.pdf> – дата обращения: 10.01.2025.

ВЫБОР МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КЛАСТЕРА «ТРАНСФОРМАТОРЫ» СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНА ГОРОДА

**Дубовсков К.Ю., Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Современное городское хозяйство невозможно организовать без надежной и эффективной работы системы электроснабжения (СЭС), обеспечивающей устойчивое функционирование всех сфер жизнедеятельности гражданского населения и стратегических объектов. Электроснабжение города играет ключевую роль в поддержании работы промышленных предприятий и объектов инфраструктуры. В этой связи особую важность приобретает диагностика и анализ состояния оборудования на всех уровнях передачи и распределения электроэнергии.

Особое внимание уделяется высоковольтным объектам, к которым относятся силовые трансформаторы, образующие одноименный кластер и являющиеся одним из основных элементов системы электроснабжения. С течением времени, под воздействием эксплуатационных нагрузок, окружающей среды и иных факторов, оборудование кластера изнашивается, что снижает его эффективность и надежность работы. Недостаточная оценка состояния трансформаторов может привести к отказам в работе электросетей, а также к значительным экономическим и социальным последствиям. Таким образом, разработка методики оценки состояния кластера «Трансформаторы» системы электроснабжения района города является актуальной задачей.

Диагностика состояния кластеров электрооборудования (трансформаторов, выключателей, кабельных линий и т.п.) предполагает анализ не только большого объема данных об эксплуатационных параметрах отдельных объектов кластера, но и оценку состава (номенклатуры) и структуры кластера. С учетом того, что часть анализируемой информации может быть недостоверно определена, то на первом этапе решения поставленной в работе задачи необходимо выявить метод или методы, которые будут адекватно оценивать работоспособность кластера «Трансформаторы» в целом с учетом возможной неопределенности исходных данных.

Проведенный анализ методов, используемых для оценки состояния электрооборудования системы электроснабжения, позволил условно разделить их на 4 группы.

К первой группе относятся методы экспертного оценивания [1,2]. Это методы, основанные на мнениях специалистов в конкретной области. Такие подходы часто применяются в условиях нехватки данных или их неполноты. Экспертные оценки позволяют собрать информацию о состоянии электрооборудо-

вания, выявить возможные проблемы и оценить затраты на его обслуживание и ремонт.

Наиболее распространёнными методами экспертных оценок являются:

1) Метод непосредственного оценивания, который заключается в приписывании каждому оцениваемому объекту соответствующего количества баллов.

2) Метод парных сравнений, направленный на установление предпочтения при попарном сравнении объектов.

3) Метод обобщенных ранжировок, предполагающий ранжирование объектов по величине сумм рангов, полученных каждым объектом от всех экспертов.

К достоинствам методов этой группы можно отнести следующие факторы:

– возможность оценивания объекта при невозможности применения количественных методов;

– возможность применения в условиях неполноты и неточности данных;

– наличие хорошо разработанных алгоритмов;

– быстрота получения результатов.

К недостаткам можно отнести:

– субъективность оценки;

– зависимость от квалификации экспертов;

– существенные затраты на привлечение опытных экспертов;

– трудоёмкость процедуры получения оценок от экспертов.

Ко второй группе отнесены методы на основе нечеткой логики [3,4], которая позволяет работать с неполными, неточными или неопределёнными данными. В отличие от традиционной логики, где утверждения могут быть либо истинными, либо ложными (то есть принимают два значения: 1 или 0), нечеткая логика работает с промежуточными значениями, представляя степень истинности между 0 и 1.

В системах нечеткого вывода, занимающего центральное место в нечеткой логике, выделяют следующие укрупнённые модули работы:

– «Фаззификация» – в результате работы модуля осуществляется преобразование точных числовых значений входных переменных в нечеткие категории (лингвистические переменные) посредством функций принадлежности;

– «Интеллектуальная система» – модуль, работа которого связана с использованием базы лингвистических правил в форме нечетких лингвистических высказываний «ЕСЛИ ..., ТО...»;

– «Дефаззификация» – модуль, в котором осуществляется преобразование выходных нечетких результатов обратно в четкие (числовые) значения.

К достоинствам систем нечеткого вывода следует отнести:

– возможность оперирования нечеткими входными данными, формализацией нечетких критериев оценки объекта;

– возможность проведения качественных оценок входных данных и выходных результатов;

– **лёгкая интеграция** с существующими традиционными методами.

К недостаткам могут быть отнесены:

- отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем;
- зависимость результата от корректности сформулированных рассуждений;
- необходимость разработки многочисленной базы нечетких правил;
- отсутствие возможностей машинного обучения и распознавания образов, как у нейронных сетей;
- повышенная сложность вычислений;
- необходимость тщательного тестирования для валидации и верификации разработанной нечеткой модели.

К третьей группе отнесены методы нечеткой кластеризации [5, 6]. Это методы кластеризации, которые определяют принадлежность каждого объекта одновременно всем кластерам с некоторой (частичной) степенью принадлежности. Степень принадлежности к каждому кластеру характеризуется числом от 0 до 1, и сумма этих степеней для одного объекта обычно равна 1. В отличие от классической (жёсткой) кластеризации, где каждый объект однозначно принадлежит только одному кластеру, в нечеткой кластеризации объекты могут быть «размыты» распределены между кластерами.

Алгоритмы, используемые в нечеткой кластеризации:

1) Алгоритм FCM (Fuzzy C-Means) – это один из самых популярных методов нечеткой кластеризации. Алгоритм FCM основан на минимизации функции, которая учитывает степени принадлежности объектов к кластерам.

2) Алгоритм Gustafson-Kessel (GK) – этот алгоритм является модификацией FCM и позволяет учитывать эллипсоидные формы кластеров, что делает его более гибким для некоторых типов данных. Вместо обычного евклидова расстояния для измерения расстояний между объектами и центрами кластеров используется более сложная метрика.

3) Алгоритм Fuzzy C-Means with Possibilistic Constraints (FCM-PC) – этот метод расширяет FCM, добавляя возможность управления степенью принадлежности объектов через дополнительные возможности и ограничения.

К достоинствам методов этой группы можно отнести следующее:

- гибкость – получение перекрывающихся кластеров с функциями принадлежности элементов каждому из них;
- надежность – устойчивость к выбросам и шуму данных;
- интерпретируемость – детальное понимание структуры данных.

К недостаткам следует отнести:

- зависимость качества разбиения от многих факторов: количества кластеров; начального определения центроидов, критериев разбиения и т.д.;
- сведение данных к компактному виду может вызывать искажения;
- сложность реализации.

К четвертой группе отнесен техноценологический подход [7]. В основе этого метода лежит описание сложных систем на основе ценологических понятий. Таким образом, система электроснабжения рассматривается как искусственная система, представляющая собой сообщество изделий (электрооборудования) со слабыми связями и слабым взаимодействием. Для оценки состоя-

ния системы-техноценоза используются гиперболические распределения (Н-распределения): ранговое параметрическое; ранговидовое и видовое. В работе [7] дана характеристика оптимальной системы-техноценоза, которая по своим функциональным показателям характеризуется максимальной энтропией и обеспечивает выполнение своих функциональных задач. Для такой системы значение рангового коэффициента Н-распределений находится в интервале от 0,5 до 1,5.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- рассмотрение объекта как целостной системы, возможность корректной и оперативной обработки поступающей информации;
- оценка номенклатуры объектов, образующих техноценоз, и их параметров;
- возможность управления формированием техноценоза на основе объективных закономерностей его развития.

К недостаткам этого метода можно отнести:

- невозможность получения оценки технического (работоспособного) состояния объектов;
- необходимость учета динамики изменения техноценоза при его оптимизации.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов оценки состояния электрооборудования

Методы оценки	Достоинства	Недостатки	Литература
1	2	3	4
Методы экспертного оценивания	<ul style="list-style-type: none"> • Возможность качественного оценивания объекта. • Применение в условиях неопределенности данных. • Наличие разработанных алгоритмов. • Быстрота получения результатов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Субъективность оценки. • Зависимость от квалификации экспертов. • Существенные затраты на привлечение опытных экспертов. • Трудоёмкость процедуры получения оценок. 	Г.А. Кириллов А.А. Сартисон Д.В. Танфильева А.Н. Тюрин А.Г. Степанов Р.Н. Ибрагимов Р.Г. Ильдарханов

Продолжение таблицы 1

Методы оценки	Достоинства	Недостатки	Литература
1	2	3	4
Нечеткая логика	<ul style="list-style-type: none"> • Работа с нечеткими, неопределенными данными. • Возможность получения качественных оценок объекта. • Лёгкая интеграция с традиционными методами. 	<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие стандартной методики конструирования. • Зависимость результата от корректности сформированных рассуждений. • Необходимость разработки многочисленной базы нечетких правил. • Отсутствие возможностей машинного обучения и распознавания образов. • Повышенная сложность вычислений. • Необходимость тщательного тестирования. 	<p>Е.В. Кравец В. А. Шахнин Р. Ю. Беляев Э.С. Пирвердиев Т.С. Анисимов</p>
Нечеткая кластеризация	<ul style="list-style-type: none"> • Гибкость. • Надежность. • Интерпретируемость. 	<ul style="list-style-type: none"> • Зависимость качества разбиения от различных факторов. • Сведение данных к компактному виду может вызывать искажения. • Сложность реализации. 	<p>В.А. Силич М.С. Куприянов Ю.И. Кудинов Л.А. Влацкая</p>
Техноценологический подход	<ul style="list-style-type: none"> • Рассмотрение объекта как целостной системы. • Оценка номенклатуры объектов и их параметров. • Возможность управления формированием техноценоза. 	<ul style="list-style-type: none"> • Невозможность получения оценки технического состояния объектов. • Необходимость учета динамики изменения техноценоза при его оптимизации. 	<p>В.И. Гнатюк Л.А. Семенова А.Ю Южанников Б.И. Кудрин В.А. Седнеев</p>

Проведенный анализ методов, используемых в оценке технического состояния оборудования, позволил заключить, что они сосредоточены на исследовании отдельных элементов системы электроснабжения. Однако, в оценке состояния кластера «Трансформаторы» необходимо рассматривать не каждый трансформатор отдельно, а получить комплексный (интегральный) показатель для всего кластера. Помимо этого для оценки работоспособного состояния кла-

стера «Трансформаторы» необходим анализ больших массивов данных с учетом их возможной неопределенности. Таким образом, авторами предложено разработать методику комплексной оценки состояния кластера «Трансформаторы» на основе интеграции техноценологического подхода и метода нечеткой кластеризации.

Список литературы

1. Танфильева, Д.В. Разработка моделей диагностики и оценки состояния силовых маслонаполненных трансформаторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / Д. В. Танфильева. – Новосибирск, 2012. – 22 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19379376> – дата обращения: 17.12.2024.
2. Ильдарханов, Р.Г. Совершенствование метода оценки состояния обмоток силовых трансформаторов на основе их частотных характеристик : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.01 / Р. Г. Ильдарханов. – Казань, 2011. – 16 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19348877> – дата обращения: 19.12.2024.
3. Шахнин В.А. Использование нечеткой логики в электрошумовой диагностике высоковольтного оборудования / В. А. Шахнин, Я. В. Мироненко // Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте. – 2013. – №1. – С. 401-408. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21366920> – дата обращения: 19.12.2024.
4. Беляев, Р.Ю. Оптимизация электромагнитной обстановки в электроэнергетических системах на основе нечеткой логики : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / Р. Ю. Беляев. – Красноярск, 2009. – 27 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15955429> – дата обращения: 23.12.2024.
5. Кудинов, Ю.И. Нечеткое моделирование и кластеризация / Ю. И. Кудинов, И. Ю. Кудинов // Проблемы управления. – 2008. – №1. – С. 2-10. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nechetkoe-modelirovanie-i-klasterizatsiya> – дата обращения: 23.12.2024.
6. Семенова, Л.А. Разработка методики принятия решения по развитию систем электроснабжения с применением техноценологического подхода и теории нечетких множеств : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 / Л. А. Семенова. – Екатеринбург, 2010. – 22 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19326450> – дата обращения: 20.12.2024.
7. Гнатюк, В.И. Оптимальное управление электропотреблением регионального электротехнического комплекса (техноценоза) / В. И. Гнатюк. – М.: Институт народнохозяйственного прогнозирования, 2005. – 148 с. – Режим доступа: <https://ecfor.ru/wp-content/uploads/seminar/energo/z64.pdf> – дата обращения: 20.12.2024.

К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

**Звонов М.Н., Воронин Н.С., Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Во всём мире отмечается устойчивая динамика роста производства электрической энергии, генерируемой возобновляемыми источниками электроэнергии. Солнечные панели играют важную роль в этом процессе. Согласно информации за 2020 год, солнечная энергетика составляет примерно 2,6% от общего объёма выработки электроэнергии в мире [1].

За 2022 год в России суммарная мощность солнечных электростанций составила 1,8 ГВт, что составляет 0,72 % от всей мощности энергосистемы. В Оренбургской области мощность солнечных электростанций составляет 360 МВт, что примерно 21 % от всей мощности солнечных электростанций в стране. До 2035 года планируется ввести в эксплуатацию новые солнечные мощности порядка 2,4 ГВт [2].

Для поддержания высокой эффективности работы солнечных панелей их поверхности необходимо поддерживать в чистоте. Все вышеперечисленные факты наглядно иллюстрируют актуальность идеи создания отечественной системы автоматизированной очистки.

Для её разработки, необходимо учитывать уже существующий опыт производства и эксплуатации подобных систем. С этой целью проведём обзор имеющихся устройств и разберём их преимущества и недостатки.

В данной обзорной статье представлены основные способы очистки солнечных панелей: ручной (механизированный), машинный, автоматизированный и электростатический. Рассмотрены их преимущества и недостатки.

При ручной очистке работник непосредственно взаимодействует с поверхностью солнечных панелей для удаления загрязнений [3,4,5].

К достоинствам данного способа можно отнести:

1. Стоимость;
2. Низкие требования к квалификации обслуживающего персонала;
3. При помощи данного способа можно очищать панели, расположенные в труднодоступных местах;
4. Данный способ применим как для очистки снега, так и для очистки грязи, то есть способ всепогодный;
5. Данный способ безопасен для верхнего слоя панелей.

К недостаткам данного метода можно отнести:

1. Низкую скорость очистки;
2. Высокую трудо- и времязатратность очистки;
3. Неравномерность очистки;
4. Высокую зависимость от погодных условий;

5. Высокую травмоопасность.

Данный способ подходит для небольших парков солнечной энергетики.

Способ частичной компенсации некоторых недостатков ручной очистки осуществляется при помощи использования ручных машинок, конструкции которых можно разделить на три типа: ручные машинки с круглыми щётками, цилиндрическими и примитивные модели [3,5].

Использование таких устройств значительно повышает скорость очистки, однако они требуют подготовленных площадок, так как им необходима подача воды по шлангу. Их применение значительно уменьшает трудозатраты, но не освобождает от ручного труда.

Для больших солнечных электростанций целесообразно применение специальных моющих машин. Они представляют собой автоматические щётки, устанавливаемые на гидравлические манипуляторы, которые монтируются на тракторную технику или на роботизированные платформы (рисунок 1). Во втором случае осуществляется только сухая очистка, так как современные роботизированные платформы не состоят в состоянии перевозить на себе достаточный объём воды.

Манипулятор должен быть оборудован датчиком давления, чтобы не превысить максимально допустимую нагрузку на солнечные панели. Установленные параметры системы зависят от производителя [4, 6].



Рисунок 1 – Машинная очистка солнечных панелей

Машинная очистка обладает следующими преимуществами:

1. Высокой скоростью очистки;
2. Высокой эффективностью очистки;
3. Всесезонностью.

К недостаткам машинной чистки можно отнести:

1. Высокую стоимость;
2. Неприменимость данного способа очистки для СП, расположенных в труднодоступных местах;
3. Необходимость наличия путей подъезда и их содержание;
4. Повышенный износ внешнего слоя СП;
5. Низкая надёжность;

6. Обязательное присутствие персонала;
7. Высокие требования к квалификации обслуживающего персонала;
8. Не все комплексы способны осуществлять влажную очистку.

Итого машинный способ очистки подходит только для больших солнечных электростанций с соответствующим штатом эксплуатационного и обслуживающего персонала.

Существует большое количество автоматизированных систем очистки солнечных панелей, но всех их можно разделить на две большие группы: большие роботы, что перемещаются по раме и небольшие роботы,двигающиеся по самим солнечным панелям.

Первый тип роботов представляет собой «большую щётку», которая передвигается вдоль панели по направляющим (рисунок 2) [4,5,7].



Рисунок 2 – Большой робот

Характеристики подобных устройств очистки зависят от модели и производителя. Управление подобными роботами осуществляется по беспроводному каналу связи, они предназначены для эксплуатации в больших солнечных парках «закрепленные за своим рядом». На корпусе устанавливается небольшая солнечная панель для подзарядки встроенного аккумулятора. В автоматическом режиме регулируется высота щётки. Подача воды осуществляется по шлангу.

Небольшие роботы свободно перемещаются по поверхности солнечных панелей, что увеличивает возможности их применения для любых типоразмеров. Они бывают самых различных конструкций: с собственным бачком и с внешней подачей воды [3,7,8].

Робот со встроенным бачком для воды представлен в общем виде на рисунке 3. Его характеристики зависят от модели и производителя. Их оснащают камерами и они могут управляться с пульта дистанционного управления на расстоянии до 30 метров.



Рисунок 3 – Малый робот с встроенным бачком для воды

Робот с внешней подачей воды представлен на рисунке 4. Он управляется с пульта дистанционного управления, подобные модели не оснащают камерами, из-за этого работник должен находиться рядом с панелью во время процесса очистки.



Рисунок 4 – Малый робот с внешней подачей воды

Выделим следующие преимущества и недостатки использования автоматизированных роботов очистки солнечных панелей.

Достоинства:

1. Высокая скорость очистки;
2. Высокая эффективность очистки;
3. Возможность круглосуточной работы;
4. Простота поддержания графика очистки;
5. Применим для панелей, расположенных в труднодоступных местах.

К недостаткам данного способа можно отнести:

1. Высокую стоимость;
2. Не все комплексы оснащаются камерами/датчиками;
3. Не все комплексы способны производить влажную очистку СП;
4. Не способность большинства комплексов работать при отрицательных температурах, производить очистку снега. Отсутствует всесезонность.

Существует большое разнообразие моделей автоматизированных систем, которые предназначены для работ в различных по размеру парках солнечных панелей. Их общим недостатком является неспособность очистки снега, что в условиях Оренбургской области является критическим недостатком. При создании собственной автоматизированной системы должен быть учтен этот «момент».

В последние годы набирают популярность способы очистки при помощи электростатических методов. Их безусловным преимуществом является отсутствие необходимости в использовании воды, также они гораздо безопаснее для внешнего слоя поверхности панели. Суть данного способа заключается в создании электрического поля между прозрачным проводящим слоем, нанесенным на поверхность панели, и электродом, расположенным на некотором расстоянии от нее.

При приложении напряжения к электродам, между ними возникает электрическое поле. Частицы пыли, находящиеся на поверхности панели, приобретают заряд. Заряженные частицы, подчиняясь силе электростатического притяжения, перемещаются от поверхности панели к электроду с противоположным зарядом. Этот процесс позволяет удалять пыль и другие загрязнения без использования механических средств, что предотвращает царапины и повреждения поверхности панели. Иллюстрация этого способа очистки приведена на рисунке 5.

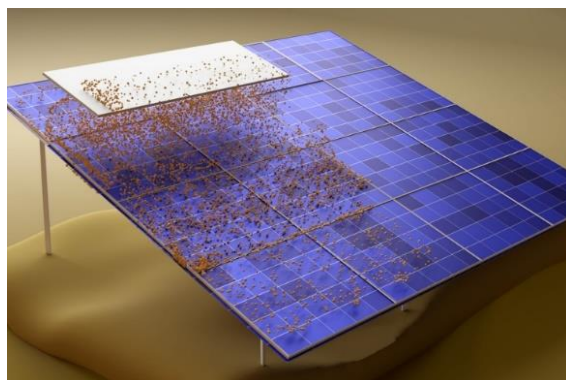


Рисунок 5 – Демонстрация электростатического способа очистки

В новом исследовании МИТ [9] за авторством профессора машиностроения Крипы Варнаси, опубликованном в журнале «Science Advances» были определены: заряд пыли с помощью экспериментов Стокса, пороговый электрический потенциал для удаления пыли. Было выявлено что определенная влажность воздуха критически важна для успешного удаления пыли электростатическим способом. Так пока относительная влажность воздуха не превышает 30% система успешно справляется с очищением от пыли, при повышении относительной влажности воздуха эффективность системы стремительно падает.

В результате был создан лабораторный прототип электростатической системы очистки. В ходе лабораторных испытаний показавший отличную эффективность, в результате его работы СП очищалась от пыли и начинала вырабатывать до 95% своей номинальной мощности.

Недостатками завершающего метода является его ограниченность для загрязнителя – пыль, а также сложность конструкции и необходимость наличия высококвалифицированного обслуживающего персонала.

Список литературы

1. Отчёт международного энергетического агентства (IEA) о рынке возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>

2. Анализ развития солнечной энергетики в России [Электронный ресурс] Константин Суслов, Александр Дорошин, Валерий Кабанов, Данила Перверзев – Режим доступа: <https://energypolicy.ru/analiz-razvitiya-solnechnoj-energetiki-v-rossii/energoperehod/2023/19/31/>.

3. A Review on Solar Panel Cleaning Through Chemical Self-cleaning Method [Электронный ресурс] Ashish Jaswal, Manoj Kumar Sinha – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/348454734_A_Review_on_Solar_Panel_Cleaning_Through_Chemical_Self-cleaning_Method

4. A Review on Solar Panel Cleaning Systems and Techniques [Электронный ресурс] Nouhaila Najmi, Ahmed Rachid – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/376363902_A_Review_on_Solar_Panel_Cleaning_Systems_and_Techniques

5. Innovative and Sustainable Approach to Clean Solar Panel and Increase Solar Energy Generation [Электронный ресурс] Shrish Patel, James St. John, Alexander Orlov – Режим доступа: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2022-05/2.4.11-36-Orlov%20-Cleaning%20solar%20panels.pdf>

6. Automatic Solar Panel Cleaning Benefits [Электронный ресурс] Muhammad Ahmad Baballe – Режим доступа: <https://juniperpublishers.com/aibm/pdf/AIBM.MS.ID.555965.pdf>

7. Solar Panels Cleaning System [Электронный ресурс] Dr. Sadiq Alhuwaid, Dr. Samir El-Nakla – Режим доступа: https://pmu.edu.sa/attachments/academics/pdf/udp/coe/dept/ee/solar_panels_cleaning_system_presentation.pdf

8. Solar Panels Dirt Monitoring and Cleaning for Performance Improvement: A Systematic Review on Smart Systems [Электронный ресурс] Benjamin Oluwamuyiwa Olorunfemi, Omolola A. Ogbolumani, Nnamdi Nwulu – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/17/10920>

9. Electrostatic dust removal using adsorbed moisture–assisted charge induction for sustainable operation of solar panels [Электронный ресурс] Sreedath Panat, Kripa K. Varanasi – Режим доступа: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abm0078>

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕКУРРЕНТНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

**Канайкина К.А., Косенко А.Д., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Долгосрочное прогнозирование электропотребления — одна из ключевых задач в управлении энергосистемами, позволяющих эффективно планировать ресурсы и минимизировать затраты. В связи с увеличением сложности энергосистем и разнообразия потребителей, традиционные методы прогнозирования часто оказываются недостаточно точными.

Современные достижения в области глубокого обучения, в частности архитектура LSTM (Long Short-Term Memory), предоставляют новые возможности для анализа и прогнозирования временных рядов. Применение LSTM позволяет учитывать долгосрочные зависимости, что особенно важно для электропотребления, где спрос зависит как от сезонных колебаний, так и от специфических факторов. [1]

В данной работе рассматривается реализация долгосрочного прогнозирования электропотребления в имитационной среде Matlab на основе данных низковольтных потребителей за 5 лет, собранных ежемесячно. Основная цель заключается в создании модели, способной точно предсказывать будущее потребление электроэнергии.

На первом этапе необходимо загрузить данные. Значения потребления хранятся в файле «PotreblenieData.mat». Данные представляют собой массив ячеек, в котором каждая ячейка содержит последовательность временных рядов на основании потребляемого значения электроэнергии (рисунок 1, а)). Затем создается визуализация первых четырех последовательностей (рисунок 2). Программный код показан на рисунке 1,б).

data{1, 1}			
	1	2	3
1	1440	133.4000	9732
2	1226	101.9000	7600
3	1177	101.5000	7604
4	1009	103.7000	8449
5	971	85.7000	7466
6	1006	106.9000	6618
7	698	128	7876
8	535	119	7089
9	561	128	6464
10	843	103	6013
11	1044	114	8802
12	1293	135	8526
13	1428	149	8744
14	1073	110	8880
15	385	124	9732
16	853	127	9732
17	861	373	9732
18	1063	215	7720
19	460	211	7248
20	376	258	7064
21	628	200	8888
22	958	171	6972
23	1155	216	9112
24	1445	232	9948
25	1474	238	9456
26	673	284	9200
27	1009	333	8888
28	1032	314	8692
29	810	442	8052
30	902	341	7808
31	606	372	7228
32	273	327	7656
33	267	352	7464
34	1151	278	7088
35	1232	305	11008
36	996	288	8972
37	1037	306	10812

а)

```

1 load PotreblenieData.mat
2 data(1:4)
3 numChannels = size(data{1},2)
4 figure
5 tiledlayout(2,2)
6 for i = 1:4
7     nexttile
8     stackedplot(data{i})
9 data
10 xlabel("Time Step")
11 end
12 numObservations = numel(data);
13 idxTrain = 1:floor(0.9*numObservations);
14 idxTest = floor(0.9*numObservations)+1:numObservations;
15 dataTrain = data(idxTrain);
16 dataTest = data(idxTest);

```

б)

Рисунок 1 – а) пример содержания одной ячейки «PotreblenieData.mat», б) листинг программного кода

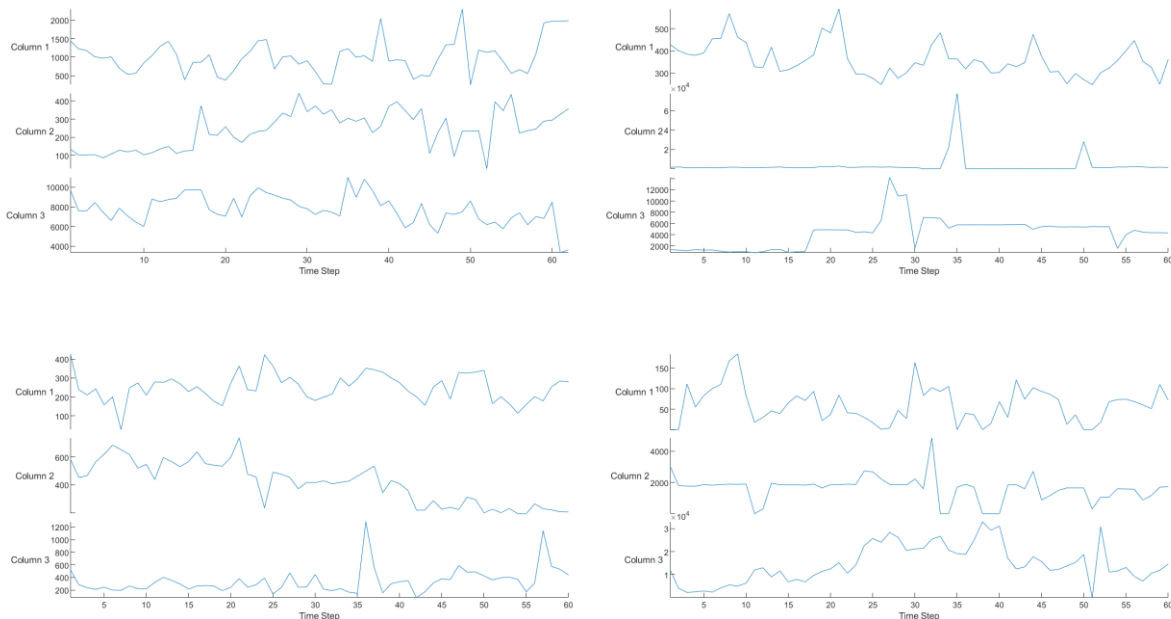


Рисунок 2 – Визуализация первых четырех последовательностей

Затем происходит разделение данных на обучающую и тестовую выборки. На этом этапе определяется общее количество последовательностей (numObservations), 90% наблюдений используются для обучения (индексы от 1 до 90% от общего числа), а оставшиеся 10% — для тестирования. dataTrain и dataTest содержат соответствующие подмассивы данных. На этом же этапе

осуществляется подготовка данных для обучения и их нормализация. Программный код показан на рисунке 3.

```
12 numObservations = numel(data);
13 idxTrain = 1:floor(0.9*numObservations);
14 idxTest = floor(0.9*numObservations)+1:numObservations;
15 dataTrain = data(idxTrain);
16 dataTest = data(idxTest);
17 numObservationsTrain = numel(dataTrain);
18 XTrain = cell(numObservationsTrain,1);
19 TTrain = cell(numObservationsTrain,1);
20 for n = 1:numObservationsTrain
21     X = dataTrain{n};
22     XTrain{n} = X(1:end-1,:);
23     TTrain{n} = X(2:end,:);
24 end
25 muX = mean(cell2mat(XTrain));
26 sigmaX = std(cell2mat(XTrain),0);
27
28 muT = mean(cell2mat(TTrain));
29 sigmaT = std(cell2mat(TTrain),0);
30 for n = 1:numel(XTrain)
31     XTrain{n} = (XTrain{n} - muX) ./ sigmaX;
32     TTrain{n} = (TTrain{n} - muT) ./ sigmaT;
33 end
```

Рисунок 3 – Листинг программного кода

Далее определяется архитектура LSTM нейронной сети со 128 скрытыми единицами. В качестве обучающего алгоритма здесь используется оптимизатор Adam, который отличается относительно хорошей результативностью применения. Задается максимальное количество эпох для обучения — 200. Для больших наборов данных может быть достаточно меньшего числа эпох для достижения хорошей модели. Программный код показан на рисунке 4.

```
34 layers = [
35     sequenceInputLayer(numChannels)
36     lstmLayer(128)
37     fullyConnectedLayer(numChannels)];
38 options = trainingOptions("adam", ...
39     MaxEpochs=200, ...
40     SequencePaddingDirection="left", ...
41     Shuffle="every-epoch", ...
42     Plots="training-progress", ...
43     Verbose=false);
```

Рисунок 4 – Листинг программного кода

Далее происходит непосредственно обучение рекуррентной нейронной сети с помощью функции `trainnet`, характеризующейся значениями `XTrain`, `TTrain`, `mse` — это входные, выходные данные и среднеквадратичная ошибка соответственно. Затем сеть тестируется, проходит этап подготовки данных, прогнозирует значения `YTest` с помощью функции `minibatchpredict` на основе тестовых данных `XTest` (рисунок 5). Наконец сеть вычисляет среднеквадратичную ошибку (RMSE), а затем строит гистограмму ее значений, полученных для тестовых наблюдений. Более низкие значения RMSE указывают на большую точность (рисунок 6). Вычисляется среднее значение RMSE для всех тестовых наблюдений, что позволяет получить общую оценку производительности модели по тестовому набору данных.


```

44 net = trainnet(XTrain,TTrain,layers,"mse",options);
45 numObservationsTest = numel(dataTest);
46 XTest = cell(numObservationsTest,1);
47 TTest = cell(numObservationsTest,1);
48 for n = 1:numObservationsTest
49     X = dataTest{n};
50     XTest{n} = (X(1:end-1,:) - muX) ./ sigmaX;
51     TTest{n} = (X(2:end,:) - muT) ./ sigmaT;
52 end
53 YTest = minibatchpredict(net,XTest, ...
54     SequencePaddingDirection="left", ...
55     UniformOutput=false);
56 for n = 1:numObservationsTest
57     T = TTest{n};
58
59     sequenceLength = size(T,1);
60
61     Y = YTest{n}(end-sequenceLength+1:end,:);
62
63     err(n) = rmse(Y,T,"all");
64 end
65 figure
66 histogram(err)
67 xlabel("RMSE")
68 ylabel("Frequency")
69 mean(err,"all")
70 idx = 2;
71 X = XTest{idx};
72 T = TTest{idx};
73
74 figure
75 stackedplot(X,DisplayLabels="Channel " + (1:numChannels))
76 xlabel("Time Step")
77 title("Test Observation " + idx)

```

Рисунок 5 – Листинг программного кода

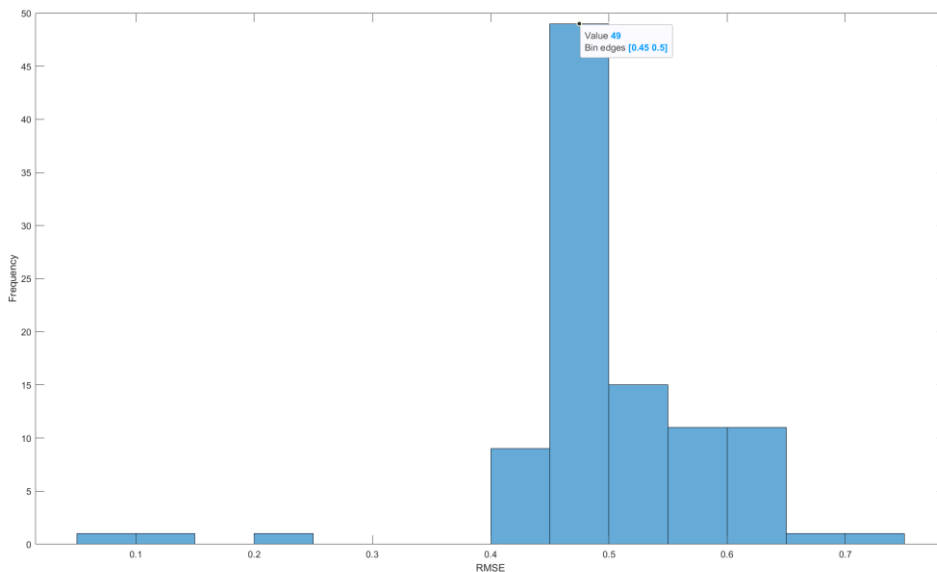


Рисунок 6 – Визуализация ошибки

На рисунке 7 приведена часть программного кода, реализующая метод открытого прогнозирования. Затем происходит сравнение предсказаний с входными значениями. Визуализация на графиках процесса прогнозирования значений потребления с использованием RNN в режиме открытого прогнозирования и его результаты представлены на рисунке 8.

```

81 net = resetState(net);
82 offset = 45;
83 [Z,state] = predict(net,X(1:offset,:));
84 net.State = state;
85
86 numTimeSteps = size(X,1);
87 numPredictionTimeSteps = numTimeSteps - offset;
88 Y = zeros(numPredictionTimeSteps,numChannels);
89 Y(1,:) = Z(end,1);
90
91 for t = 1:numPredictionTimeSteps-1
92     Xt = X(offset+t,:);
93     [Y(t+1,:),state] = predict(net,Xt);
94     net.State = state;
95 end
96
97 figure
98 t = tiledlayout(numChannels,1);
99 title(t,"Open Loop Forecasting")
100
101 for i = 1:numChannels
102     nexttile
103     plot(X(:,i))
104     hold on
105     plot(offset:numTimeSteps,[X(offset,i) Y(:,i)'],'--')
106     ylabel("Channel " + i)
107 end
108
109 xlabel("Time Step")
110 nexttile(1)
111 legend(["Input" "Forecasted"])

```

Рисунок 7 – Листинг программного кода

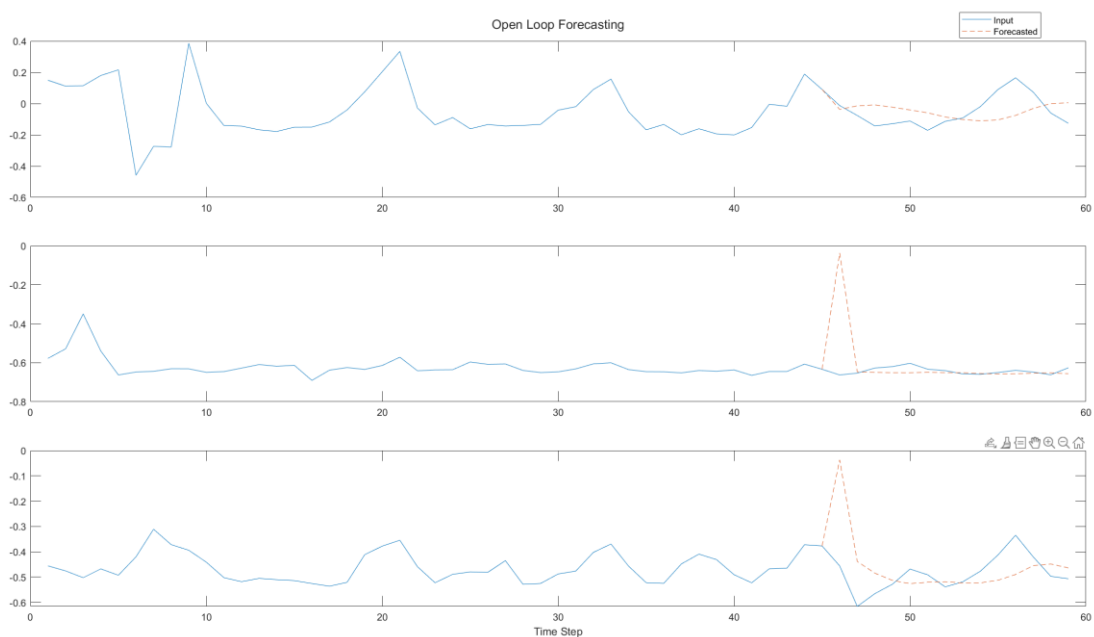


Рисунок 8 – Визуализация результатов прогнозирования

Полученная модель требует дальнейшего тестирования, поскольку выдает недостаточно точные значения. На основании результатов тестирования необходимо будет внести доработки в модель, заключающиеся, например, в оптимизации гиперпараметров.

Список литературы

1. Николенко С., Глубокое обучение / С., Николенко, А. Кадурич, Е. Архангельская. — СПб.: Питер, 2018. — 480 с.: ил. — (Серия «Библиотека программиста»)

АНАЛИЗ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

**Ковалев Е.А., Шлейников В.Б., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Сегодня трудно представить себе существование в современном мире без электрической энергии, ведь именно она является неотъемлемым условием для комфортной жизни общества. Учитывая современную «технологическую гонку», а также постепенное повышение цен на электрическую энергию, неизбежен рост микрогенерации в индивидуальных домохозяйствах. Учитывая основной вид застройки в сельской местности рост объектов с микрогенерацией будет особенно актуальным в ближайшем будущем.

В процессе передачи и распределения электроэнергии неизбежно возникают потери, которые могут достигать 10-15% от общего объема потребляемой энергии.

Потери электроэнергии в электрических сетях представляют собой значительную проблему, влияющую на эффективность и надежность энергоснабжения. Эти потери возникают в ходе транспортировки электрического тока от генератора до потребителя и могут быть обусловлены как техническими, так и нетехническими факторами.

Эффективное управление потерями электроэнергии требует комплексного подхода, включающего модернизацию инфраструктуры, внедрение новых технологий и усиление контроля. Это не только повысит эффективность энергосистемы, но и позволит сохранить природные ресурсы, способствуя устойчивому развитию.

Потери электрической энергии делят на четыре категории:

- 1). Технические потери, которые возникают из-за физических процессов при трансмиссии электроэнергии по электрическим сетям и выражаются в преобразовании части этой энергии в тепло внутри компонентов сети. На теоретическом уровне такие потери можно определить, установив соответствующие измерительные приборы, которые фиксируют вход и выход электроэнергии на определенном объекте. Однако на практике точно оценить реальное значение потерь с учётом измерительных инструментов весьма сложно.
- 2). Потери электроэнергии, вызванные ошибками измерений (недоучет).
- 3). Расход энергии на внутренние нужды подстанций и для устранения наледи, что необходимо для функционирования технологического оборудования подстанций и линий электропередач, а также для обеспечения жизнедеятельности обслуживающего персонала.

4). Коммерческие потери, которые не имеют четкого математического описания, и, следовательно, их невозможно посчитать отдельно. Их величина определяется как разница между фактическими потерями и суммой первых трёх категорий, отражающих технологические потери.

Проанализировав научно-техническую литературу были выделены четыре метода расчёта потерь.

1. Метод графического интегрирования.

В данном подходе к оценке потерь электроэнергии в сетях учитываются суммарные потери, которые рассчитываются на основании отдельных элементов линий электропередачи. Формула выглядит следующим образом:

$$\Delta W = \int_{\cup}^t \Delta P dt = \sum \Delta P_i \Delta t_i$$

где ΔP_i – обозначает потери мощности за время Δt_i ;

Δt_i – представляет собой временные интервалы, в течение которых происходят изменения в потерях мощности.

В процессе анализа этого метода были выделены следующие преимущества: данный метод демонстрирует высокую степень точности.

К минусам можно отнести то, что графическое интегрирование требует значительных трудозатрат при реализации, поэтому обычно оно используется как эталон для оценки ошибок других методов. Кроме того, данный подход подразумевает необходимость проведения специфических измерений и существует потребность в разнообразной исходной информации. В заключение, метод не учитывает динамику потребления электроэнергии и изменение сети за расчетный период.

2. По времени наибольших потерь τ :

В данном методе потери электроэнергии определяются:

$$\Delta W = \Delta P_{\text{нб}} * \tau$$

где $\Delta P_{\text{нб}}$ – наибольшие потери мощности;

τ – эквивалентное время наибольших потерь мощности.

При исследовании этого метода были выявлены следующие преимущества: метод способствует решению задач, связанных с анализом потерь, выбором мер по их уменьшению и разработкой нормативных характеристик потерь электрической энергии.

Что касается недостатков, данный метод имеет наибольшее значение погрешности среди всех рассмотренных. Это связано с неточностью в определении эквивалентного времени, необходимого для максимальных потерь мощности. Сложность в применении формул при расчетах по этому методу заключается в необходимости установить время, когда происходят наибольшие потери тр из-за передачи реактивной мощности. Для этой цели требуется наличие графика реактивной нагрузки.

3. Метод средних нагрузок.

Этот метод подходит только в тех случаях, когда известны активные и реактивные нагрузки узлов сети за определенный период времени T . Потери электрической энергии вычисляются по следующей формуле:

$$\Delta W = \Delta P * \Delta T * K_{\phi}^2$$

где ΔP – обозначает потери мощности в сети, основываясь на средних нагрузках узлов;

ΔT – расчетный период, ч;

K_{ϕ}^2 – коэффициент, отражающий форму графика мощности или тока.

Во время изучения данного метода были выделены его положительные аспекты: возможность учета формы кривой нагрузки.

Однако имеются и недостатки: требуется, чтобы все электроэнергетические потребители были оснащены системами телеметрии.

4. Метод эквивалентного сопротивления.

Изначально данный метод использовался для эквивалентного моделирования сети, которая состояла из одной линии и связанных с ней распределительных трансформаторов (РТ). Это осуществлялось путем замены всей сети одним элементом с нагрузкой, соответствующей нагрузке главного участка $I_{г\gamma}$, а также эквивалентным сопротивлением гэс, которое было равно потерям мощности, возникающим из-за нагрузки в исходной сети. Чтобы разделить потери мощности в сети ΔP_c на потери, происходящие в линии ΔP_L и трансформаторах ΔP_T , сопротивление гэс делилось на два последовательно подключенных эквивалентных сопротивления: гэл – для линии, и гэт – для трансформаторов. Таким образом, была обеспечена более точная модель распределения потерь в сети.

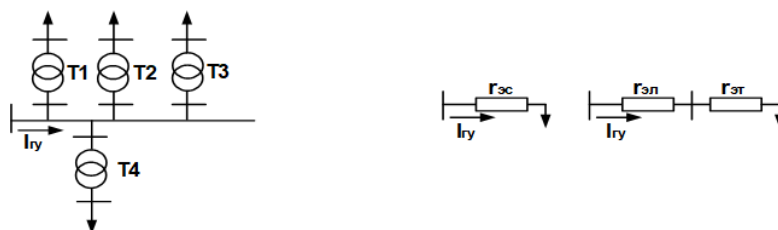


Рис. 1 Эквивалентирование сети (Т1, Т2, Т3, Т4 – распределительные трансформаторы)

Значения электрических сопротивлений гэл и гэт не зависят от величины тока в главном участке, а определяются распределением тока по ветвям схемы — линиям и трансформаторам, а также конфигурацией сети и характеристиками её элементов, такими как сопротивление на i -м участке (r_{li}) и сопротивление трансформатора (r_{Tj}) на j -ом. Поскольку указанные параметры сети достаточно стабильны и не изменяются быстро, вычисленные значения сопротивлений можно использовать многократно для оценки потерь, когда нагрузки в главном участке ($I_{г\gamma}$) варьируются. Таким образом, один раз проведя расчёты, можно эффективно применять результаты для расчетов потерь при изменяющихся нагрузках головного участка $I_{г\gamma}$ изм:

$$\Delta P_{L \text{ изм}} = 3I_{г\gamma}^2 r_{эл},$$

$$\Delta P_{\text{Т изм}} = 3I_{\text{гу}}^2 r_{\text{эт}},$$

Изучив данный метод были выявлены следующие достоинства: метод расчета потерь путем эквивалентного сопротивления позволяет более точно определять потери в отдельных участках линии, следовательно в последствии позволит проводить упрощенные расчеты. Определение эквивалентного сопротивления электрических сетей, будь то промышленные или сельские, с использованием разработанных алгоритмов позволяет оценивать потери активной мощности и электроэнергии в низковольтных сетях любой конфигурации без потери точности расчетов и значительных затрат времени на вычисления. Полученные данные могут быть использованы многократно с учетом изменений в динамике низковольтной сети.

Недостатки: **метод эквивалентного сопротивления** трудоемок в реализации.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов расчета потерь электроэнергии в электрических сетях представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов расчета потерь электрической энергии в линиях электропередачи.

	Методы расчета	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Метод графического интегрирования	Фурсанов М.И.	-Метод имеет высокую степень точности при расчетах потерь.	-Метод требует значительных трудозатрат при реализации -Метод требует проведение специфических измерений и существует потребность в разнообразной исходной информации -Метод не учитывает динамику потребления электроэнергии и изменение сети за расчетный период.
2	По времени наибольших потерь	Шведов Г.В.	-Метод способствует решению задач, связанных с анализом потерь, выбором мер по их уменьшению и разработкой нормативных характеристик потерь электрической энергии.	-Имеет наибольшее значение погрешности среди всех рассмотренных -Сложность в применении формул при расчетах по этому методу заключается в необходимости установить время, когда происходят наибольшие потери тр из-за передачи реактивной мощности

3	Метод средних нагрузок	Немцев А.Г.	-Возможность учета формы кривой нагрузки.	-Требуется, чтобы все электроэнергетические потребители были оснащены системами телеметрии. -Не применяется в электрических сетях напряжением 0,4кВ.
4	Метод эквивалентного сопротивления	Грачева Е.И. Наумов О.В. Фурсанов М.И.	-Позволяет более точно определять потери в отдельных участках линии, следовательно в последствии позволит проводить упрощенные расчеты. Определение эквивалентного сопротивления электрических сетей, будь то промышленные или сельские, с использованием разработанных алгоритмов позволяет оценивать потери активной мощности и электроэнергии в низковольтных сетях любой конфигурации без потери точности расчетов и значительных затрат времени на вычисления. Полученные данные могут быть использованы многократно с учетом изменений в динамике низковольтной сети.	-трудоемок в реализации.

Вывод

В результате изучения вопросов удалось установить, что метод эквивалентного сопротивления является перспективным экспресс-методом при определении потерь электроэнергии в поселковой сети напряжением 0,4 кВ содержащей источники микрогенерации. Вышеуказанный метод обеспечивает более точное определение потерь в конкретных участках линии.

Список литературы

1. Закон об электроэнергетике. Принят Государственной Думой 21 февраля 2003 г., одобрен Советом Федерации 12 марта 2003г.
2. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. — Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение», 2005
3. Грачева Е.И., Наумов О.В. Уточнение величины эквивалентного сопротивления цеховых сетей // Надежность и безопасность энергетики. 2015. №3. С. 34–36.
4. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем // В. Э. Воротницкий, Ю. С. Железко, В. Н. Казанцев и др. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 368 с.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОДГОТОВКИ ПРЕДДИПЛОМНОЙ ПРАКТИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЭНЕРГЕТИКОВ

Корнеев А.А., Хаустова Е.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»

Аннотация: в современном мире энергетическая отрасль испытывает значительные трансформации под влиянием технологического прогресса и растущей потребности в устойчивом развитии. В этих условиях важной задачей становится подготовка квалифицированных специалистов, обладающих как теоретическими знаниями, так и практическими навыками. Одним из ключевых элементов такой подготовки являются преддипломные занятия студентов на предприятиях, которые предоставляют эффективные возможности для интеграции в профессиональную среду и непосредственного изучения производственных процессов.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью обеспечения высокого качества подготовки специалистов, которые смогут эффективнее ориентироваться в быстро меняющейся производственной среде. Практическое обучение и опыт, приобретаемый на предприятиях, подчеркивают важность взаимодействия между образовательными учреждениями и индустриальными партнерами. Это сотрудничество не только обогащает образовательные программы, но и открывает новые горизонты для студентов, помогая формировать актуальные навыки и повышая их готовность к карьерным вызовам.

Необходимо отметить, что эффективность образовательных программ также определяется качеством взаимодействия университетов с предприятиями и индустриальными партнерами. Вместе они создают благоприятные условия для применения академических знаний на практике. Это сотрудничество способствует разработке и обновлению учебных программ, ориентированных на актуальные требования рынка труда, тем самым повышая конкурентоспособность выпускников. Важно продолжать развивать и углублять это сотрудничество для дальнейшего улучшения образовательных процессов и подготовки студентов, способных успешно интегрироваться и реализовать себя в профессиональной среде.

Модернизация образовательных программ является важным этапом в подготовке будущих специалистов в условиях стремительной цифровизации. Внедрение новых технологий и методов обучения позволяет создать более гибкую и эффективную систему образования. Одним из ключевых направлений этих изменений является разработка и использование виртуальных лабораторных работ и тренажёров, которые «представляют собой математические модели физических лабораторных стендов и реальных устройств» (Аноприенко, [б. г.]. 3 с.). Такие технологии предоставляют студентам возможность активно участ-

воват в процессе обучения, что способствует лучшему усвоению теоретических знаний и их практическому применению.

Помимо использования инновационных инструментов, образовательные учреждения предпринимают активные усилия по развитию новых подходов и стратегий для решения задач современного общества, связанных с цифровизацией. Как отмечается в работах многих исследователей, «поиск инновационных путей разрешения проблем современного общества, связанных с цифровизацией, в настоящее время осуществляется во многих образовательных организациях РФ» (Лавина, Захарова, Грицкевич, [б. г.]. 5 с.). Такие инициативы подчеркивают важность интеграции передовых технологий в учебные процессы, что позволяет готовить студентов к реалиям современного рынка труда.

Важным аспектом модернизации образовательных методов является не только интеграция новых технологий, но и переосмысление традиционных подходов к обучению. Создание симуляционных сред и интерактивных платформ даёт студентам возможность работать в моделированных условиях, приближенных к реальным, что повышает их готовность к профессиональной деятельности. Такие инновации способствуют развитию критического мышления и повышению уровня самостоятельности студентов, предоставляя им возможность более глубоко изучать сложные процессы и явления. Это, в свою очередь, делает образовательные программы более адаптивными и эффективными, отвечая нуждам цифрового века.

Продвижение новых технологий в учебный процесс активно обсуждается и разрабатывается в образовательных учреждениях России. Это обусловлено необходимостью подготовки специалистов, способных эффективно работать в условиях цифровизации. Таким образом, обеспечение студентов знаниями и навыками, соответствующими актуальным требованиям рынка труда, остаётся приоритетной задачей. Интеграция инновационных образовательных методик позволяет улучшить подготовку студентов, делая их более конкурентоспособными и профессионально подкованными.

Ссылаясь на пример сотрудничества между Гомельским государственным техническим университетом имени П. О. Сухого и Гомельской ТЭЦ-2 можно увидеть, как тесное взаимодействие организаций способствует интеграции теоретических знаний и практических навыков. Согласно исследованию, такие связи позволяют проводить разнообразные формы учебных мероприятий, включая учебные и преддипломные практики (Широглазова, Морозова, [б. г.]. 2 с.), это не только помогает студентам лучше подготовиться к своим профессиональным обязанностям, но и делает их более конкурентоспособными на рынке, так как они выходят на работу уже с опытом решения реальных производственных задач.

Таким образом, исследование актуализирует вопрос о важности преддипломных практик в рамках университетского обучения, предлагая рассмотреть их как ключевой элемент в системе подготовки студентов энергетических специальностей. Освещая опыт сотрудничества образовательных учреждений и предприятий, реферат демонстрирует ценность данных практик для комплекс-

ного развития профессиональных компетенций учащихся, что является актуальной задачей современного образования в условиях изменения требований индустрии.

Список литературы

1. Баранова М. П. Программа производственной практики (преддипломной) / М. П. Баранова. — Красноярск, 2022. — [б. с.].
2. Енин А.С., Окунева В.В., Павлова Ю.М. Общая энергетика: методические указания / сост. А.С. Енин, В.В. Окунева, Ю.М. Павлова. — Тверь: Тверской государственный технический университет, 2020. — 16 с.
3. Космынина Н.М. Использование кейс-технологий для анализа электрической части подстанции // Секция 4. Подготовка и переподготовка инженерных и научных кадров по направлениям «Электротехника, электромеханика и electrotechnologies». — [б. г.]. — С. 318–319.
4. Кроть Д.Г., Рудченко Ю.А., Кулик Л.В. Взаимодействие университета и предприятий при подготовке специалистов // Инженерное образование в цифровом обществе. — [б. г.]. — [б. м.]. — [б. и.].
5. Лавина Т.А., Захарова А.Н., Грицкевич Т.И. Эффективные модели инновационной деятельности в системе высшего образования для подготовки кадров в условиях цифровизации общества: лучшие практики работы федеральных инновационных площадок // Издательский дом «Среда». — [б. г.]. — [б. м.]. — [б. и.].
6. Попов В. Б. Современный университет и реальный сектор экономики // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. — 2017. — С. 175.
7. Самедов М.Н. Изучение региональных особенностей энергетического комплекса Камско-Вятского района Республики Татарстан в вузе (на примере подготовки бакалавров-энергетиков) // Современные наукоемкие технологии. — 2016. — № 6. — С. 406–407.
8. Широглазова Н. В., Морозова О. Ю. Организация практического обучения студентов-энергетиков на базе Гомельской ТЭЦ-2 // Учебные материалы Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. — [б. г.]. — [б. м.]. — [б. и.].

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Косенко А.Д., канд. техн. наук, Мустафин Р.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В условиях современного энергоснабжения, где растет потребление электроэнергии и увеличивается доля возобновляемых источников, эффективное управление перетоками активной мощности становится ключевым аспектом для обеспечения надежности и стабильности работы энергосистем. Необходимость оптимизации процессов регулирования перетоков активной мощности вызвана также изменениями в структуре электрических сетей, увеличением взаимодействия различных энергетических систем и требований к качеству электроэнергии.

На основании распоряжения Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» [Ошибка! Источник ссылки не найден.] перспективным направлением в электроэнергетике является цифровизация, т.е. все процессы управления, функционирования должны осуществляться с использованием цифровых технологий.

Учитывая большой износ основного генерирующего оборудования, учащающиеся аварии на электростанциях, сложности в строительстве новых генерирующих мощностей исследования в части оптимизации регулирования перетоков активной мощности на электростанции являются актуальными и значимыми.

Диспетчерским центром при планировании и управлении электроэнергетическим режимом контролируются следующие параметры:

- напряжение на шинах объектов электроэнергетики;
- токовая нагрузка линий электропередачи (далее - ЛЭП) и электросетевого оборудования;
- разность углов между векторами напряжения на шинах объектов электроэнергетики;
- значения перетоков активной мощности в контролируемых сечениях.

В результате различных событий в единой электроэнергетической системе данные параметры могут выходить за пределы допустимых значений, что приводит к возникновению аварийных событий. Одним из таких событий является превышение максимально допустимого перетока (МДП) активной мощности в контролируемом сечении (КС) – это когда суммарный фактический переток активной мощности, по определенным сетевым элементам, выше максимально допустимого перетока, определенного в соответствии с требованиями [2].

При превышении МДП в КС диспетчерским персоналом предпринимаются мероприятия по снижению перетока активной мощности [3]:

- загрузка генерирующего оборудования электростанций в приемной части энергосистемы и разгрузка генерирующего оборудования электростанций в передающей части энергосистемы;

- изменение топологии электрической сети, приводящей к увеличению МДП в КС и (или) к снижению перетоков активной мощности в КС;

- ввод графиков аварийных отключений в дефицитной части энергосистемы.

Изменение генерации активной и реактивной мощности на электростанциях является наиболее эффективным мероприятием по ликвидации недопустимой перегрузке контролируемых сечений. Данное мероприятие обладает высоким быстродействием. Однако для этого необходимо иметь достаточное количество резервов на загрузку генерирующего оборудования, которое часто ограничено особенностями топологии электрической сети, присоединенной к электростанции.

Для эффективной и полной выдачи всей генерируемой мощности электростанции можно рассмотреть следующие методики по оптимизации перетоков активной мощности на электростанции:

1. Разработка схемы выдачи мощности (СВМ).

Разработка схемы выдачи мощности электростанции в соответствии с требованиями нормативной документации [5] включает в себя несколько ключевых аспектов, каждый из которых имеет свои плюсы и минусы. Вот некоторые из них:

Преимущества:

- Оптимизация работы: Правильная схема выдачи мощности позволяет оптимально распределять нагрузку между генераторами, что повышает общую эффективность работы электростанции.

- Устойчивость к сбоям: Хорошо продуманная СВМ может обеспечить надежность и устойчивость системы к сбоям, что важно для обеспечения бесперебойного электроснабжения.

- Экономия ресурсов: Эффективная схема может снизить затраты на топливо и эксплуатацию, что в свою очередь уменьшает воздействие на окружающую среду.

- Улучшение качества электроэнергии: Схема может помочь в поддержании стабильного напряжения и частоты, что важно для защиты оборудования и повышения качества электроэнергии.

Недостатки:

- Сложность проектирования: Разработка эффективной схемы может быть сложной задачей, требующей значительных временных и финансовых затрат.

- Необходимость в высококвалифицированном персонале, способном разработать эффективную СВМ в соответствии со всеми требованиями нормативной документации.

- Высокие первоначальные затраты: Внедрение новой схемы может потребовать значительных инвестиций в оборудование и технологии.

- Риски при изменениях: Изменение схемы может привести к временным сбоям в работе электростанции, что может негативно сказаться на надежности поставок электроэнергии.

- Зависимость от технологий: Современные схемы могут требовать использования сложных технологий, что может быть проблематично в условиях ограниченных ресурсов или устаревшей инфраструктуры.

2. Установка Фазоповоротного трансформатора (ФПТ).

Установка фазоповоротного трансформатора тоже может иметь как преимущества, так и недостатки. Вот некоторые из них:

Преимущества:

- Улучшение качества электроэнергии: ФПТ может помочь в улучшении качества электроэнергии, снижая уровень гармоник и обеспечивая более стабильное напряжение.

- Оптимизация распределения нагрузки: Позволяет более эффективно распределять нагрузку между разными уровнями напряжения, что может снизить перегрузку и увеличить срок службы оборудования.

- Снижение потерь: Установка ФПТ может уменьшить потери энергии в системе, что приводит к экономии ресурсов и снижению затрат на электроэнергию.

Недостатки:

- Сложность установки: Установка ФПТ может быть сложной и требовать значительных усилий и ресурсов, включая квалифицированный персонал.

- Высокие первоначальные затраты: Инвестиции в оборудование и установку могут быть значительными, что может быть препятствием для некоторых организаций.

- Необходимость в техническом обслуживании: ФПТ требует регулярного обслуживания и мониторинга, что может увеличить эксплуатационные расходы.

- Зависимость от технологий: Современные ФПТ могут требовать использования сложных технологий, что может быть проблематично в условиях устаревшей инфраструктуры.

3. Внедрение Системы мониторинга запасов устойчивости.

Строительство и реконструкция сетевой инфраструктуры – не единственный способ оптимизировать регулирования перетоков активной мощности на электростанции. Системный оператор (АО «СО ЕЭС») совместно с АО «НТЦ ЕЭС» начиная с 2013 года внедряет систему мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ), которая позволяет в среднем на 10–20% увеличить использование пропускной способности электросетей. При этом СМЗУ так же имеет свои преимущества и недостатки.

К основным преимуществам можно отнести:

- Точный расчет пропускной способности в режиме реального времени. СМЗУ использует данные, полученные по телеметрии на текущий момент – соответственно все параметры режима являются актуальными.

- Использование отечественного продукта в области цифровой трансформации энергетики. СМЗУ является одним из тех инструментов, которые приведут к цифровой трансформации энергетики России.

Недостатки СМЗУ:

- Для точных расчетов необходимо большое количество телеметрической информации. Так как не все энергообъекты оснащены необходимой системой обмена технологической информацией с автоматизированной системой Системного оператора, то это снижает наблюдаемость энергосистемы и затрудняет внедрение СМЗУ.

- Относительно длительные расчетные циклы. Один расчетный цикл СМЗУ занимает продолжительное время и чем больше узлов, тем большее время занимают расчеты. За время выполнения одного расчетного цикла в энергосистеме может произойти какое-либо аварийное возмущение.

- Возможность ошибки персонала или расчетного комплекса. Для корректной работы СМЗУ необходим тщательный первоначальный инжиниринг данных, поддержание актуальности этих данных и корректная работа программной составляющей системы.

4. Технология динамического рейтинга ЛЭП.

Технология динамического рейтинга линий электропередачи (ЛЭП) — это метод, который позволяет изменять допустимую нагрузку на линию в зависимости от текущих условий окружающей среды, таких как температура, скорость ветра и другие факторы. В отличие от статического рейтинга, который устанавливает фиксированные значения нагрузки, динамический рейтинг адаптируется к реальным условиям, что позволяет более эффективно использовать существующие мощности ЛЭП.

Преимущества:

- Увеличение пропускной способности: Динамический рейтинг позволяет более эффективно использовать существующие мощности ЛЭП, увеличивая их пропускную способность в зависимости от текущих условий, таких как температура и скорость ветра.

- Оптимизация эксплуатации: Система может адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, что позволяет более точно управлять нагрузкой и снижать риск перегрузок.

- Снижение затрат: Увеличение пропускной способности может снизить необходимость в строительстве новых линий, что приводит к экономии средств на инфраструктуру.

- Улучшение надежности: Динамическое управление позволяет быстрее реагировать на изменения в нагрузке и предотвращать аварийные ситуации, что повышает общую надежность электроснабжения.

Недостатки:

- Сложность внедрения: Внедрение технологии требует значительных инвестиций в оборудование и программное обеспечение, а также обучения персонала.

- Зависимость от данных: Эффективность динамического рейтинга зависит от точности и своевременности данных о погодных условиях и нагрузке, что может быть проблематично в условиях недостаточной инфраструктуры.

- Технические риски: Использование новых технологий может привести к сбоям в работе системы, особенно на начальных этапах внедрения.

- Необходимость в постоянном мониторинге: Для эффективного функционирования системы требуется постоянный мониторинг и анализ данных, что может увеличить эксплуатационные расходы.

- Регуляторные барьеры: В некоторых регионах могут существовать законодательные и регуляторные ограничения, которые затрудняют внедрение новых технологий.

5. Изменение уставок по напряжению на электростанции (использование регулирующего эффекта нагрузки (СХН)).

В результате снижения напряжения в дефицитной части энергосистемы путем изменения уставок по напряжению на шинах генераторного напряжения электростанций, используя регулирующий эффект нагрузки, обусловленный статическими характеристиками нагрузки, возможно снижение сальдо-перетока в контролируемом сечении выдачи мощности электростанции.

Преимущества данного метода:

- Небольшие капитальные вложения – самое главное преимущество данного метода.

- Отсутствие необходимости в дополнительном сетевом строительстве;

- Точный расчет пропускной способности в режиме реального времени.

К сожалению, недостатком данного метода является малый регулировочный диапазон изменения перетока активной мощности.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа научно-технической литературы в области оптимизации регулирования перетоков активной мощности на электростанции приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Анализ научно-технической литературы

Методики оптимизации регулирования перетоков активной мощности на электростанции	Достоинства	Недостатки	Литература
Разработка схемы выдачи мощности (сетевое строи-	1. Разработка полноценной схемы выдачи мощности электростанции.	1. Большие капитальные вложения. 2. Длительная процедура согласования до-	1. Методические указания по проектированию развития энергоси-

тельство)	2. Соответствие всем требованиям нормативных документов.	кументации. 3. Внешние факторы – санкции, наличие квалифицированного персонала.	стем, утв. Приказом Минэнерго РФ от 06.12.2022 № 1286. 2. Правила разработки и согласования схем выдачи мощности объектов по производству электрической энергии (СВМ) и схем внешнего электроснабжения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии (СВЭ), утв. Приказом Минэнерго РФ от 28.12.2020 №1195
Установка Фазоповоротного трансформатора (ФПТ)	1. Повышение пропускной способности сети. 2. Минимальное сетевое строительство.	1. Большие капитальные вложения. 2. Сложное техническое обслуживание и управление.	Шойко В.П., Бутакова А.М.
Внедрение Системы мониторинга запасов устойчивости	1. Точный расчет пропускной способности в режиме реального времени. 2. Использование отечественного продукта в области цифровой трансформации энергетики.	1. Для точных расчетов необходимо большое количество телеметрической информации. 2. Относительно длительные расчетные циклы. 3. Возможность ошибки персонала или расчетного комплекса.	Неуймин В.Г., Останин А.Ю., Томалев А.А.
Технология динамического рейтинга ЛЭП	1. Точный расчет пропускной способности в режиме реального времени,	1. Сложность прогнозирования метеорологических условий на длительные периоды.	Илюшин П.В., Георгиевский И.Д.

	учитывая метеорологические условия. 2. Минимальное сетевое строительство.	2. Сложность определения пропускной способности в послеаварийных режимах. 3. Большие капитальные вложения на систему мониторинга и связи.	
Изменение уставок по напряжению на электростанции (использование регулирующего эффекта нагрузки (СХН))	1. Небольшие капитальные вложения; 2. Отсутствие необходимости в дополнительном сетевом строительстве; 3. Точный расчет пропускной способности в режиме реального времени	1. Малый регулируемый диапазон изменения перетока активной мощности	В.В. Петров, А.А. Альмендеев, В.И. Полищук

На основе проведенного анализа можно сделать вывод, что одним из наиболее перспективных способов оптимизации регулирования перетоков активной мощности на электростанции является способ, использующий изменение уставок по напряжению на электростанции, за счет небольших капитальных вложений и отсутствия необходимости в дополнительном сетевом строительстве.

Таким образом, анализ научно-технической литературы в области оптимизации регулирования перетоков активной мощности на электростанции показал, что тема исследования актуальная и значима.

Список литературы

1. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. Основные положения.
2. Методические указания по устойчивости энергосистем, утв. Приказом Министерства энергетики РФ от 3 августа 2018 г. N 630.
3. Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем и объектов электроэнергетики, утв. Приказом Министерства энергетики РФ от 12 июля 2018 г. N 548.
4. Методические указания по проектированию развития энергосистем, утв. Приказом Минэнерго РФ от 06.12.2022 № 1286.
5. Правила разработки и согласования схем выдачи мощности объектов по производству электрической энергии (СВМ) и схем внешнего электроснабжения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии (СВЭ), утв. Приказом Минэнерго РФ от 28.12.2020 №1195.

6. Шойко В.П., Бутакова А.М. Оценка эффективности применения фазоворотного трансформатора для повышения пропускной способности межсистемной электропередачи // *iPolytech Journal*. 2023. Т. 27. № 2. С. 380–391. EDN: KZDRDI, <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2023-2-380-391>.
7. Неуймин В.Г., Останин А.Ю., Томалев А.А. Внедрение системы мониторинга запасов устойчивости при планировании и управлении электроэнергетическим режимом ОЭС Сибири // «Энергия единой сети» №6 – 2020г. – с. 33-36.
8. Неуймин В.Г., Александров А.С., Максименко Д.М. Модуль определения МДП на базе RastrWin в проекте СМЗУ СРТО // Релейная защита и автоматика энергосистем: Сборник докладов XX конференции (Москва, 29–31 мая 2012). М.: Научно-инженерное информационное агентство, 2012. С. 488–495.
9. Илюшин П.В., Георгиевский И.Д. Анализ методов технико-экономических показателей решений по увеличению пропускной способности сечений энергосистем // «Энергетик» №8 – 2024г. – с. 7-12.
10. Петров В.В., Альмендеев А.А., Полищук В.И. Анализ влияния изменения уставок по напряжению на электростанциях на значения сальдо-перетока активной мощности в сечении // «Вестник Воронежского государственного технического университета» №5 – 2017г. - С. 35-44.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

Косенко А.А., Косенко А.Д., канд. техн. наук,
Шелихов Е.С., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В Российской Федерации оценка технического состояния оборудования по его тепловизионным снимкам регламентируется РД 153-34.0-20.363-99 «Методика инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ» и РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» [1], [2].

Основными критериями оценки являются:

- нормированные значения температуры нагрева при нагрузке $I_{ном}$, которые не должны превышать наибольшие допустимые значения, приведенные в таблицах нормативных документах.
- нормированное значение превышения температуры для контактов и болтовых КС при токах нагрузки (0,6-1,0) $I_{ном}$, которое не должно превышать 10°C.
- избыточная температура при токовой нагрузке в пределах (0,3-0,6) $I_{ном}$, которая не должна превышать 5°C.
- коэффициент дефектности, который не должен превышать значения более чем 1,1.

В случае, если критерии выходят за указанные значения, необходимо определить степень развития дефекта и принять меры (таблица 1).

Ниже рассмотрены критерии, применяемые в зарубежной практике [3]. Так, в США существует порядка 30 стандартов, опубликованных различными организациями, такими как ANSI (Американский национальный институт стандартов), IEEE (Институт инженеров электротехники и электроники) и NEMA (Национальная ассоциация производителей электрооборудования).

Стандарты, опубликованные этими организациями для различных электрических устройств, опираются на следующие понятия, сходные по смыслу с теми, что регламентирует РД 153-34.0-20.363-99:

- избыточная температура;
- превышение температуры;
- температура окружающей среды;
- наибольшие допустимые превышение температуры и температура нагрева.

Все эти критерии широко используются в практике и позволяют определить степень развития дефекта и приоритизировать ремонты.

С другой стороны, объекты критически важной инфраструктуры требуют повышенной надежности и уточнения допустимых границ критериев оценки технического состояния ответственного оборудования.

Температурные стандарты разработаны для стандартной температуры окружающей среды и 100% нагрузки. Однако электрическое оборудование часто работает в различных температурных диапазонах и редко находится в режиме 100% загрузки. Таким образом, чтобы эти стандарты имели смысл, температуры необходимо корректировать с учетом отклонений от заявленных предположений по окружающей температуре и нагрузке.

При обследовании требуется учитывать фактическую нагрузку в момент проведения инфракрасной инспекции, а также температуру окружающей среды как факторы, влияющие на приоритезацию ремонтов. Например, перегревающийся кабель при 70% нагрузке и при 10% нагрузке не будут иметь различия по срокам рекомендаций мероприятий, направленным на устранения дефекта. В идеале различия в нагрузке и окружающей температуре должны учитываться в системе температурных рейтингов для определения точных приоритетов ремонта.

В зарубежной практике вводится понятие максимально допустимой температуры T_{tc} , скорректированной с учетом измеренной нагрузки и температуры окружающей среды:

$$T_{tc} = (T_{rt} - T_{ra}) \left(\frac{I_m}{I_r} \right)^n + T_{ma} \quad (1)$$

где T_{rt} – допустимая температура нагрева узла из нормативного документа;
 T_{ra} – температура окружающей среды, соответствующая T_{rt} , из нормативного документа;

I_m – измеренный ток (А);

I_r – номинальный ток (А);

T_{ma} – измеренная температура окружающей среды;

n – показатель степени, среднее значение 1,8 (варьируется от 1,6 до 2,0)

Сравнивается измеренная температура оборудования с скорректированной температурой T_{tc} . Если измеренная температура превышает T_{tc} , то температура оборудования выходит за пределы спецификации. Если она меньше T_{tc} , то температура оборудования находится в пределах значений, регламентируемых нормативными документами.

На основе анализа полученного значения критерия оценки производится классификация дефекта и вырабатываются рекомендации по техническому обслуживанию. В таблице 1 приведены отечественные и зарубежные подходы к расчету критериев оценки технического состояния электрооборудования по его тепловизионным снимкам.

Стоит отметить, что зарубежный подход к избыточной температуре предполагает ее использование не только при токовой нагрузке в диапазоне 30-60%, но и при больших значениях нагрузки. При этом значения избыточной

температуры, при которой возможен дефект, в стандарте NETA более низкие, чем в отечественных РД.

Таблица 1 – Расчет критериев оценки

Критерий, источник и условия	Формулы для расчета	Классификация дефекта и рекомендации	
Превышение температуры, °С			
РД: при токе (0,6-1,0) $I_{ном}$	$\frac{\Delta T_{ном}}{\Delta T_{раб}} = \left[\frac{I_{ном}}{I_{раб}} \right]^2$	10-20 °С Начальная стадия развития дефекта	Требует контроля
		20-40°С Развившийся дефект	Учащенный контроль 1 раз в месяц. Устранение дефекта при первой возможности
		≥ 40°С Аварийный дефект	Требуется немедленный ремонт
Избыточная температура, °С			
РД: при токе (0,3-0,6) $I_{ном}$	$\frac{\Delta T_{0,5}}{\Delta T_{раб}} = \left[\frac{0,5I_{ном}}{I_{раб}} \right]^2$	5-10°С Начальная степень развития дефекта	Контроль предусмотренным графиком
		10-30°С Развившийся дефект	Учащенный контроль, один раз в месяц
		≥ 30 °С Аварийный дефект	Требуется немедленный ремонт
NETA: узлы других фаз находится под эквивалентной нагрузкой,	$\Delta T = T_{изм} - T_{мин др. фазы}$	1°С–3°С Возможный дефект	Требует наблюдения
		4°С–15° Указывает на вероятный дефект	Отремонтировать, как только позволит время
		>15°С Аварийный дефект	Требуется немедленный ремонт
РД: Коэффициент дефектности	$k = \frac{T_{пр. узла}}{T_{пр. участка}}$	1,2 Начальная степень развития дефекта	Требует контроля

		1,2-1,5 Развившийся дефект	Устранить при ближайшем выводе электрооборудования из работы
		> 1,5 Аварийный дефект	Требуется немедленный ремонт
NETA: Максимально допустимая температура, °C	$T_{tc} = (T_{rt} - T_{ra}) \left(\frac{I_m}{I_r} \right)^n + T_{ma}$	0°C–10°C	Меры должны быть приняты в следующий период технического обслуживания
		10°C–20°C	Необходимы корректирующие меры, если позволяет график работы оборудования
		20°C–40°C	Корректирующие меры, необходимы как можно скорее, зависят от вида нагрузки и серьезности превышения температуры в этом диапазоне
		Выше 40°C	Необходимы корректирующие меры немедленно

Проблемой, затронутой как в зарубежных стандартах и публикациях [4], так и в статье [5] является необходимость корректировки показателя степени, используемого при пересчете температур для нагрузки, отличной от номинальной (в формуле 1 и аналогичных формулах в таблице 1).

В таблице 2 ниже представлены различные значения степени, предлагаемой для корректировки температуры нагрева при токах, отличных от номинальных.

Таблица 2 – Показатель степени для пересчета температур

Источник	РД	Арбузов Р.С., Овсянников А.Г.	P.Gill	Lyon Jr., V. R. и др
Показатель степени	2	1	1,6-2	1,5-1,8

Предполагается проведение самостоятельного эксперимента для уточнения этой зависимости в используемых критериях оценки.

Список литературы

1. РД 153-34.0-20.363-99 «Методика инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ»

2. РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»
3. Electrical power equipment maintenance and testing / Paul Gill. -- 2nd ed. p. cm. ISBN 978-1-57444-656-2
4. Lyon Jr., B. R. The relationship between current load and temperature for quasi-steady state and transient conditions / B. R. Lyon Jr., G. L. Orlove, D. L. Peters // Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. – 2000. – pp. 62-70 DOI:10.1117/12.381580
5. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Нормы тепловизионного контроля электрооборудования. Предложения по корректировке // Новости ЭлектроТехники: отраслевое информационно-справочное издание. –2008. – № 6(48). URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2008/48/10.php>

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В АВАРИЙНОМ И ПОСЛЕАВАРИЙНОМ РЕЖИМАХ

**Кошкин Ф.В., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Правительство Российской Федерации в Распоряжении от 9 июня 2020 года утвердила Энергетическую стратегию Российской Федерации до 2035 года [6]. Настоящая Стратегия предусматривает ускоренный переход к более эффективной, гибкой и устойчивой энергетике, способной адекватно отвечать на вызовы и угрозы в топливно-энергетической сфере. Одним из направлений этого перехода является цифровая трансформация и интеллектуализация отраслей топливно-энергетического комплекса, в результате которого новое качество приобретут все процессы в сфере энергетики.

Важным элементом топливно-энергетического комплекса являются электрические сети. Обеспечение надежности представляет из себя важную задачу при эксплуатации всей энергосистемы. Из-за наличия аварийных ситуаций имеется возможность нарушения функционирования в топливно-энергетическом комплексе элементов, обеспечивающих надежное электроснабжение, что в свою очередь несет опасность для социально-экономического развития Российской Федерации.

Для обеспечения надежности электрических сетей необходим их ежедневный мониторинг, который включает в себя как слежение за состоянием энергосистемы в настоящем времени, так и определение узловых напряжений и токов в линиях для определения их отклонения от нормативных. В настоящее время топливно-энергетический комплекс представляет из себя большую систему, что является проблемой при производстве её расчетов. Из-за наличия значительного количества элементов в энергосистеме не имеется возможности учитывать их всех при определении энергетического режима.

Выявленные выше проблемы привели к созданию новых целей в топливно-энергетическом комплексе, одним из основных этапов которых является цифровая трансформация и интеллектуализация. Этот процесс подразумевает внедрение цифровых технологий для улучшения эффективности, оптимизации процессов и повышения безопасности. Данный этап развития затрагивает все аспекты электроэнергетики. Цифровая трансформация позволяет быстро получать, объединять и рассчитывать необходимые данные, которые используются для поддержания устойчивости электрических сетей.

Проведение рассмотренных выше расчетов невозможно без использования автоматизированных систем. Поскольку электрические сети имеют большой объем данных, необходимо найти метод расчета, который будет точно определять электрический режим и при этом затрачивать наименьшее количе-

ство ресурсов электронно-вычислительных машин и времени, поэтому целью данной работы является анализ научно-технической литературы в области существующих методов расчета режимных параметров работы электрической сети.

Условно проанализированные методы расчета нами разделены на 4 группы. К первой группе относится метод преобразования сети [1,5]. Данный метод целесообразно использовать, когда известны параметры элементов схемы замещения, при этом генерация и нагрузка представлены реальными источниками ЭДС (тока), напряжения узлов и токи продольных и поперечных ветвей схемы находятся с помощью эквивалентных преобразований. Преобразование считается эквивалентным, если до и после преобразования режим сетей не изменяется. При использовании этого метода схема электрических сетей преобразуется до простейшего вида, после чего определяется напряжение в узле свертки. Далее схема разворачивается и определяется напряжение в каждом узле. Таким образом, свернув и развернув схему в итоге получается схема с известным значением напряжений во всех ее частях.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Упрощение сложнзамкнутой сети к более простому виду;
- Простой математический расчет;
- Расчет возможен для отдельной ветви;
- Возможность использования метода для расчетов аварийных режимов.

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Необходимо отсутствие нелинейной нагрузки;
- Необходимо условие неизменности параметров установившегося режима сети, внешней по отношению к преобразуемой ее части;
- Необходимо учитывать допущения изначально;
- Изменение математической модели из-за изменения схемы сети.

Ко второй группе относится метод контурных уравнений [2,5]. Данный метод подразумевает разделение электрической сети на i -ое количество контуров. Каждый контур в дальнейшем определяет структуру уравнений по первому и второму законам Кирхгофа. В результате получается некоторое количество уравнений, объединенные в систему. Итогом решения этой системы уравнений являются контурные токи, из которых потом определяются параметры режима электрической сети.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Возможность расчета сложнзамкнутых электрических сетей;
- Простой алгоритм формирования контурных уравнений;
- Отсутствие преобразования схемы.

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Сложность расчета при наличии нелинейных элементов;
- Решением системы уравнений являются контурные токи, а не действительные токи ветвей.

К третьей группе относится метод уравнений узловых напряжений [3, 5]. В его основе лежит определение n узловых напряжений. Определить их воз-

можно с помощью использования первого закона Кирхгофа и закона Ома, когда все токи и сопротивления выражают через узловые напряжения и проводимости ветвей. В итоге получается система уравнений узловых напряжений, результатом которого являются напряжение в каждом узле. В отличие от предыдущего метода в данное решение является более эффективным, так как число ветвей в электрических системах значительно больше числа узлов.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Возможность расчета сложнзамкнутых электрических сетей
- Простой алгоритм формирования узловых уравнений
- Отсутствие преобразования схемы
- Результатом являются узловые напряжения

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Сложность расчета при наличии нелинейных элементов

К четвертой группе относится метод коэффициентов распределения. В основе этого метода лежит использование коэффициентов распределения, которые позволяют найти токораспределение в схеме при известных задающих токах узлов. Коэффициент распределения определяет долю влияния нагрузки какого-либо узла на распределение тока или мощности в остальных ветвях. Изначально необходимо определить эти коэффициенты, которые зависят от схемы замещения сети или ее параметров. После этого уже определяется распределение токов по ветвям. Поскольку метод основан на использовании принципа наложения, при расчете реальных электрических сетей требует предварительного учета шунтов схемы замещения в виде дополнительных нагрузок и узлов.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Эффективен при многочисленных расчетах установившегося режима
- Результатом являются узловые напряжения

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- Необходимость перерасчета коэффициентов распределения при изменении топологии сети
- Пренебрежение влияния напряжения на потокораспределение мощностей

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов оценки состояния контактных электрических соединений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов расчета режимов работы электрической сети

Метод оценки	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1 Метод преобразования сети	С.С. Ананичева А.Л. Мызин Г.В. Меркурьев Ю.М. Шаргин	-Упрощение сложнозамкнутой сети к более простому виду -Простой математический расчет -Расчет возможен для отдельной ветви -Возможность использования метода для расчетов аварийных режимов	-Необходимо отсутствие нелинейной нагрузки -Необходимо условие неизменности параметров установившегося режима сети, внешней по отношению к преобразуемой ее части -Необходимо учитывать допущения изначально -Изменение математической модели из-за изменения схемы сети
2 Метод контурных уравнений	С.С. Ананичева А.Л. Мызин С.В. Батюков Н.А. Иваницкая	-Возможность расчета сложнозамкнутых электрических сетей -Простой алгоритм формирования контурных уравнений -Отсутствие преобразования схемы	-Сложность расчета при наличии нелинейных элементов -Решением системы уравнений являются контурные токи, а не действительные токи ветвей
3 Метод уравнений узловых напряжений	С.С. Ананичева А.Л. Мызин В.И. Идельчик	-Возможность расчета сложнозамкнутых электрических сетей -Простой алгоритм формирования узловых уравнений -Отсутствие преобразования схемы -Результатом являются узловые напряжения	-Сложность расчета при наличии нелинейных элементов
4 Метод коэффициентов распределения	С.С. Ананичева А.Л. Мызин Т.А. Шиманская-Семенова	-Эффективен при многочисленных расчетах установившегося режима	-Необходимость перерасчета коэффициентов распределения при изменении топологии сети -Пренебрежение влияния напряжения на потокораспределение мощностей

Проведенный анализ позволяет выявить, что наиболее целесообразным методом расчета режимов электрической сети является метод уравнений узловых напряжений. Подводя итог можно сказать, что тема исследования, а именно «Анализ параметров режима работы электрической сети в аварийном и послеаварийном режимах» является актуальной и значимой для стабильной работы электрических сетей.

Список литературы

1. Меркурьев Г.В. Шаргин Ю.М. Устойчивость энергосистем. Глава 2. Практические методы расчета установившихся режимов энергосистем. – Санкт-Петербург: НОУ «Центр подготовки кадров энергетики», 34-69 с.
2. Батюков С.В. Иваницкая Н.А. Расчет линейных электрических цепей, Учебно-метод. Пособие по дисц. «Электротехника с основами энергосбережения» для студ. Всех спец. БГУИР всех форм обуч.: В 2 ч. Ч. 1 – Мн.: БГУИР, 2005. – 63 с.
3. Идельчик В.И. Расчет и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – изд. 2. – Москва: ЛЕНАНД, 1988. 289 с.
4. Шиманская-Семенова Т.А. Применение матричных моделей для расчета и анализа режимов электрических сетей: методическое пособие по выполнению курсовой работы и изучению дисциплины «Математические модели в энергетике» для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети». – Минск: БНТУ, 2010. – 158 с.
5. Ананичева С.С., Мызин А.Л. Методы анализа и расчета замкнутых электрических сетей, Учебное пособие. – 4-е изд., исправл. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 94 с.
6. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р.

АВТОНОМНОЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Мазурин Д.Ю., Шлейников В.Б., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В рамках энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года одним из приоритетов является реализация мер по снижению выбросов парниковых газов в соответствии с целями Парижского соглашения. Это международное соглашение, принятое в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата, направлено на сокращение концентрации углекислого газа в атмосфере с 2020 года.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) стало важным аспектом устойчивого развития и борьбы с изменением климата. ВИЭ способствуют уменьшению воздействия на окружающую среду, сокращению зависимости от ископаемого топлива, экономии природных ресурсов, созданию новых рабочих мест, экономическому росту, развитию технологий, снижению загрязнения воздуха и воды, а также обеспечению энергетической независимости.

Рассмотрим основные виды ВИЭ: солнечные панели, ветроустановки, микро-гидроэлектростанции, биотопливо и фотоэлектрические источники.

1. **Солнечные панели** преобразуют солнечную энергию в электричество с помощью фотоэлектрических элементов. Этот метод основан на фотоэлектрическом эффекте, при котором световая энергия преобразуется в электрическую с использованием полупроводниковых материалов.

2. **Ветроустановки** преобразуют кинетическую энергию ветра в электрическую. Их эффективность зависит от силы ветра, что может затруднять их использование в условиях непостоянного воздушного потока.

3. **Микро-гидроэлектростанции (МГЭС)** производят электроэнергию на основе энергии малых водных объектов, таких как речки, ручьи или технологические каналы. Их мощность обычно не превышает 10 кВт.

4. **Биотопливо** изготавливается из растительных и животных отходов. Существует жидкое (этанол, биодизель), твёрдое (дрова, гранулы, солома) и газообразное (биогаз, водород) биотопливо. Наиболее распространены pellets из древесины и жидкое топливо, такое как этанол и биодизель.

5. **Фотоэлектрические источники** (солнечные батареи и фотоэлементы) преобразуют энергию света в электричество благодаря фотоэффекту. Освещённые светом материалы создают электрическое поле за счёт выбивания электронов.

Анализ достоинств и недостатков различных видов возобновляемых источников электроэнергии представлен в таблице 1.

Таблица 1 - достоинства и недостатки различных видов ВИЭ

	Различные виды возобновляемых источников энергии	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Солнечные панели	Сидельников А.И. Ташимбетова М. А.	<ul style="list-style-type: none"> • Простота обслуживания • Восполняемость • Бесшумность • Дешевизна использования 	<ul style="list-style-type: none"> • Маленький КПД и их значительную цену
2	Ветроустановки	Дидиков А.Е	<ul style="list-style-type: none"> • Работа за счет неисчерпаемого источника энергии – ветра 	<ul style="list-style-type: none"> • Быстрая окупаемость только в больших масштабах. • Высокая стоимость оборудования и его обслуживание.
3	Микро-гидроэлектростанция	Лукутин Б.В	<ul style="list-style-type: none"> • Дешевая электроэнергия 	<ul style="list-style-type: none"> • Возвращение биомассы нарушает экосистему • Естественное ограничение — отсутствие реки.
4	Биотопливо	Федченко А.Я.	<ul style="list-style-type: none"> • Возобновляемость ресурса 	<ul style="list-style-type: none"> • Большая площадь, занимаемая системой • Низкая теплотворная способность в сравнении с бензином • Более высокая себестоимость производства биотоплива
	Фотоэлектрические источники	Митрофанов С.В. Обухов С.Г.	<ul style="list-style-type: none"> • Полная автономность системы 	<ul style="list-style-type: none"> • Маленький КПД и их значительную цену • Малоэффективны в зимнее время, а также при пасмурной и туманной погоде • Необходимость очистки поверхности панелей от пыли и других загрязнений.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что солнечная энергия является неисчерпаемым источником, что делает её особенно перспективной. В отличие от традиционных источников энергии, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, использование солнечных панелей позволяет минимизировать вред экосистеме. Таким образом, установка солнечных панелей представляется целесообразным и экологически устойчивым решением.

Список литературы

1. Богуславский, Л. Г. Возобновляемые источники энергии: основы и перспективы. — Москва: Энергоатомиздат, 2018.
2. Кудря, С. О. Возобновляемая энергетика: Солнечная, ветровая и гидроэнергетика. — Санкт-Петербург: Наука, 2020.
3. Кашкаров, А. П. Солнечная и ветровая энергетика: Практическое руководство. — Москва: Техносфера, 2021. 4. Ахметшин, А.Т.
4. Иванов, П. А., Смирнов, В. И. Современные технологии ветровой энергетике в России. // Энергетика: Экономика, Технологии, Экология, 2021, №3, с. 45–52.
5. Беляев, Ю. В., Карпов, О. Е. Эффективность использования солнечных панелей в регионах с различным уровнем солнечной радиации. // Вестник энергетике, 2022, №2, с. 27–34.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Титов Д.И.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В современном мире проблема энергоснабжения становится всё острее из-за роста населения и потребления энергии, а также ограниченности традиционных источников в отдалённых регионах.

Один из перспективных способов решения этой проблемы — использование гибридных систем электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Согласно российской энергетической стратегии до 2035 года [1] и постановлению правительства РФ № 1298 [2], планируется активное развитие таких систем. Они включают солнечные панели, ветрогенераторы, аккумуляторы, буферы, контроллеры, метеостанции и другое оборудование.

Разработка гибридных энергетических систем — приоритетное направление в энергетике, так как они обеспечивают надёжное и стабильное энергоснабжение с минимальным воздействием на окружающую среду.

В настоящее время активно ведутся научные исследования в области гибридных энергетических систем, в том числе ветросолнечных станций с функцией накопления энергии. Однако для максимально эффективной работы таких систем необходимо оптимизировать их технические характеристики. Оптимизация параметров гибридных систем подразумевает подбор подходящего оборудования для системы управления, которая учитывает климатические условия и нужды потребителей.

В данной работе был проведен анализ научно-технической литературы в области существующих методов оптимизации для гибридных энергетических систем, который помог выявить наиболее подходящий метод. Условно методы распределены на 4 группы.

К первой группе отнесен метод линейного программирования (ЛП) [3].

Линейное программирование (ЛП) — это раздел математики, который занимается теорией и методами решения задач об экстремумах линейных функций на множествах, задаваемых системами линейных равенств и неравенств.

При использовании данного метода задается общая функция линейного программирования вида $U = f(x) \rightarrow \max$, где определяются оптимальные значения при соблюдении ограничений, выраженных математическими неравенствами или равенствами. В методе линейного программирования максимизируются или минимизируются линейные функции, которые называются целевой функцией, при условии выполнения линейных ограничений.

Основные достоинства данного метода, следующие:

- простота в реализации;

- для больших систем с множеством переменных и ограничений;
- широкая область применения.

К недостаткам следует отнести:

- применим только к линейным задачам;
- ограниченная возможность учета неопределенности;
- чувствительность к изменениям входных данных

Ко второй группе отнесен метод динамического программирования[4].

Динамическое программирование (Dynamic Programming) – это метод, который разбивает проблемы на подзадачи и сохраняет результат для будущих целей, поэтому нет необходимости снова вычислять результат. Подзадачи оптимизируются для оптимизации общего решения, известного как свойство оптимальной подструктуры.

Так же можно отметить, что после разбиения на подзадачи сначала решаются маленькие, а затем пользователь переходит к более крупным. Далее происходит объединение решений подзадач для нахождения решения исходной проблемы.

Так же можно отметить, что при решении задач динамического программирования, включающих нелинейное программирование, можно использовать комбинацию этих методов. Например, можно использовать метод динамического программирования для построения оптимальной последовательности решений подзадач, а затем использовать метод нелинейного программирования для оптимизации каждой из этих подзадач [5].

К достоинствам метода динамического программирования можно отнести:

- решение задач с нелинейными ограничениями и целевыми функциями;
- подходит для задач с временной зависимостью и многократными решениями;
- повторное использование промежуточных результатов;
- возможность решения задач с оптимальной подструктурой.

К недостаткам метода можно отнести следующие факторы:

- сложная математическая модель;
- зависимость от начальных условий.

К третьей группе относится метод полного перебора. При использовании данного метода используется полный набор возможных комбинаций значений для решения задачи или проблемы [6].

Метод полного перебора, или метод грубой силы, является одним из базовых методов решения задачи поиска оптимального решения. Он заключается в том, что для каждой возможной комбинации входных данных алгоритм проверяет все варианты и выбирает оптимальное решение.

Сущность метода полного перебора заключается в том, что он гарантирует нахождение оптимального решения, поскольку он исследует все возможные варианты [7].

Итак, к достоинствам данного метода можно отнести:

- возможность оценить все возможные варианты;

- гарантированность оптимального решения.

К недостаткам данного метода можно отнести следующее:

- необходимость дорогостоящего качественного оборудования;
- ограничения на количество параметров;
- требует большого объема памяти;
- низкое быстродействие;
- высокая вычислительная сложность

К четвертой группе отнесены методы эволюционных вычислений [8], разработанные на основе принципов естественного отбора и генетики. Эти методы включают в себя генетические алгоритмы, генетическое программирование, стратегии эволюционной стратегии и другие. алгоритмов, вдохновленных естественным отбором и генетическими механизмами, для решения сложных задач оптимизации и поиска [9]. Они используют комплексный подход к поиску оптимального решения, который включает в себя генерацию и оценку кандидатов решений, селекцию лучших решений для создания новых поколений, мутации и кроссовер для создания разнообразия в популяции.

Преимущества данных методов:

- подходит для оптимизации сложных, многомерных и негладких функций;
- высокая производительность в поиске оптимального или близкого к оптимальным решениям;
- возможность параллельной обработки, что ускоряет процесс поиска оптимального решения.

К недостаткам данных методов можно отнести следующее:

- зависимость от начальных условий;
- отсутствие гарантий сходимости;
- сложность вычислений для достижения оптимального решения;
- склонность к выбору локальных, а не глобальных оптимальных решений.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов оптимизации для гибридных энергетических систем на основе возобновляемых источниках энергии представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов оптимизации

	Метод оценки	Ф.И.О. ученых/авторов	Достоинства	Недостатки
1	Линейное программирование (ЛП)	Гредасова Н. В., Сесекин А. Н., Шориков А. Ф., Плескунов М. А.	- простота в реализации; - для больших систем с множеством переменных и ограничений; - широкая область	- применим только к линейным задачам; - ограниченная возможность учета неопределенности; - чувствительность к изменениям входных

			применения.	данных.
2	Динамическое программирование	Романенко В. В., Шелестов А. А., Акмырадова М. Б., Назарова С. Н.	<ul style="list-style-type: none"> - решение задач с нелинейными ограничениями и целевыми функциями; - подходит для задач с временной зависимостью и многократными решениями; - повторное использование промежуточных результатов; - возможность решения задач с оптимальной подструктурой. 	<ul style="list-style-type: none"> - сложная математическая модель; - зависимость от начальных условий.
3	Метод полного перебора	Томас Кормен, Чарльз Эрик Лейзерсон Arora Sanjeev Barak, Boaz	<ul style="list-style-type: none"> - возможность оценить все возможные варианты; - гарантированность оптимального решения. 	<ul style="list-style-type: none"> - ограничения на количество параметров; - требует большого объема памяти; - низкое быстродействие; - высокая вычислительная сложность
4	Методы эволюционных вычислений	R. Poli, Курейчик В. В., Курейчик В.М., Родзин С. И. Казакова Е.М. Фаррахов А.Т. А. Ф. Оськин	<ul style="list-style-type: none"> - Подходит для оптимизации сложных, многомерных и негладких функций; - Высокая производительность в поиске оптимального или близкого к оптимальным решениям; - возможность параллельной обработки, что ускоряет процесс поиска оптимального решения. 	<ul style="list-style-type: none"> - зависимость от начальных условий; - отсутствие гарантий сходимости; - сложность вычислений для достижения оптимального решения; - склонность к выбору локальных, а не глобальных оптимальных решений.

Анализ научно-технической литературы в области "Методы оптимизации" показал, что наилучшим вариантом оптимизации для гибридных систем, работающих на ветро-солнечных установках, является динамическое программирование, которое позволяет эффективно решать задачи оптимизации, разбивая их на подзадачи и находя оптимальное решение для каждой из них. Динамическое программирование также обеспечивает гибкость и возможность адап-

тации к изменяющимся условиям, что делает его привлекательным инструментом для оптимизации гибридных систем на основе ветра и солнца.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»
2. Постановление Правительства РФ от 29 августа 2020 г. № 1298 «О вопросах стимулирования использования возобновляемых источников энергии»
3. Гредасова Н.В., Сесекин А.Н., Шориков А.Ф., Плескунов М.А., Математическое программирование: теория и методы: учебное пособие — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020, — 200 с.
4. Акмырадова М.Б., Назарова С.Н., Динамическое программирование в решении практических задач: Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» - Тольятти: Изд-во №5 (62) Т.3, 2023, - 5 с.
5. Мицель А. А., Шелестов А. А., Романенко В. В., Методы оптимизации: учебное пособие – Томск: Изд-во ТУСУР, 2017, - 198 с.
6. Arora Sanjeev Barak, Boaz: Computational Complexity: A Modern Approach: Изд-во Cambridge University Press, 2007 – 15 с.
7. Томас Х., Лейзерсон, Чарльз И, Алгоритмы: построение и анализ: 2-е издание: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2011, — 1296 с.
8. Курейчик В. В., Курейчик В.М., Родзин С. И. Теория эволюционных вычислений. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 260 с. Тула, 2020, - 132 с.
9. Poli, R. An analysis of publications on particle swarm optimisation applications / R. Poli // Technical Report CSM-469 /Department of Computer Science, University of Essex, UK. – 2007. – 57 p .
10. Оськин А.Ф., Казакова Е.М., Оськин Д.Ф, Алгоритм и программа численной оптимизации, реализующие метод роя частиц: Вест. Полоц. ун-та, Из-во Серия С, 2022 г. – 6 с.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ГЛОБАЛЬНУЮ СОЛНЕЧНУЮ РАДИАЦИЮ

Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Калашник Н.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Исследование глобальной солнечной радиации является ключевым направлением современной науки, учитывая её фундаментальное значение для климатической системы Земли и развития возобновляемой энергетики. Солнечная радиация определяет термодинамические процессы в атмосфере, гидросфере и биосфере, влияя на климат и возможности использования солнечной энергии [1-3].

Атмосфера существенно модифицирует поток солнечного излучения, достигающего земной поверхности, через процессы поглощения, рассеяния и отражения. Атмосферные явления имеют большое значение для климатологии, сельского хозяйства и солнечной энергетики [4]. Данное явление изображено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Спектральное распределение солнечной радиации

Для анализа атмосферных факторов, влияющих на распределение и интенсивность солнечной радиации, использован комплексный подход. Наземные измерения предоставляют точные данные о глобальной, прямой и рассеянной радиации, собранные с помощью пиргелиометров, актинометров и пирометров. Спутниковые наблюдения обеспечивают глобальную информацию о влиянии атмосферных факторов, используя инструменты MODIS и CERES. Численное моделирование, такое как модели PVGIS и SolarGIS, позволяет прогнозировать солнечную радиацию с учётом климатических данных, географических особенностей и атмосферных процессов. Комбинация методов обеспечивает точность

анализа и позволяет выявить пространственно-временные вариации солнечной радиации [5-6].

Атмосфера Земли играет ключевую роль в регулировании поступающей солнечной радиации, определяя её распределение, интенсивность и спектральный состав. Основными факторами, влияющими на солнечное излучение, являются облачность, аэрозоли, газовый состав, а также географические и климатические условия [7]. Облачный покров снижает прямую радиацию, но увеличивает рассеянную за счёт отражения и поглощения света. Наиболее существенное влияние оказывают плотные слоисто-дождевые и кучево-дождевые облака, тогда как тонкие перистые облака воздействуют минимально. Облачность имеет ярко выраженные географические и сезонные колебания, что особенно важно для климатологии и энергетики.

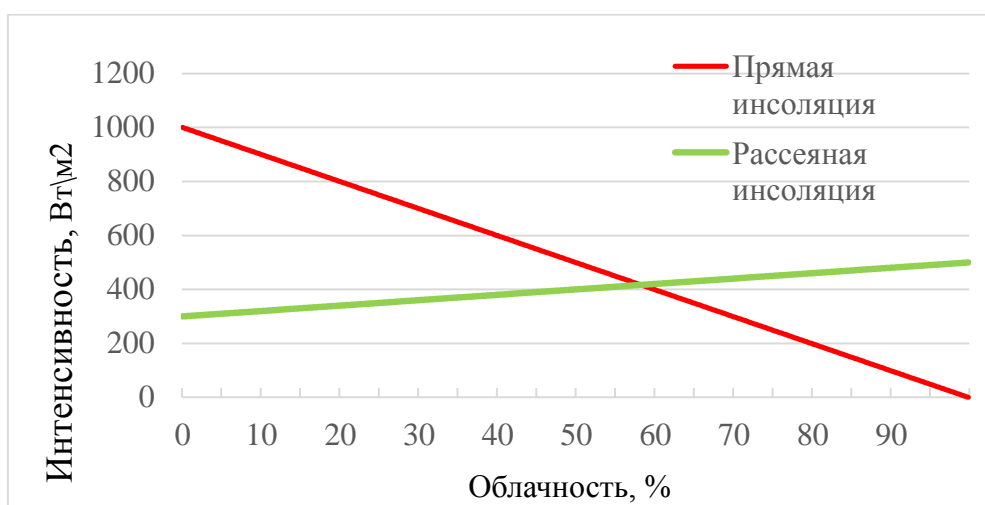


Рисунок 2 – Влияние облачности на солнечную радиацию

Аэрозоли, включая природные частицы (пыль, соль, вулканические выбросы) и антропогенные загрязнения (промышленные выбросы, сжигание топлива), также оказывают значительное влияние. Они ослабляют прямую радиацию, но увеличивают рассеянную благодаря эффекту рассеяния света на частицах. Высокие концентрации аэрозолей характерны для урбанизированных зон и периодов лесных пожаров, что приводит к снижению общего поступления солнечной энергии [8-10].

Газовый состав атмосферы, включая водяной пар, озон и углекислый газ, влияет на распределение солнечного излучения. Водяной пар поглощает инфракрасное излучение, озон фильтрует ультрафиолетовый спектр, а углекислый газ оказывает долгосрочное воздействие через усиление парникового эффекта [11].

Географические и климатические факторы дополняют картину. Интенсивность солнечного излучения зависит от высоты Солнца над горизонтом, где угол падения лучей определяет сезонные различия, а также от альбедо поверхности: светлые поверхности, такие как снег, отражают больше радиации, а тёмные, например вода или лес, поглощают больше [12]. В тропиках поступление

солнечной радиации максимально, а в полярных регионах оно минимально из-за низкого угла падения лучей и продолжительных зимних ночей.

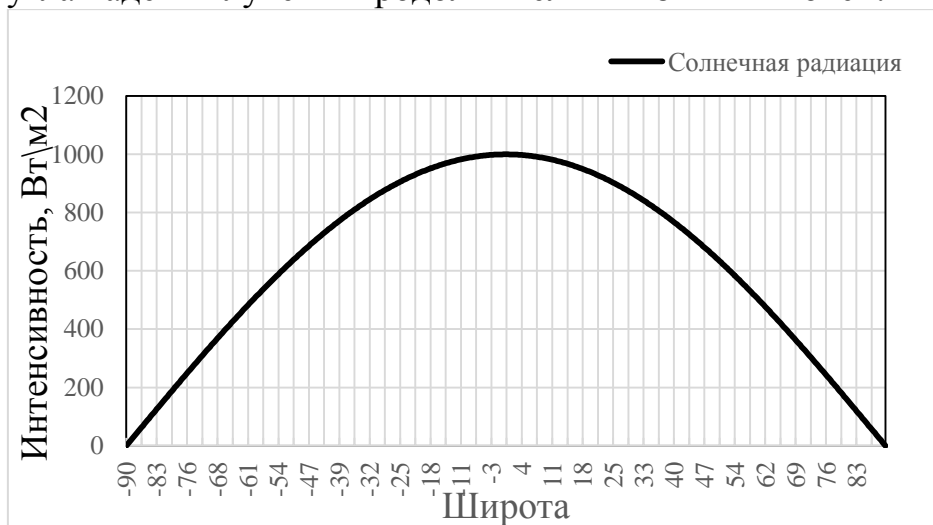


Рисунок 3 – Географическое распределение солнечной радиации

Для изучения солнечной радиации используются методы измерения и моделирования. Наземные приборы, такие как пиргелиометры, пирометры и актинометры, обеспечивают высокоточную оценку радиации в локальных точках, но их охват ограничен [13]. Спутниковые наблюдения, например, с помощью MODIS и CERES, позволяют получить глобальную картину, анализировать многоспектральные данные и изучать долгосрочные изменения, хотя их точность может снижаться из-за атмосферных искажений. Численные модели, такие как SMARTS, PVGIS и SolarGIS, применяются для прогнозирования распределения радиации в пространстве и времени. Совмещение наземных измерений, спутниковых данных и моделирование обеспечивает наиболее точные результаты, позволяя изучать взаимодействие солнечной радиации с атмосферой, оценивать её изменения и делать долгосрочные прогнозы [14].

Атмосферные факторы, влияющие на поступление солнечной радиации, имеют широкий спектр практических последствий, начиная от энергетики и заканчивая экосистемами и климатическими процессами. Изменение облачности, концентрации аэрозолей и других атмосферных условий существенно влияет на производительность солнечных энергетических систем, снижая эффективность генерации энергии в условиях высокой облачности и загрязнённости воздуха [15]. Географический анализ этих факторов позволяет оптимизировать размещение солнечных электростанций и прогнозировать объёмы генерации, что способствует устойчивости энергосистем.

Для минимизации рисков и адаптации к изменениям солнечной радиации важны систематический мониторинг и совершенствование методов прогнозирования. Использование спутниковых данных, наземных наблюдений и численного моделирования позволяет отслеживать изменения в атмосфере, планировать устойчивое развитие энергетики и сельского хозяйства, а также разрабатывать адаптационные меры [16-17]. Снижение выбросов загрязняющих веществ может одновременно улучшить поступление солнечной радиации и

смягчить климатические эффекты. Перспективы дальнейших исследований включают усовершенствование технологий измерения и моделирования, анализ влияния климатических изменений на атмосферные процессы, а также разработку инновационных подходов к прогнозированию и адаптации в условиях глобальных изменений.

При разработке математических моделей для прогнозирования выработки электроэнергии солнечными электростанциями необходимо учитывать такие показатели, как индекс ясности неба, что может существенно увеличить точность расчета. Повышение точности расчета объема вырабатываемой электроэнергии солнечными станциями позволит правильно определить срок окупаемости строительства такой станции.

Список литературы

1. Bolsenga, S. J. Freshwater ice thickness variations in Michigan // *Journal of Glaciology*. 1979. Т. 22. № 86. С. 31–37.
2. Gueymard, C. A. The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models // *Solar Energy*. 2004. Т. 76. № 4. С. 423–453.
3. Iqbal, M. *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, 1983. 390 с.
4. Liou, K.-N. *An Introduction to Atmospheric Radiation*. 2-е изд. Academic Press, 2002. 583 с.
5. Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P. D., Iacono, M. J., & Clough, S. A. Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1997. Т. 102. № D14. С. 16663–16682.
6. Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., & Michalsky, J. Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance // *Solar Energy*. 1990. Т. 44. № 5. С. 271–289.
7. Reda, I., & Andreas, A. Solar position algorithm for solar radiation applications // *Solar Energy*. 2004. Т. 76. № 5. С. 577–589.
8. Roth, K., Lawrence, T., & Brodrick, J. Radiant cooling // *ASHRAE Journal*. 2019. Т. 61. № 9. С. 72–74.
9. SMARTS Model. Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine. Version 2.9.5. [Электронный ресурс]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Simple_Model_of_the_Atmospheric_Radiative_Transfer_of_Sunshine (дата обращения: 08.01.2025).
10. Stanhill, G., & Cohen, S. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2001. Т. 107. № 4. С. 255–278.
11. Wild, M., Ohmura, A., Gilgen, H., & Roeckner, E. Regional climate simulation with a high resolution GCM: Surface radiative fluxes // *Climate Dynamics*. 2005. Т. 24. № 4. С. 373–391.

12. MODIS Science Team MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. NASA Goddard Space Flight Center. [Электронный ресурс]. URL: <https://modis.gsfc.nasa.gov/> (дата обращения: 08.01.2025).
13. Gerro, Prinsloo SOLAR TRACKING Sun Position Sun Tracking Sun Following / Prinsloo Gerro, Dobson Robert. — ISBN: 978-0-620-61576-1. — Prinsloo, Dobson, South Africa. : Copyright2015 by Prinsloo, Dobson., 2015. — 458 с.
14. Liu, B. Y., & Jordan, R. C. (1963). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 7(1), 1-19.
15. Katiyar, A. K. A Review of Solar Radiation Models—Part I / A. K. Katiyar, C. K. Pandey. — // *Journal of Renewable Energy*. — 2013. — № 168048. — С. 11-22.
16. Hottel, H. C. (1976). A review of solar radiation models. *Solar Energy*, 18(3), 293-302.
17. Maxwell, E. L. (1994). A Quasi-Physical Model for Converting Hourly Global Horizontal to Direct Normal Insolation. Technical Report No. SERI/TR-215-3087. National Renewable Energy Laboratory.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕКЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Митрофанов С. В., канд. техн. наук, доцент, Турсунов Р. Н.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Мир сталкивается с неотложными проблемами, связанными с изменением климата и быстрым истощением запасов ископаемого топлива. Поэтому переход на возобновляемые источники энергии становится критически важным. Фотоэлектрическая технология использует энергию солнца для снижения зависимости от ископаемого топлива и сокращения выбросов парниковых газов. Солнечные энергетические системы, состоящие из солнечных панелей, инверторов и монтажных конструкций, предназначены для улавливания и преобразования солнечного света в электроэнергию. Фотоэлектрические панели являются сердцем этих систем, поглощая солнечный свет и производя электрическую энергию постоянного тока (DC). Инверторы преобразуют постоянный ток (DC) в переменный ток (AC), который впоследствии используется в домах, компаниях и промышленных целях. Эффективность фотоэлектрических панелей значительно возросла за последние годы, что приводит к увеличению спроса на строительство солнечных электрических станций.

Позиция Солнца на небосклоне непостоянна и изменяется в течение дня и года. За 24 часа наша планета Земля делает полный оборот вокруг Солнца. Один световой день длится несколько часов в зависимости от региона и положения Земли на орбите. Относительно нас Солнце движется с Востока на Запад и проходит зону видимости за время светового дня. Из-за этого есть смысл изменять угол поворота солнечных модулей по азимуту. На протяжении года необходимо подстраивать положение солнечных модулей относительно положения Солнца над горизонтом (по углу склонения). Крайние положения Солнца по данной оси можно зафиксировать в дни летнего и зимнего солнцестояния.

Для настройки угла наклона солнечных модулей можно использовать различные системы слежения. Механизм системы слежения за Солнцем состоит из устройства слежения, алгоритма слежения, блока управления, системы позиционирования, приводного механизма и сенсорного устройства. Алгоритм слежения определяет углы, которые используются для определения положения солнечного трекера. Существует два типа алгоритмов – астрономические и реальные алгоритмы измерения интенсивности света. Астрономический алгоритм – это чисто математический алгоритм, основанный на астрономических наблюдениях и знаниях геометрии. Алгоритм измерения интенсивности света в реальном времени основан на алгоритме реального времени показания интенсивности света. Блок управления реализует алгоритм слежения и управляет системой позиционирования и приводным механизмом. Система позиционирования управляет поворотной платформой, которая должна быть обращена к Солнцу

под оптимальным углом. Система позиционирования может быть электрической или гидравлической. Приводной механизм отвечает за перемещение следящего устройства в исходное положение определяется системой позиционирования. Чувствительные устройства представляют собой группу датчиков и измерения, которые измеряют условия окружающей среды, интенсивность света при освещении в реальном времени алгоритмы интенсивности, а также угол наклона трекера (с помощью инклинометра или комбинации концевых выключателей и счетчиков энкодеров двигателей). Принцип действия основывается на свойстве полупроводников менять своё сопротивление в зависимости от внешних факторов. В данном случае, в зависимости от интенсивности светового потока. Для измерения по каждой оси используются 13 фоторезисторов, расположенных вдоль кругового сектора в 120 градусов. За начальное и конечное положение солнечной панели взят наклон в 30 градусов относительно крепежа, перпендикулярного плоскости земли. Расположение элементов показано на рисунке 1.

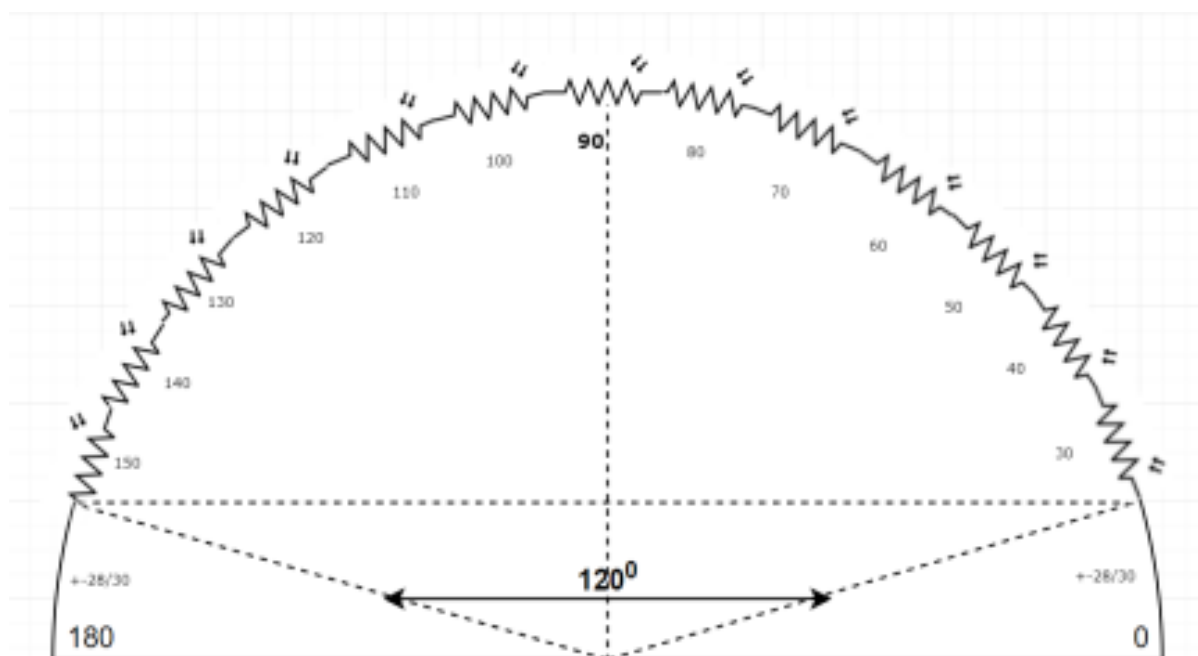


Рисунок 1 — Схема разрабатываемого трекера слежения за солнцем

Для упрощения сбора данных все резисторы подключаются к аналого-цифровому преобразователю, встроенному в микроконтроллер через аналоговые мультиплексоры. Аналоговый мультиплексор — устройство, коммутирующее сигнал с заданного входа на единый выход, что позволяет поочередно измерить сигнал на нескольких источниках. Для синхронного переключения входов четырех мультиплексоров (север, юг, запад, восток) используется счётчик, который реагирует на импульсы, подаваемые микроконтроллером. Контроллер поочередно измеряет параметры выходного напряжения на каждом фоторезисторе и производит их программную обработку.

В целом, системы слежения за солнечными батареями можно разделить на 2 основные группы, в зависимости от степени их свободы наклона и вращения. А именно, классификация представляет собой одноосевую систему слежения за солнцем и двухосевую систему слежения за солнцем. Одноосная система слежения за Солнцем используется для отслеживания угла наклона Солнца вдоль одной оси, обычно используется в тропическом регионе, поскольку положение Солнца в течение года не сильно отличается. Эта система состоит из 1 линейного привода, с двигателем для вращения панели в соответствии с движением Солнца. Как правило, используется набор из 2 светозависимых резисторов (LDR), а размещается он на противоположных сторонах солнечной панели. Его функция заключается в измерении интенсивности света путем вычисления падения напряжения на них. Панель будет продолжать вращаться и остановится, когда падение напряжения будет равномерным. Поэтому солнечная панель всегда будет обращена перпендикулярно солнечному излучению.



Рисунок 2 — Одноосевая система слежения за солнцем



Рисунок 3 — Склонение одноосевой системы слежения

Двухосевая система слежения за солнцем имеет 2 оси вращения, которые позволяют ей всегда отслеживать движение солнечного света, и в основном предназначена для использования за пределами тропического региона, за пределами широт 10° северной широты и 10° южной широты от экватора. Данная система состоит из 2-х исполнительных механизмов, с двигателем для вращения панели за счет приема сигнала управления напряжением от 4 LDR, которые размещены на всех углах солнечной панели. Механизм двухосевой системы слежения за солнцем относительно более сложен, а его общая стоимость сравнительно выше, чем у одноосевой системы слежения за солнцем. Когда солнечная панель испытывает максимальное излучение, падение напряжения на 4 LDR будет равным, таким образом, движение панели прекратится. Эта система позволяет солнечной панели большую часть времени быть обращенной перпендикулярно солнечному излучению.



Рисунок 3 — Двухосевая система слежения за солнцем

Многочисленные исследования изучают повышение производительности различных систем слежения за солнечными батареями. Например, Tarlochan et al. разработали недорогой двухосевой солнечный трекер, сравнив его со статической солнечной панелью. В их конструкции использовались микроконтроллер Arduino Uno для управления, два серводвигателя для вращения панели и LDR в качестве датчиков света. Прототип имитировал движение солнца, а программное обеспечение LabVIEW позволяло отслеживать напряжение, ток и мощность в реальном времени. Результаты показали, что система слежения увеличила среднюю мощность на 13,44% по сравнению со статической панелью. Jamal et al, также исследовали автоматические системы слежения за солнцем, используя 4 LDR, Arduino и двигатель постоянного тока. Их система работала, получая аналоговые сигналы от LDR и преобразовывая их в цифровые для управления двигателем. Nkalo et al. разработали двухосевой контроллер для фотоэлектрических элементов с использованием микроконтроллера ATMEGA 328P и серводвигателя. Датчики LDR были размещены в углах панели, чтобы направлять её на максимальное солнечное излучение. Моделирование проводилось с помощью Proteus. В результате было отмечено увеличение выходной мощности на 54,71% по сравнению с фиксированной панелью.

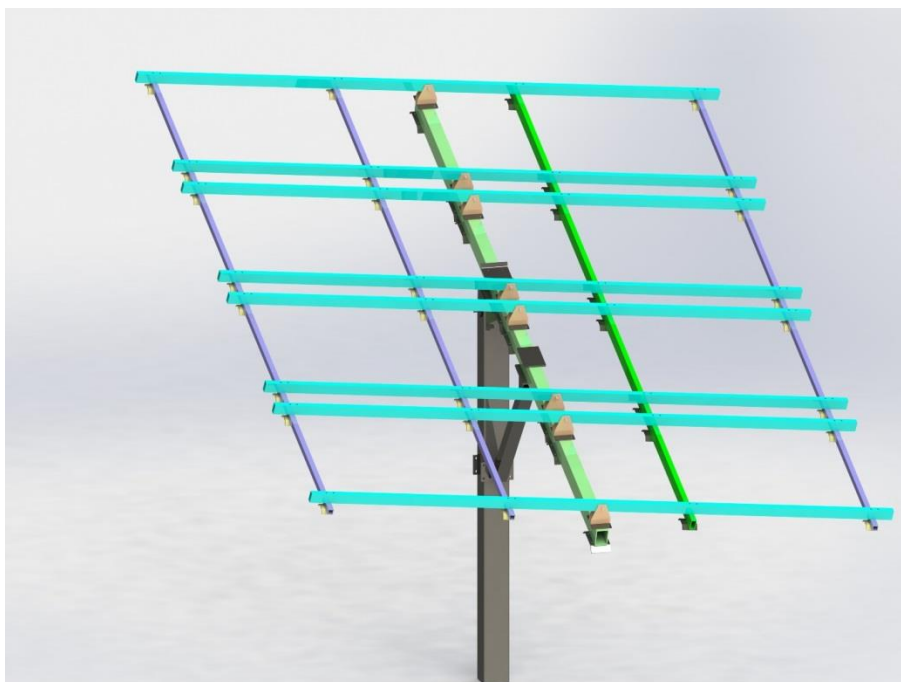


Рисунок 4 — Макет солнечной панели

Солнечный свет состоит из 2 типов излучения, а именно лучевого излучения и диффузного излучения. Пучковое излучение – это солнечное излучение, получаемое поверхностью Земли без изменения направления, в то время как диффузное излучение – это солнечное излучение, получаемое поверхностью Земли, которое отражалось и рассеивалось атмосферой. Таким образом, погодные условия играют важную роль, способную повлиять на производительность солнечной панели, так как облако будет легко блокировать солнечные лучи, что приведет к тому, что луч излучения не попадет на солнечную панель. Lee et al провели эксперимент на открытом воздухе с использованием недорогого солнечного трекера, чтобы сравнить производительность между статической солнечной панелью и системой слежения за солнцем с точки зрения солнечного излучения и прироста энергии за один месяц. Эффективность и энергия, полученные солнечной панелью, были измерены в пасмурные и солнечные дни. В таблице 1 ниже приведены показатели эффективности и энергии, полученной солнечными панелями в разные дни. На основании полученного результата КПД в солнечные дни был увеличен с 24,91% в пасмурный день до 82,12% в солнечный день, а вырабатываемая энергия увеличилась с 0,108 кВт·ч/м² в пасмурный день до 0,603 кВт·ч/м² в солнечный день. Эффективность и энергия, вырабатываемые солнечной панелью, зависят от погоды в течение дня. Для обеспечения поворота трекера в горизонтальной плоскости, используется серводвигатель, обеспечивающий вращения в разные стороны. Для управления серводвигателем необходимо собрать электронную схему управления, в основу работы которой, заложена работа фоторезисторов. При необходимости установки более сложной схемы, лучшим вариантом будет – приобрести готовое устройство.

Оренбургская область, расположенная в Южно-Уральском регионе, обладает уникальными условиями для использования солнечной энергии, что делает её одним из самых перспективных регионов для развития этой технологии в России. Размещению солнечных электростанций позволяют большие площади не занятых в сельском хозяйстве территории. По данным на 2023 год, площадь, потенциально пригодная для установки солнечных панелей, превышает 1000 км², что открывает возможности для значительного расширения солнечной энергетики. Оренбургская область также обладает развитой инфраструктурой, которая облегчает установку и эксплуатацию солнечных электростанций. Это создает дополнительные условия для привлечения инвестиций и разработки новых проектов в области возобновляемой энергетики. В 2024 году общая установленная мощность солнечных электростанций в Оренбургской области составила более 360 МВт. Это позволило выработать более 300,000 МВт·ч электроэнергии, что соответствует потребностям примерно 100,000 домохозяйств. Ожидается, что к 2027 году установленная мощность солнечных электростанций в регионе вырастет до 500 МВт, что увеличит выработку электроэнергии до 600,000 МВт·ч.

Эти факторы делают Оренбургскую область перспективным регионом для развития солнечной энергетики, способствуя устойчивому развитию и энергонезависимости региона.

Таблица 1 — Эффективность и выработка энергии для различных погодных условий

Погодные условия	Эффективность (%)	Вырабатываемая энергия (кВт·ч/м ²)
Облачно	24,91	0,108
Солнечно	95,4	0,603

Таблица 2 — Производительность мобильной системы и статической системы

День	Мобильная система энергии (Вт·ч)	Статическая система энергии (Вт·ч)	Прирост (%)	Погодные условия
1	63,7	68,2	-7	Облачно
2	195,4	162,7	20	Рассеянные облака
3	195,2	166,7	17	Солнечно
4	177	149,4	19	Солнечно
5	200,7	174,1	15	Солнечно
6	149,9	159,2	-6	Рассеянные облака
7	100	100,5	0	Облачно
8	223,1	189,8	18	Солнечно
Средний	163,1	146,3	11	-

В ближайшей перспективе планируется разработать поворотный модуль, а также разработать новую версию трекера, которую можно будет представить потребителю. Планируется заменить фоторезисторы на фотодиоды, увеличить их количество и повысить точность установки до 1 градуса. Усовершенствовать программное обеспечение для избавления от ошибок, вызванных рассеянием солнечного света облаками.

В данной статье представлен обзор предыдущих работ по моделированию и экспериментальному анализу систем слежения за солнцем как для одноосных систем слежения за солнцем, так и для двухосевых систем слежения за солнцем. Эти исследователи сравнили и оценили производительность систем слежения за солнечными батареями по сравнению со статическими солнечными панелями, а также между различными механизмами систем слежения за солнечными батареями, и они пришли к выводу, что производительность систем слежения за солнечными батареями значительно выше, чем у статических солнечных панелей. Аналогичным образом, исследователи, которые проводили исследования влияния погодных условий на производительность солнечных панелей, также пришли к выводу, что системы с механизмами слежения работают относительно лучше и они более устойчивы к изменениям погодных условий.

Список литературы

1. Дьяченко Е. С., Журба С. С. Гелиоэнергетика Оренбургской области // Научные механизмы решения проблем инновационного развития: сб. ст. Международн. науч.-практ. конф. (28 нояб. 2017 г, г. Уфа). В 3 ч. Ч. 1. Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2017. С. 207–210. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orensteppe.org/content/solnechnyy-energoklaster-orenburgskoy-oblasti-geografiya-gelio-es-kak-istochnikov>
2. Дьяченко Е. С., Журба С. С. Гелиоэнергетика Оренбургской области // Научные механизмы решения проблем инновационного развития: сб. ст. Международн. науч.-практ. конф. (28 нояб. 2017 г, г. Уфа). В 3 ч. Ч. 1. Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2017. С. 207–210. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orensteppe.org/content/solnechnyy-energoklaster-orenburgskoy-oblasti-geografiya-gelio-es-kak-istochnikov>
3. Митрофанов, С. В. Состояние и перспективы развития фотоэлектрических станций с системами слежения за Солнцем [Электронный ресурс] / С. В. Митрофанов, Д. К. Байкаменов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2023. - Т. 23, № 3. - С. 19–33. - 15 с.
4. Панченко В. А., Майоров В. А. Изготовление и исследование составного параболоторического концентратора солнечного излучения для различных преобразователей солнечной энергии // Труды 8-й Международной научно-технической конференции, 17–18 мая 2012 года, Москва, ГНУ ВИЭСХ, 2012, Часть 4, С. 89–94. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3166/>

5. Стребков Д. С., Майоров В. А., Панченко В. А. Солнечный фотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором // Энергобезопасность и энергосбережение, 2012, № 5, С. 15–17.

6. Майоров В. А., Панченко В. А. Исследование параболоторического концентратора в установке с солнечными элементами // Материалы восьмой всероссийской научной молодежной школы с международным участием (20–23.11.2012, Москва, МГУ). Возобновляемые источники энергии, 2012. С. 284–289. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/th/8/archive/85/3166/>

7. Стребков Д. С., Майоров В. А., Панченко В. А. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором // Альтернативная энергетика и экология, 2013, № 1/2, С. 35–39. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnyy-teplo-fotoelektricheskiy-modul-s-parabolotoricheskim-kontsentratorom>

8. Митрофанов, С. В. Выбор оптимального угла наклона солнечных панелей для размещения их в произвольном регионе [Электронный ресурс] / С. В. Митрофанов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2023. - Т. 23, № 1. - С. 5–11. - 7 с.

ОБЗОР АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

**Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Карагодин Н.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Как известно, одной из главных проблем современного производства является энергосбережение. Технологии производственных процессов постоянно развиваются, что ведет к существенному увеличению расходов электроэнергии и росту стоимости выпускаемой предприятиями продукции. В условиях растущей конкуренции предприятия вынуждены искать пути снижения энергопотребления и увеличивать энергоэффективность отдельных производств. Одним из перспективных решений по эффективному использованию энергоресурсов является использование для электроснабжения предприятий автоматизированных гибридных ветро-солнечных электростанций.

Особенности эксплуатации ветро-солнечных электростанций, мощность которых определяется вероятностными характеристиками первичного энергоносителя – энергии ветра и солнца заключается в следующем:

- случайный характер первичного потока энергии ветра и солнечной инсоляции, трудность устойчивого прогнозирования и обеспечения производства электроэнергии ветро-солнечных электростанций без накопителей энергии;
- значительные суточные, квартальные и годовые колебания интенсивности солнечного излучения и скорости ветра;
- большое количество ветроустановок и солнечных фотоэлектрических батарей, размещенных под открытым небом на обширных территориях достаточно далеко друг от друга, для исключения взаимного затенения и удобства обслуживания и эксплуатации;
- зависимость выработки электроэнергии от метеоусловий на площадке ветро-солнечных электростанций, непредсказуемость текущей выработки электроэнергии и невозможность ее точного планирования на требуемый срок по условиям выполнения суточных графиков покрытия нагрузки сети.

Вышеперечисленные требования, связанные с особенностью эксплуатации ветро-солнечных электростанций, потребовали создания автоматизированной системы управления работой этой энергосистемы.

Выполнение требований, предъявляемых к надежности ветро-солнечных электростанций невозможно без использования автоматизированных систем. Поскольку данные гибридные энергетические системы электроснабжения охватывают широкий спектр технологий и подходов, необходимо найти метод анализа, который сможет учитывать множество факторов и обеспечивать комплексный подход. В данной работе был произведен анализ научно-технической литературы в области автоматизированных систем управления (АСУ) гибридными системами электроснабжения. Методы можно разделить на 3 группы.

К первой группе относится метод моделирования и симуляции [1,2]. Данный метод используется для того, чтобы представить каждый компонент гибридной системы помощью математических уравнений, описывающих его характеристики. Модели могут учитывать такие параметры, как мощность, эффективность, затраты, а также динамические изменения в зависимости от внешних условий. Математические модели позволяют интегрировать различные компоненты в единую систему, что дает возможность оценить взаимодействие между ними. Это может включать в себя моделирование потоков энергии, управление зарядом и разрядом аккумуляторов, а также оптимизацию работы дизельных генераторов в зависимости от доступности возобновляемых источников энергии. Симуляция на основе математических моделей позволяет исследовать поведение гибридной системы в различных сценариях и условиях эксплуатации. Таким образом, модели позволяют формализовать процессы, происходящие в энергосистеме, и предсказать ее поведение в различных условиях.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- оптимизация работы системы;
- прогнозирование производительности;
- выявление потенциальных проблем в системе;
- возможность выбрать наиболее эффективное решение.

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- сложность моделей;
- неопределенность данных;
- необходимость в высокопроизводительных вычислительных ресурсах для проведения сложных симуляций, что может увеличить затраты времени и ресурсов;

- результаты симуляций могут быть сложными для интерпретации и требуют квалифицированных специалистов для анализа.

Ко второй группе относится метод экспериментального исследования. Данный метод подразумевает проведение опытов на реальных энергетических установках для изучения работы АСУ гибридных систем [3, 4]. В его основе лежит проведение опытов на реальных установках для изучения работы АСУ гибридных систем. Эксперименты позволяют оценить, как система реагирует на изменения условий, такие как колебания нагрузки или изменения в доступности ресурсов (например, солнечной или ветровой энергии).

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- практическая валидация моделей;
- выявление оптимальных режимов работы;
- анализ взаимодействия компонентов;
- оценка устойчивости и надежности.

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- высокие затраты.
- сложность настройки;
- ограничения по времени и ресурсам.

К третьей группе относится метод линейной оптимизации [5, 6]. Линейная оптимизация позволяет определить, как эффективно распределить нагрузку между различными источниками энергии, чтобы минимизировать затраты и обеспечить надежность. Это может включать в себя решение, сколько энергии следует производиться солнечными панелями, сколько ветрогенераторами, и как использовать аккумуляторы для хранения избыточной энергии.

К достоинствам этого метода можно отнести следующие факторы:

- эффективность;
- линейные уравнения и неравенства легко формулируются и понимаются;
- результаты оптимизации легко интерпретировать, что упрощает принятие решений и коммуникацию с заинтересованными сторонами;
- поддержка программного обеспечения.

К недостаткам этого метода можно отнести следующие факторы:

- результаты оптимизации легко интерпретировать, что упрощает принятие решений и коммуникацию с заинтересованными сторонами.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов оценки состояния гибридных систем энергоснабжения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов расчета режимов работы электрической сети

Метод оценки		Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Метод моделирования и симуляции	Х.Д. Мохаммед Л. М. Абдали Х.А. Исса	<ul style="list-style-type: none"> - позволяет проводить анализ «что если» для различных сценариев; - повышает точность прогнозирования; - позволяет оценить эффективность системы до ее реализации. 	<ul style="list-style-type: none"> - результаты могут не учитывать все реальные условия эксплуатации; - сложность в интерпретации результатов и необходимость в специализированных знаниях; - модели могут быть чувствительны к начальным условиям.

Метод оценки		Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
2	Метод экспериментального исследования	И.А. Михайлов В.В. Кувшинов Д.И. Кузнецов	<ul style="list-style-type: none"> - позволяет понять, как различные параметры влияют на эффективность работы систем, что может привести к улучшению их характеристик; - экспериментальные данные помогают улучшить алгоритмы, что может значительно повысить общую производительность систем. 	<ul style="list-style-type: none"> - высокие затраты на проведение исследований и длительное время, необходимое для получения значимых результатов; - ограниченная масштабируемость лабораторных результатов на реальные системы, что может привести к несоответствию данных.
3	Метод линейной оптимизации	С.В. Митрофанов С.В. Кузнецов Ю.А. Лебедев	<ul style="list-style-type: none"> - эффективность. - линейные уравнения и неравенства легко формулируются и понимаются; - результаты оптимизации легко интерпретировать, что упрощает принятие решений и коммуникацию с заинтересованными сторонами; - поддержка программного обеспечения; - линейные модели могут быть адаптированы для учета различных факторов. 	<ul style="list-style-type: none"> - результаты оптимизации легко интерпретировать, что упрощает принятие решений и коммуникацию с заинтересованными сторонами.

Энергетические реформы для автоматизации гибридных систем электро-снабжения в последние годы включали ряд ключевых инициатив и изменений, направленных на повышение эффективности, устойчивости и надежности энергетических систем. Поддержка солнечной и ветровой энергетики: Внедрение субсидий, налоговых льгот и других форм государственной поддержки для стимулирования инвестиций в солнечные и ветровые установки способствует переходу к устойчивому и экологически чистому энергетическому будущему. Одним из направлений этих реформ является цифровая трансформация и ин-

теллектуализация отраслей топливно-энергетического комплекса, в результате которого новое качество приобретут все процессы в сфере энергетики.

Однако, анализ научно-технической литературы показал, что подобные автоматизированные системы не развиты и находятся на стадии активного развития, особенно в контексте перехода к более устойчивым и эффективным энергетическим решениям.

Подводя итог, можно сказать, что тема исследования, а именно «Автоматизированные системы управления ветро-солнечными электростанциями» является актуальной и значимой, с учетом глобальных тенденций к устойчивому развитию и переходу на возобновляемые источники энергии, можно ожидать дальнейшего роста и интеграции гибридных систем в энергетическую инфраструктуру.

Список литературы

1. Мохаммед Х. Д., Абдали Л. М., Исса Х. А., Аль-Руфай Ф. М. Разработка обобщенной фотоэлектрической модели с использованием MATLAB // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов: Сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22–24 апреля 2020 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2020. С. 166-172.

2. Абдали Л. М., Исса Х. А., Али К. А., Кувшинов В.В., Бекиров Э.А.

Анализ и моделирование автономной фотоэлектрической системы с использованием среды MATLAB/Simulink// Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 21(73). С. 97-105.

3. Аль-Руфай Ф. М., Кувшинов В. В., Абдали Л. М., Мохаммед Х. Д. Разработка комбинированных автономных систем электроснабжения малой мощности с солнечной энергией для производства электроэнергии в сельских районах // Актуальные проблемы электроэнергетики: Сборник научно-технических статей конференции, Нижний Новгород, 17 декабря 2021 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. 2021. С. 318-325.

4. Обухов, С.Г. Прогнозирование режимов потребления электрической энергии автономными энергетическими системами / С.Г. Обухов, З.П. Хошнау // Электрические станции. – 2012. – №. 11. – С. 43–47.

5. Чебоксаров В. В., Кузнецов П. Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 18(70). С. 67-81.

6. Бледных, А. А. Перспективы развития ветро-солнечной энергетики в регионах [Электронный ресурс] / А. А. Бледных, С. В. Митрофанов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 23-25 янв. 2020 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос.бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург: ОГУ, 2020. – С. 2664-2668. - 5 с.

ОДНОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА, РАБОТАЮЩЕГО НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Темиргалиев Р.Р.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Разработка математических моделей, описывающих работу компонентов гибридного энергетического комплекса (ГЭК), работающего на возобновляемых источниках энергии, является важной задачей при его проектировании и оптимизации, поскольку эти модели позволяют не только учитывать физические процессы, происходящие в компонентах системы, но и адаптировать параметры комплекса к изменениям внешних условий. На основе созданных ранее математических моделей компонентов ГЭК был разработан алгоритм расчета и его оптимизации, представленный в работе [1] (рисунок 1). Данный алгоритм позволяет учитывать различные параметры окружающей среды и обеспечивает работу ГЭК с наилучшим показателем надежности LPSP (Loss of Power Supply Probability – вероятность потери электроснабжения), принятый в качестве критерия оптимизации. В рамках данного алгоритма рассматриваются базовые уравнения для каждого отдельного компонента ГЭК, что позволяет интегрировать их в единый комплекс и произвести оценку энергоэффективности и надежности работы системы в различных условиях.

На следующем этапе разработанный алгоритм был программно реализован при помощи языка программирования Python. В общем виде программный код содержит следующие структурные части.

1. Инициализация параметров:

– задаются начальные значения мощности солнечных панелей, ветрогенераторов, емкости аккумулятора и начальное состояние заряда, требуемый уровень надежности.

2. Основная часть расчета:

– на каждом шаге итерации происходит вычисление мощности, генерируемой солнечными панелями и ветрогенераторами, которая затем сравнивается с величиной нагрузки, после чего происходит обновление состояния заряда аккумулятора;

– в случае если доступная генерация не покрывает нагрузку, дефицит мощности учитывается показателем LPS;

– параметры системы корректируются до тех пор, пока величина показателя LPSP не станет меньше или равной установленному допустимому значению $LPSP_{\text{треб}}$.

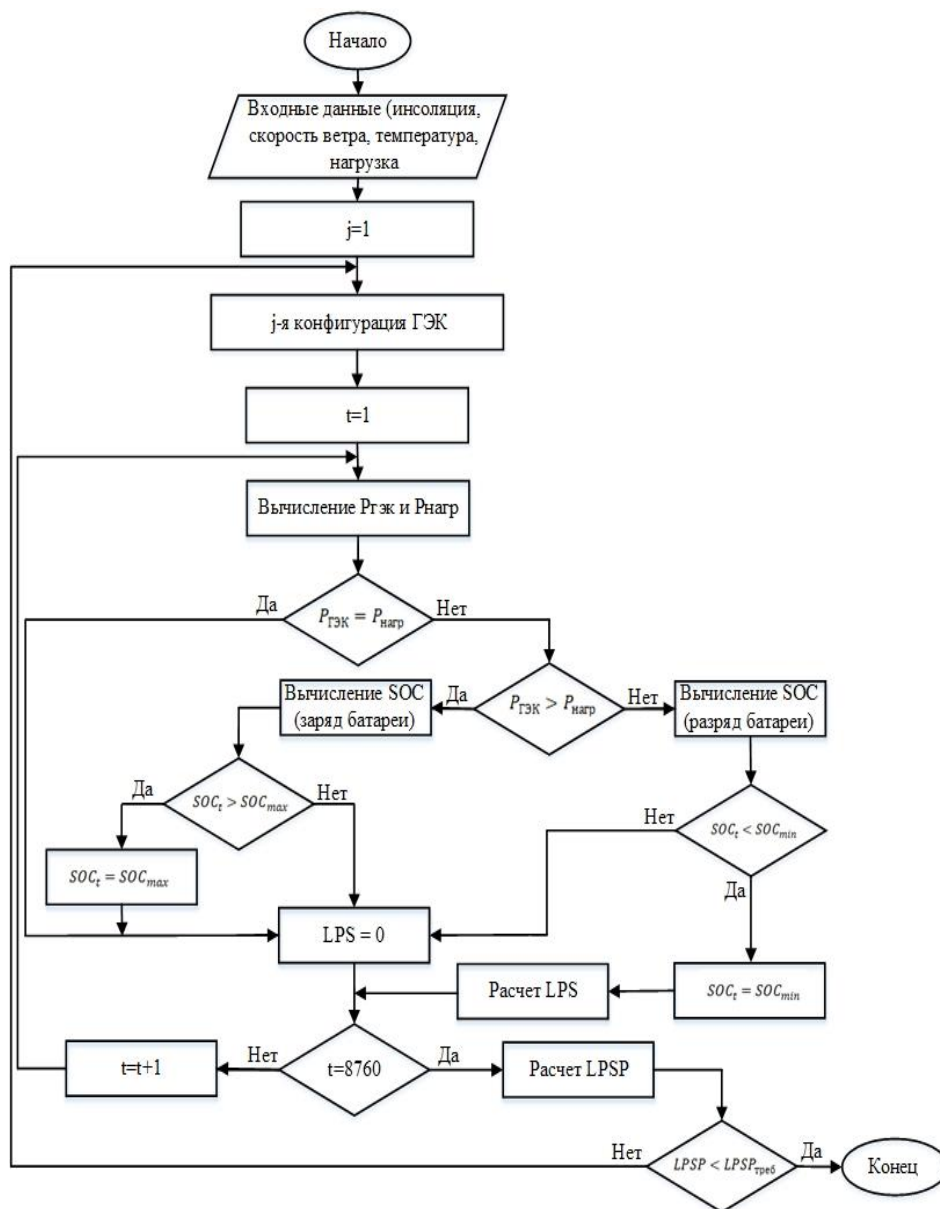


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма

Требуемый уровень надежности был задан равным $LPSP_{\text{треб}} = 0,01$. Данное значение соответствует тому, что в течение всего года допускается, что только 1% нагрузки не будет обеспечен электроэнергией. Необходимо отметить также, что в рассматриваемой системе вся электроэнергия вырабатывается исключительно возобновляемыми источниками. Наличие резерва в виде традиционного источника, например, дизельного генератора, позволит снизить требуемую емкость аккумуляторных батарей, мощность солнечного и ветрового модулей, снизив таким образом затраты на ГЭК в целом, сохранив надежность ГЭК на том же уровне.

На рисунке 2 представлены результаты последних трех итераций алгоритма и итоговая конфигурация ГЭК.

```
Текущие параметры: Solar: 48.75 кВт, Wind: 14.63 кВт, Battery: 80.00 кВт*ч
Текущее значение LPSP: 0.0109
Текущие параметры: Solar: 49.73 кВт, Wind: 14.92 кВт, Battery: 80.00 кВт*ч
Текущее значение LPSP: 0.0102
Текущие параметры: Solar: 50.72 кВт, Wind: 15.22 кВт, Battery: 80.00 кВт*ч
Текущее значение LPSP: 0.0097
Требуемое значение LPSP достигнуто!
```

Рисунок 2 – Полученная конфигурация ГЭК

На рисунке 3 представлен процесс поиска оптимальной конфигурации ГЭК. Требуемое значение уровня надежности LPSP было достигнуто после нескольких десятков итераций.

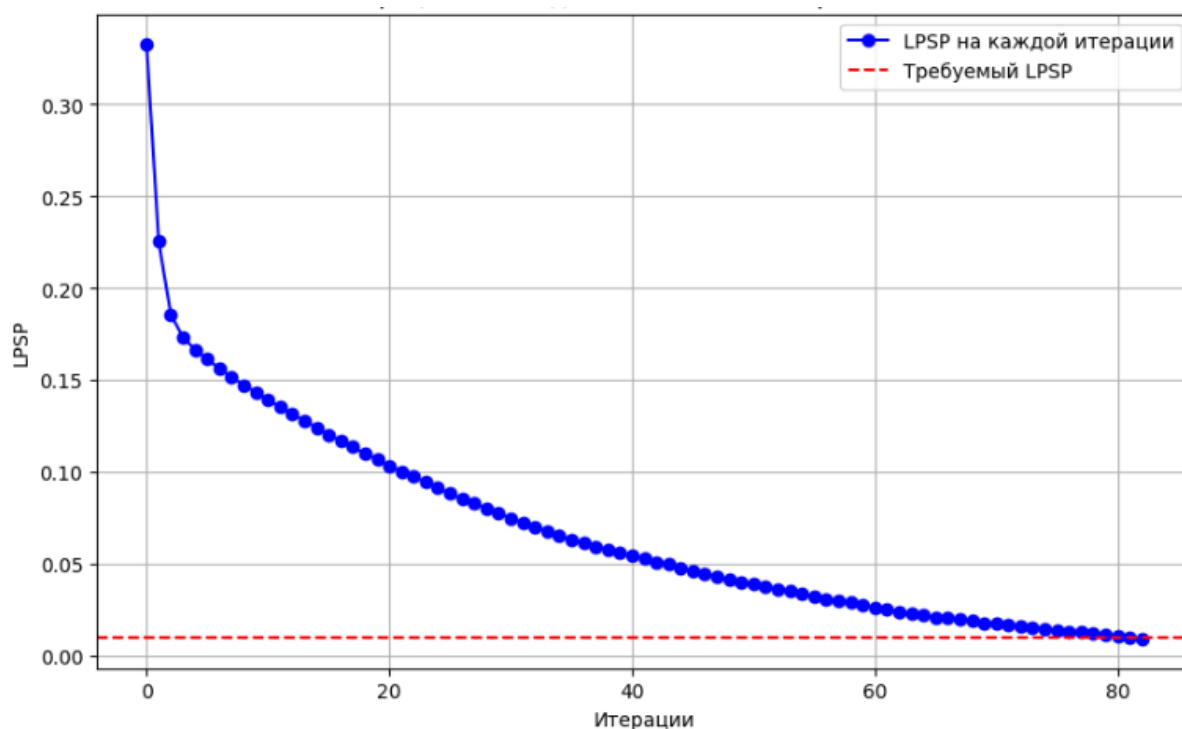


Рисунок 3 – Процесс поиска оптимального решения

На рисунке 4 представлено изменение состояния заряда в течение года. Как видно из рисунка 3, в летний период нагрузка оказывается полностью покрыта вырабатываемой электроэнергией ГЭК, а уровень заряда модуля накопления электроэнергии не опускается до минимального предела.

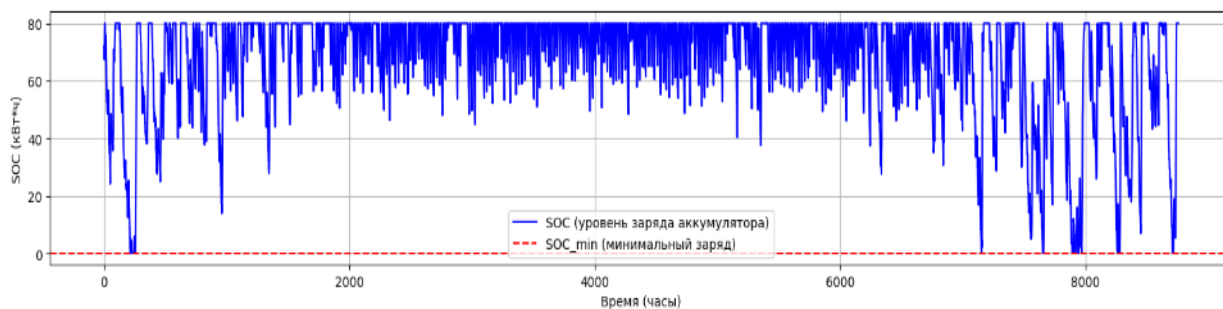


Рисунок 4 – Уровень заряда аккумулятора

На рисунке 5 представлен график, отражающий величину дефицита мощности в течение всего года, на основании которого определяется уровень надежности системы в целом.

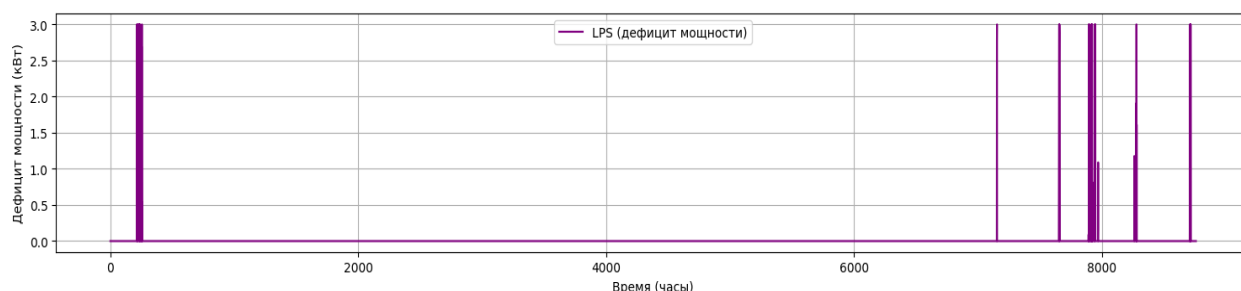


Рисунок 5 – Дефицит мощности

В целом, разработанная математическая модель позволяет оценить перспективу использования ГЭК в качестве единственного источника электропитания, а также определить оптимальные параметры системы и обеспечить вероятность потери электропитания на заданном уровне, то есть гарантировать необходимый уровень надежности.

Однако необходимо отметить, что для поиска оптимального в заданных условиях решения требуется несколько десятков итераций и значительное количество вычислительных ресурсов. Включение в процесс решения рассматриваемой оптимизационной задачи дополнительных критериев, в частности, экономического, приведет к дальнейшему увеличению числа итераций, вычислительной сложности и, в итоге, к увеличению времени сходимости алгоритма. Таким образом, дальнейшую разработку алгоритма наиболее перспективно проводить в направлении использования методов искусственного интеллекта, в частности, генетического алгоритма и метода роя частиц, которые позволят повысить точность при проектировании ГЭК и увеличить скорость сходимости алгоритма [2, 3].

Список литературы

1. Митрофанов, С.В. Математическая модель компонентов гибридного энергетического комплекса, работающего на возобновляемых источниках энергии / С.В. Митрофанов, Р.Р. Темиргалиев // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XV Всероссийской научно-технической конференции; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2024. – С. 45-50.

2. Темиргалиев, Р.Р. Анализ подходов к оптимизации размеров гибридных электротехнических комплексов, работающих на возобновляемых источниках энергии / Р.Р. Темиргалиев, С.В. Митрофанов // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2023. – С. 20-23.

3. Митрофанов, С.В. Методы оптимизации размеров гибридных энергетических комплексов, работающих на возобновляемых источниках энергии /

С.В. Митрофанов, Р.Р. Темиргалиев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2025

4. Deshmukh M.K., Deshmukh S.S. Modeling of hybrid renewable energy systems // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008. – Vol. 12. Iss. 1. – P. 235-249.

ИНТЕГРАЦИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В МИКРОСЕТЬ

**Муллаянов Р.И., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Современная микросеть базируется на нескольких источниках энергии завязанных на системы хранения и накопления, при этом является мелкомасштабным производителем и распределителем электроэнергии.

Наблюдаются тенденции постоянного повышения спроса на электроэнергию, что требует надежности работы энергосистем и оптимизации затрат на них. Одним из направлений решения этих задач является применение микросетей с их интеграцией во внешнюю сеть.

Микросети целесообразно использовать при подключении локальных объектов, таких как больничные комплексы, учебные и научные учреждения, отдельные производственные предприятия, жилые дома в удаленной сельской местности, строительные площадки и даже военные организации.

Естественно, локальные энергетические системы от автономных источников могут работать самостоятельно, независимо от внешней сети, при этом генерирование энергии возможно от возобновляемых источников, на основе воды, ветра, солнца. Для автономной работы микросетей должна быть отлажена система накопления и хранения электроэнергии, к которой можно отнести батареи.

Основные характеристики микросетей [1,2,3]:

Автономность: Микросети могут функционировать независимо от основной электросети. Это делает их полезными в удаленных или сельских районах, а также в случаях чрезвычайных ситуаций.

Использование возобновляемых источников энергии: Применение возобновляемых источников энергии, позволяет сделать микросеть более экологичной и независимой от центральных источников энергии и ископаемых видов топлива.

3. Управление данными и мониторинг: Микросети могут использовать современные технологии для управления распределением энергии, что позволяет оптимизировать производительность системы и улучшить эффективность.

4. Гибкость и адаптивность: Они могут адаптироваться к изменениям в потреблении энергии, интегрируя различные источники и технологии, включая системы хранения, что делает их гибкими в эксплуатации.

Преимущества микросетей:

- **Снижение затрат на электроэнергию:** Использование местных источников энергии может снизить зависимости от традиционного энергоснабжения.

- **Устойчивость к сбоям:** В случае отключения основной сети микросети могут продолжать работу.

- Экологическая устойчивость: Переход на возобновляемые источники энергии помогает снизить углеродный след и улучшить качество окружающей среды.

- Создание рабочих мест: Развитие микросетей может привести к созданию новых рабочих мест в области возобновляемой энергетики и технологий.

Проблемы и вызовы интеграции:

- Начальные затраты: Создание инфраструктуры для микросетей может потребовать значительных инвестиций.

- Технические сложности: Интеграция различных технологий и управление энергией могут быть сложными.

- Законодательные и регуляторные барьеры: В зависимости от региона могут существовать ограничения на использование и развитие микросетей.

Так же внедрение микросетей на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становится все более актуальным в контексте устойчивого развития и борьбы с климатическими изменениями.

Следует отметить, что перспективы развития микросетей связаны со следующими регуляторами:

1. Технологическая инфраструктура:

- Необходимость в современных технологиях для управления микросетями, включая системы хранения энергии, умные счетчики и платформы для интеграции данных.

- Использование систем мониторинга и предсказания производства энергии для оптимизации работы.

2. Экономическая целесообразность:

- Оценка стоимости инвестиций в создание, модернизацию и эксплуатацию микросетей.

- Изучение государственных субсидий и стимулов для использования ВИЭ.

- Понимание возможных моделей бизнеса и долгосрочной экономической выгоды.

3. Правовые и регуляторные аспекты:

- Анализ законодательства и норм, касающихся внедрения ВИЭ и работы микросетей.

- Взаимодействие с местными органами власти и регулирующими учреждениями для получения необходимых разрешений.

4. Социальные и экологические аспекты:

- Учет мнения местных жителей, обучение и информирование их о преимуществах микросетей.

- Вовлечение сообщества в процесс принятия решений, чтобы увеличить уровень доверия и поддержки.

- Оценка экологического воздействия и выбор оптимальных технологий с минимальным углеродным следом.

- Внедрение систем для утилизации и переработки компонентов ВИЭ.

5. Интеграция с существующей энергетической системой, ее устойчивость, масштабируемость и инновационность:

- Гибкость и возможность микросетей работать в связке с традиционными энергетическими системами.

- Разработка стратегий для управления энергией в период пикового спроса и недостатка предложения.

- Проектирование микросетей с учетом возможного дальнейшего расширения и адаптации к изменяющимся условиям.

- Создание адаптивных систем, способных быстро реагировать на изменение спроса и предложения.

- Поддержка исследований и разработок новых технологий для улучшения эффективности микросетей.

- Сотрудничество с научными и образовательными учреждениями для обмена опытом и внедрения лучших практик.

Эти факторы могут существенно повлиять на успешность внедрения микросетей на основе ВИЭ и их внесение в общую модель устойчивого энергетического развития.

Аналитическая оценка выработки энергии из возобновляемых и не возобновляемых источников, показывает, что на первом месте находится использование газа –около 43%, ядерная энергетика и возобновляемая имеют объем по 25%, уголь и нефтепродукты 3-4% от общего объема вырабатываемой энергии (рисунок 1) [1,2].

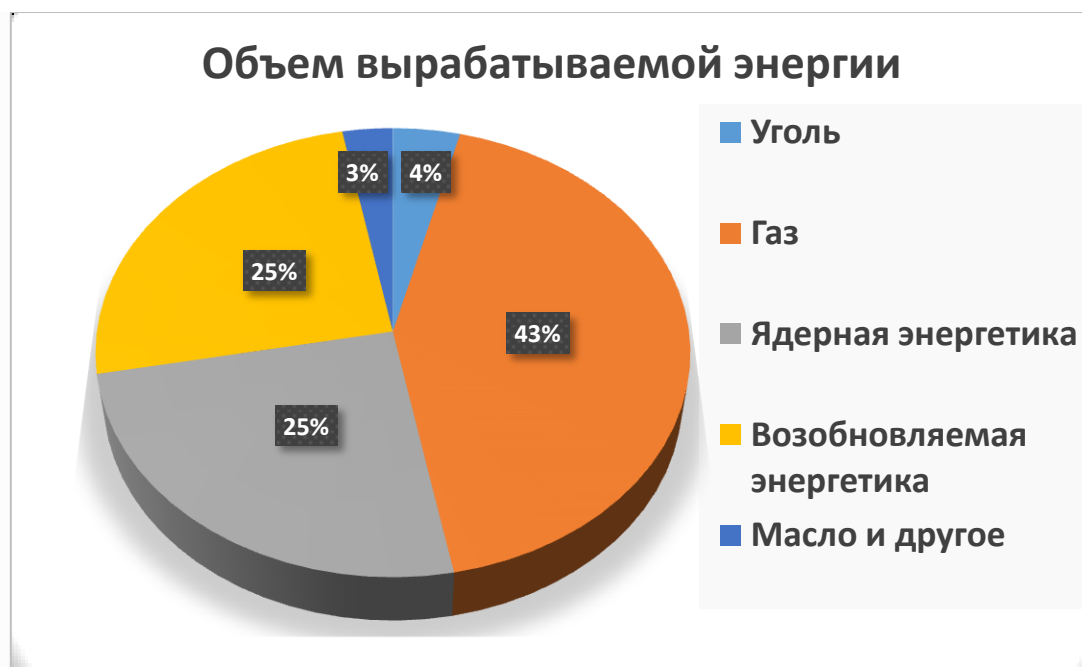


Рисунок 1- Мировое соотношение вырабатываемой энергии из различных источников в 2016г

Рассматривая тенденции роста возобновляемой энергетике, следует отметить, что лидирующие позиции занимают Германия, Китай и Япония [3] . Тенденции роста возобновляемой энергии представлены на рисунке 2.



Рисунок 2- Тенденции роста возобновляемой энергии по годам

Интеграция возобновляемых источников энергии в микросеть имеет достаточные перспективы. Свидетельством этому является создание в России Ассоциации развития возобновляемой энергетики.

Проведенный анализ [4,5,6] имеющихся разработок, показал, что взято на вооружение формирование научно-образовательного комплекса, на базе энергетического и высокотехнологического развития. Создание автономных электроэнергетических систем, для нашей страны является актуальным, соответственно, развитие возобновляемых источников энергии, позволит увеличить генерирующее оборудование и расширить круг потребителей (неохваченных централизованным энергоснабжением или имеющих значительные ограничения, например, территориальные).

Список литературы

1. <https://constructive-voices.com/ru/Микросети-возобновляемых-источников-энергии-для-строительных-площадок%2C-беспечивающие-устойчивое-развитие/>
2. <https://pcmp.springeropen.com/articles/10.1186/s41601-019-0122-8>
3. <https://электротехника.пф/info/publikatsii/intellektualnye-mikroseti-i-vozobnovlyaemye-istochniki-energii-v-intellektualnykh-setyakh/>
4. Дорохин А.М., Иванова А.П. Новые возможности генерации электроэнергии -живая энергетика. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург, 2023. С. 1086-1090.
5. Турсунов Р.Н., Иванова А.П. Геометрический инструментарий при создании проекта по генерированию электроэнергии в метрополитене. В сборнике: Молодежная наука в ххi веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы VI Международной научно-исследовательской конференции, посвя-

щенной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения. Самара-Оренбург, 2023. С. 244-249.

6. Шипилова Е.С., Иванова А.П. Микропроцессорная система управления в сборнике: молодежная наука в ххi веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшекласников: в 3 частях. 2017. С. 161-162.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

Нечетов И.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Паровые котлы среднего давления играют важную роль во многих промышленных процессах и энергетических установках. Они используются для генерации пара, который затем применяется в различных целях, таких как обогрев помещений, производство электроэнергии, технологические процессы и т.д. Эффективное управление такими котлами является критически важным аспектом их эксплуатации, так как оно влияет не только на производительность, но и на безопасность всего процесса.

Современные паровые котлы представляют собой сложные системы с множеством параметров, которые необходимо контролировать и регулировать. Управление этими параметрами требует применения специализированных алгоритмов, способных обеспечить стабильную работу котла при изменении внешних условий и требований к производственному процессу. Цель данной статьи – рассмотреть основные аспекты разработки алгоритма управления паровым котлом среднего давления, включая выбор методов регулирования, анализ основных переменных и построение модели управления.

Для эффективного управления паровым котлом необходимо учитывать следующие ключевые параметры:

1. Температура теплоносителя: Температура воды внутри котла должна поддерживаться на определенном уровне, чтобы предотвратить перегрев и образование накипи.
2. Давление пара: Давление должно быть строго контролируемым, поскольку его изменение может привести к аварийным ситуациям.
3. Уровень воды в барабане: Уровень воды должен находиться в пределах допустимого диапазона, чтобы избежать кипения и образования пустот.
4. Расход топлива: Оптимизация расхода топлива позволяет снизить затраты на эксплуатацию и повысить энергоэффективность.
5. Качество пара: Параметры качества пара (влажность, содержание примесей) должны соответствовать требованиям технологического процесса.

Существует несколько подходов к регулированию работы парового котла:

— Пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование (PID): Один из наиболее распространенных методов, основанный на пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих. PID регуляторы позволяют быстро реагировать на изменения параметров и стабилизировать систему.

— Адаптивное регулирование: Метод, позволяющий изменять настройки регулятора в зависимости от текущих условий работы котла. Это особенно полезно при работе в условиях изменяющихся нагрузок и внешних факторов.

— Фаззи-логика: Применение нечеткой логики для управления сложными системами, где традиционные методы могут оказаться неэффективными. Фаззи-регуляторы используют лингвистические правила для принятия решений.

Разработка имитационной модели управления начинается на основе следующих этапов:

1. Сбор данных: Измерения ключевых параметров в реальных условиях эксплуатации котла.

2. Идентификация модели: Анализ собранных данных и определение подходящих математических зависимостей.

3. Валидация модели: Проверка точности модели путем сравнения предсказанных значений с реальными данными.

4. Оптимизация модели: Улучшение модели за счет добавления дополнительных параметров или использования более сложных математических методов.

После создания модели можно приступить к реализации алгоритма управления. Алгоритм должен включать в себя следующие компоненты:

— Контроллер: Основной блок, отвечающий за обработку сигналов от датчиков и принятие решений о корректировке параметров.

— Датчики: Устройства, измеряющие температуру, давление, уровень воды и другие важные параметры.

— Исполнительные механизмы: Элементы, такие как клапаны и насосы, которые выполняют команды контроллера.

— Интерфейс пользователя: Система отображения информации и управления процессом.

Алгоритм должен быть протестирован в различных режимах работы котла, чтобы убедиться в его надежности и эффективности.

При эксплуатации котлоагрегата необходимо обеспечить:

— надежность и безопасность работы всего основного и вспомогательного оборудования;

— возможность достижения номинальной производительности котла, параметров и качества пара;

— экономичный режим работы котла, установленный на основе режимно-наладочных испытаний и заводских инструкций;

— регулировочный диапазон нагрузок, определенный для данного типа котлов и вида сжигаемого топлива;

— допустимые выбросы вредных веществ в атмосферу.

Снижение количества аварийных ситуаций при эксплуатации паровых котлов, одна из главных задач, над решением которой трудятся специалисты многих предприятий. Весь опыт диагностического и эксплуатационного контроля за паровыми котлами, показывает опасность несвоевременной и некачественной диагностики технического состояния котлоагрегатов. Когда же недостаткам в контроле сопутствуют и нарушения правил эксплуатации паровых котлов, то во многих случаях, это приводит к авариям и взрывам.

Если перечислить главные причины аварий паровых котлов, то перед нами предстанет следующий список: снижение уровня воды, превышение нормативного давления, нарушение водного режима, дефекты, возникшие при изготовлении и ремонте.

Важно соблюдать очередность технологических операций при наступлении внештатной ситуации. Например, в случае снижения уровня воды в котле, обслуживающий персонал обязан выполнить следующие операции:

1. отключить подачу топлива;
2. отключить аэрацию топки путём выключения дымососа и вентилятора;
3. прекратить продувку;
4. остановить питание котла, перекрыв вентиль питательной линии;
5. перекрыть парозапорный вентиль котла (ГПЗ).

Подпитка котла категорически запрещается. Наполнение котла водой с целью определения возможных повреждений при снижении уровня воды и охлаждения барабана котла до температуры окружающего воздуха, можно производить только по распоряжению начальника котельной.

Выделяются две классификации по способу управления режимами работ паровых котлов среднего давления.

Первая способ основан на ручном управлении. Ручное регулирование запорной арматуры, визуальный осмотр уровня в барабане воды. Главным недостатком данного способа является риск человеческих ошибок, в том числе от неквалифицированного персонала.

Автоматизированная система управления должна включить в себя автоматизации действий, связанных с измерением, передачей, мониторинга и обработкой информации необходимой для эффективного и безопасного управления технологическим оборудованием и процессом пароводяного котла. Увеличение производительности перегретого пара на производство автономной электроэнергии (турбогенератора). Представление оператору достоверной информации о ходе технологических процессов и состоянии оборудования парового котла, необходимой для принятия своевременных решений по управлению. Предусмотрение развития опасных ситуаций с паровым котлом в целом, способных нанести вред персоналу, окружающей среде и оборудованию.

Управление оборудованием котла осуществляется автоматически по программе контроллера или дистанционно с панели оператора, пульта оператора.

Для учета и контроля расхода газа предусмотрена установка вихревого расходомера. Для приведения расхода газа к нормальным условиям предусматривается преобразователь давления и преобразователь температуры.

Учета и контроль расхода вырабатываемого котлом пара предусматривает диафрагма и установка дифференциального преобразователя давления и избыточного преобразователя.

Контроль температуры продуктов сгорания газа необходимо предусматривать с двух сторон котла. Для контроля состава продуктов сгорания газа

предусмотрена стационарная система контроля и управления процессом горения.

Контроль содержания СО в котельном зале применяется система измерения СО в диапазоне от 0 до 100 ppm (20 мг/м³ составляет 17 ppm, 100 мг/м³ составляет 85 ppm) на базе датчиков.

Система автоматического регулирования работы котла должна предусматривать:

1. автоматическое регулирование разрежения в топке котла, с воздействием на направляющие аппараты (загрузочные шиберы) дымососов;
2. автоматическое регулирование соотношения «газ - воздух» по давлениям газа перед горелками и давлением воздуха в общем коробе с воздействием на направляющие аппараты (загрузочные шиберы) дутьевых вентиляторов;
3. автоматическое регулирование давления газа после общей регулирующей заслонки с воздействием на общую регулируемую заслонку газа;
4. автоматическое регулирование давления газа на горелки с воздействием на регулирующие заслонки газа горелок;
5. автоматическое регулирование давления пара котла с изменением задания на регулирование давления газа на горелки в каскадном режиме;
6. автоматическое регулирование уровня воды в барабане котла, регулирующий орган, клапаны питательной воды (1 в работе, 1 в резерве);
7. автоматическое регулирование температуры перегретого пара после котла и автоматическое
8. выравнивание температуры справа и слева перегретого после парохладителя, регулирующие органы - клапаны на паропроводе в парохладитель;
9. автоматическое регулирование солесодержания котловой воды, регулирующий орган - клапан на непрерывной продувке котла;
10. автоматический розжиг горелочных устройств и вывод котла на рабочий режим, в т.ч. приведение исполнительных механизмов в исходное состояние, пуск тягодутьевого оборудования, продувка газопровода, вентиляция топки, проверка герметичности газовых затворов, розжиг запальных устройств.

Система технологических защит котла (автоматика безопасности) выполнена в контроллере шкафа автоматики, обеспечивающего сбор данных о технологическом процессе и выдачу управляющих воздействий.

Система технологических защит котла должна реализовать защиты, действующие на останов котла.

Алгоритм управления предусматривает подачу команд «Открыть», «Закрыть», «Стоп», формирует информацию открытого и закрытого положения задвижки, хода задвижки, нарушении работы задвижки, если за заданное время задвижка не выполнила команду открытия или закрытия.

Технологическая сигнализация обеспечивает светозвуковую сигнализацию при отказах работы контроллеров, датчиков при нарушениях электропита-

ния и в течении технологического процесса. Сигнализация выводится по месту на светосигнальную колонну и на пульта оператора.

Таблица 1 – Алгоритм автоматизированного управления паровым котлом среднего давления

Состояние	Этап	Назначение этапа	Рекомендуемое время этапа, сек.
Останов котла	0. Ремонт	Отключение сигнализации	-
	1. Проверка готовности	Проверка готовности автоматики.	Расчетное
Проверка перед пуском	2. Проверка газовых блоков	Готовность оборудования к пуску котла	Расчетное
	3. Открытие ИМ		Расчетное
Пуск дымососа	4. Открытие ИМ	Опробование перед пуском котла	Расчетное
	5. Закрытие ИМ	Опробование перед пуском котла	1-5
	6. Команда ПУСК	Подача сигнала	1-30
	7. Выход на режим	Закрытие шиберов дымососа	Расчетное
	8. Открытие шиберов	Подача команды пуск на схему управления дымососом	1-30
Пуск дутьевого вентилятора	9. Включение регулятора	Разгон оборотов дымососа	Расчетное
	10. Закрытие ИМ	Номинальные обороты	1-5
	11. Команда ПУСК	Открытие отключающего шибера нагнетания	1-30
	12. Выход на режим	Включение автоматического режима регулятора	1-30
Вентиляция	13. Включение регулятора	Разряжение в топке котла	30-90
	14. Открытие	Шибера вентилятора	Расчетное
	15. Заполнение газопровода	Подача команды	420
	16. Продувка	Управление дутьевого вентилятора	180

Контроль герметичности	17. Отбор проб	Регулятор давление и анализ проб	Контролируются на герметичность
	18. Повторный розжиг	Регулятор давления воздуха	5-20
	19. Контроль	Открытие воздушных заслонок горелок	20- 60
Вентиляция топки	20. Набор давления	Вентиляция топки	0-1800
	21. Контроль герметичности	Открытие отключающей газовой задвижки и общей регулирующей	60-120
Первичный розжиг	22. Выбор горелки для пуска	Заслонки газовой	2-10
	23. Закрытие регуляторов	Продувка газопровода газом	1-10
	24. Розжиг запальника	Время для проведения отбора проб газа оперативным персоналом	1-5
	25. Стабилизация запальника	Вентиляция топки	1-30
	26. Открытие предохранительно-запорного клапана (ПЗК)	Предварительная проверка герметичности запорной арматуры	Расчетное
Работа котла	27. Розжиг горелки	Пуск газа на горелку	-
	28. Стабилизация	Розжиг горелок	-
	29. Выход на режим	Контроль параметров газа	Расчетное
	30. Прогрев	Первичный розжиг, выбор горелок	360-1800
	31. Работа	Закрытие воздушных заслонок	10- 60
	32. Понижение нагрузки горелок	Установка горелок первичного розжига	Пределы изменения
Останов/Аварийный останов	33. Отключение газа	Отключение газовых горелок, закрытие газовой задвижки. При аварийном останове закрытие главной паровой задвижки и открытие пусковой провой задвижки. При останове по	

		уровню закрытие задвижек питательной воды.	
	34. Вентиляция	Вентиляция топки после останова	360
	35. Выбор «Розжиг» / «Останов»	Выбор оперативным персоналом пуск котла или останов	10-60
	36. Закрытие ИМ	Закрытие ИМ и отключение тягодутьевых механизмов после вентиляции	Расчетная

Эффективное управление паровыми котлами среднего давления требует комплексного подхода, включающего моделирование процессов, разработку алгоритмов регулирования и их реализацию. Современные технологии позволяют создавать надежные и гибкие системы управления, обеспечивающие безопасную и экономичную работу котлов. Дальнейшее развитие этих технологий будет способствовать повышению производительности и снижению затрат на эксплуатацию энергетического оборудования.

Список литературы

1. Б. А. Соколов, Устройство и эксплуатация паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности, 2008;
2. Р.И. Эстеркин, Паровые котлы, 1989;
3. Ю. М. Липов, Котельные установки и парогенераторы, 2003.
4. Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Производственные и отопительные котельные, 1984;
5. Джерри Гилм, Разработка систем управления котлом, 2020;
6. Л.Н. Сидельковский, Котельные установки промышленных предприятий, 2009.
7. Г.А. Липатников, М.С. Гузеев, Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики, 2007;
8. В.В. Пугач, Разработка системы автоматического управления котлом, 2019.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ

**Нечетов И.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Управление паровыми котлами представляет собой ключевой аспект в современных технологических процессах, особенно в области энергетики и производства тепловой и электрической энергии. В условиях постоянного роста энергопотребления и строгих стандартах экологической безопасности, эффективное управление паровыми котлами становится критически важным элементом обеспечения стабильной и эффективной работы тепловых энергетических систем.

Сложный технологический процесс управления режимами работ паровых котлов среднего давления, контроль состояния пароводяного тракта, системы топливоподачи и работы тягодутьевых машин ложится на оперативный персонал тепловых электростанций.

Традиционно, управление паровыми котлами осуществляется вручную операторами, которые следят за процессом производства пара, регулируют давление, температуру и другие параметры. В ранней стадии становления энергетики автоматизация применялась для выполнения определенных и повторяющихся действий. В настоящее время преобладают технические средства автоматизации управления процессами работы энергосистемы.

В соответствии с вышеизложенным целью исследования является разработка автоматизированной системы управления заданными режимами работ паровых котлов среднего давления.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ научно-технической литературы в области систем управления паровых котлов среднего давления.
2. Разработка алгоритма управления режимами работ парового котла среднего давления.
3. Разработка имитационной модели автоматизированной системы управления режимами работ паровых котлоагрегатов.
4. Проведение экспериментальных исследований на базе действующей Теплоэлектростанции.
5. Сравнение результатов имитационного моделирования и экспериментальных исследований.

Объектом исследования является система управления паровыми котлами.

Предметом исследования является автоматизированная система управления режимами работ паровых котлов среднего давления.

Снижение количества аварийных ситуаций при эксплуатации паровых котлов, одна из главных задач, над решением которой трудятся специалисты многих предприятий. Весь опыт диагностического и эксплуатационного контроля за паровыми котлами, показывает опасность несвоевременной и некачественной диагностики технического состояния котлоагрегатов. Когда же недостаткам в контроле сопутствуют и нарушения правил эксплуатации паровых котлов, то во многих случаях, это приводит к авариям и взрывам.

Если перечислить главные причины аварий паровых котлов, то перед нами предстанет следующий список: снижение уровня воды, превышение нормативного давления, нарушение водного режима, дефекты, возникшие при изготовлении и ремонте.

Важно соблюдать очередность технологических операций при наступлении внештатной ситуации. Например, в случае снижения уровня воды в котле, обслуживающий персонал обязан выполнить следующие операции:

- 1) отключить подачу топлива;
- 2) отключить азрацию топки путём выключения дымососа и вентилятора;
- 3) прекратить продувку;
- 4) остановить питание котла, перекрыв вентиль питательной линии;
- 5) перекрыть парозапорный вентиль котла (ГПЗ).

Подпитка котла категорически запрещается. Наполнение котла водой с целью определения возможных повреждений при снижении уровня воды и охлаждения барабана котла до температуры окружающего воздуха, можно производить только по распоряжению начальника котельной.

Анализ научно-технической литературы позволил выделить две классификации по способу управления режимами работ паровых котлов среднего давления.

Первая способ основан на ручном управлении. Ручное регулирование запорной арматуры, визуальный осмотр уровня в барабане воды. Главным недостатком данного способа является риск человеческих ошибок, в том числе от неквалифицированного персонала.

Автоматизированная система управления включает в себя автоматизации действий, связанных с измерением, передачей, мониторинга и обработкой информации необходимой для эффективного и 20 безопасного управления технологическим оборудованием и процессом пароводяного котла. Увеличение производительности перегретого пара на производство автономной электроэнергии (турбогенератора). Представление оператору достоверной информации о ходе технологических процессов и состоянии оборудования парового котла, необходимой для принятия своевременных решений по управлению. Предусмотрение развития опасных ситуаций с паровым котлом в целом, способных нанести вред персоналу, окружающей среде и оборудованию.

Полностью автоматическая система управления имеет ряд недостатков, такие как высокие затраты на внедрение и обслуживание автоматических систем, зависимость от надежности технических систем.

Анализ способов управления режимами работ парового котла непосредственно зависит от технических требований, предъявляемых к оборудованию.

Таблица 1 – Результаты анализа способов регулирования режимами работ

Способы управления	Достоинства	Недостатки	Литература
Ручное (механическое)	<ul style="list-style-type: none"> • Простота управления для опытных операторов. • Возможность быстро адаптироваться к изменениям в процессе. 	<ul style="list-style-type: none"> • Зависимость от квалификации операторов. • Риск человеческих ошибок. 	<ul style="list-style-type: none"> • Б. А. Соколов, Устройство и эксплуатация паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности, 2008; • Р.И. Эстеркин, Паровые котлы, 1989; • Ю. М. Липов, Котельные установки и парогенераторы, 2003.
Автоматизированные	<ul style="list-style-type: none"> • Улучшенная точность в управлении процессом. • Возможность мониторинга и сбора данных для анализа. 	<ul style="list-style-type: none"> • Необходимость в обучении персонала для работы с автоматизированными системами. • Ограниченная гибкость в адаптации к изменениям. 	<ul style="list-style-type: none"> • Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Производственные и отопительные котельные, 1984; • Джерри Гилм, Разработка систем управления котлом, 2020; • Л.Н. Сидельковский, Котельные установки промышленных предприятий, 2009.
Автоматические	<ul style="list-style-type: none"> • Полностью автоматизированный процесс без участия операторов, исключение человеческого фактора. • Высокая эффективность и минимизация человеческих ошибок. 	<ul style="list-style-type: none"> • Зависимость от надежности технических систем. • Высокие затраты на внедрение и обслуживание автоматических систем. 	<ul style="list-style-type: none"> • Г.А. Липатников, М.С. Гузеев, Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики, 2007; • В.В. Пугач, Разработка системы автоматического управления котлом, 2019.

Анализ научно-технической литературы позволил заключить, что среди существующих способов управления режимами работ паровых котлов среднего

давления, наиболее актуальный – автоматизированный. Достоинствами автоматизированного способа управления является улучшенная точность в управлении процессом, возможность мониторинга и сбора данных для анализа с контролем человеческого ресурса. Разработанной автоматизированной системы, планируется сократить число аварий, увеличить производительность, повысить точность и надежность измерений параметров работы парового котла.

Список литературы

1. Б. А. Соколов, Устройство и эксплуатация паровых и водогрейных котлов малой и средней мощности, 2008;
2. Р.И. Эстеркин, Паровые котлы, 1989;
3. Ю. М. Липов, Котельные установки и парогенераторы, 2003.
4. Е.Ф. Бузников, К.Ф. Роддатис, Производственные и отопительные котельные, 1984;
5. Джерри Гилм, Разработка систем управления котлом, 2020;
6. Л.Н. Сидельковский, Котельные установки промышленных предприятий, 2009.
7. Г.А. Липатников, М.С. Гузеев, Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики, 2007;
8. В.В. Пугач, Разработка системы автоматического управления котлом, 2019.

ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ ПО ПРОТОКОЛУ MODBUS МЕЖДУ ОБОРУДОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ФИРМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Пичугин А.В., Сорокин В.А.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

На мировом рынке производителей программируемых логических контроллеров такая компания, как Delta Electronics зарекомендовала себя как один из самых надежных производителей и поставщиков. Отсюда повсеместное применение продукции данного производителя. Так как модернизация подразумевает частичное обновление систем, приходится внедрять новые системы управления с уже существующими. Из-за чего исполнительные механизмы могут находиться на значительном удалении от логических модулей. Так как у производителя Delta Electronics модули расширения ввода/вывода подключаются к контроллеру по внутренней шине связи, что не позволяет разнести исполнительные устройства на значительное удаление, и имеет ограничение на 15 модулей используются модули иных производителей, поддерживающих протокол связи Modbus RTU. В данной статье рассмотрен вариант связи с дискретными модулями расширения ввода/вывода и контроллера DVP EX2 производства Delta Electronics.

Настройка контроллера производится в программном обеспечении ISPSOft компании Delta Electronics. Для начала работы с периферийными устройства в первую очередь необходимо задать параметры связи устройств. Для настройки последовательного протокола связи Modbus RTU используется библиотечный блок DFB_COM2_Protocol [1], который позволяет задать все необходимые параметры связи для COM порта 2. Внешний вид блока представлен на рисунке 1.

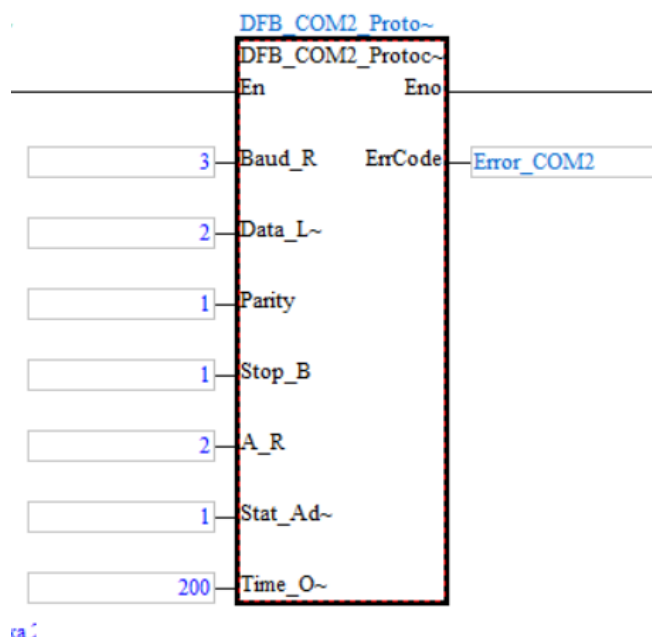


Рисунок 1 – Функциональный блок настройки COM порта 2

Данный библиотечный блок позволяет упростить работу с настройкой протоколов. Каждое введенное значение перемещается в системные регистры, отвечающие за тот или иной параметр. Для удобства представления значений блока, данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Параметры блока DFB_COM2

Наименование входа	Описание	Значения
Baud_R	Скорость передачи данных	1. 9600 2. 19200 3. 38400 4. 57600 5. 115200
Data_L	Длина данных	1. 7 бит данных 2. 8 бит данных (RTU поддерживает только 8 бит данных)
Parity	Биты четности	1. None 2. Нечетный 3. Четный
Stop_B	Стоп биты	1. 1 бит 2. 2 бита
A_R	Выбор режима	1. ASCII 2. RTU
Start_Ad	Адрес устройства	1~255
Time_O	Время ожидания	1~100000ms
ErrCode	Код ошибки	Выдает код ошибки

Для работы блока необходимо подать разрешающий сигнал на вход En, для этого используется системная переменная M1002, которая замыкается при включении контроллера. Итоговый вид командной строки представлен на рисунке 2.

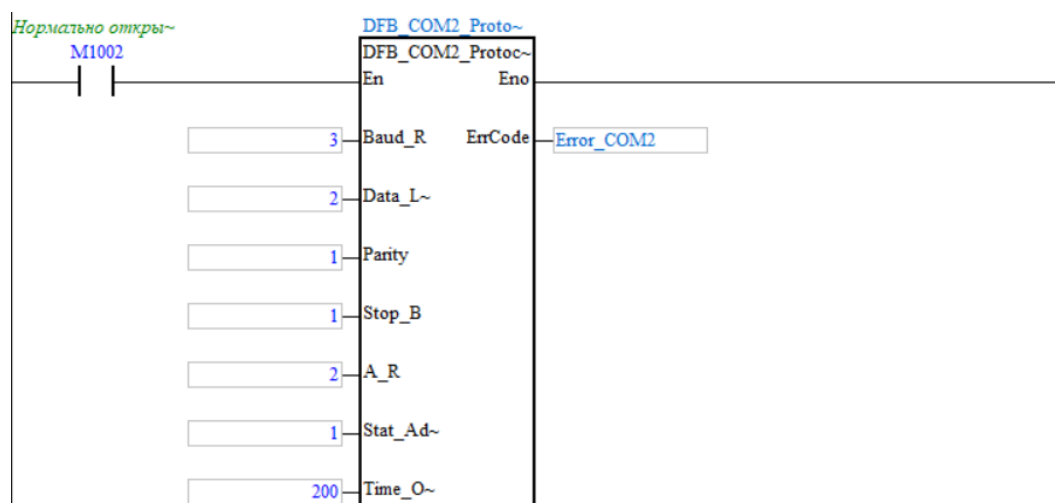


Рисунок 2 – Командная строка 1

Также стоит учесть, что параметров сети модулей должны быть аналогичны контроллеру. В данном случае в качестве внешних модулей дискретного ввода/вывода используются модули MB110 и MY110 производства компании ОВЕН, настройка модулей производится в специальной среде программирования «Конфигуратор M110». Назначим для MB110 адрес 40, а для MY110 адрес 50 соответственно. Для работы с устройствами по протоколу Modbus RTU используются специализированные блоки MODRW. Внешний вид которого представлен на рисунке 3.

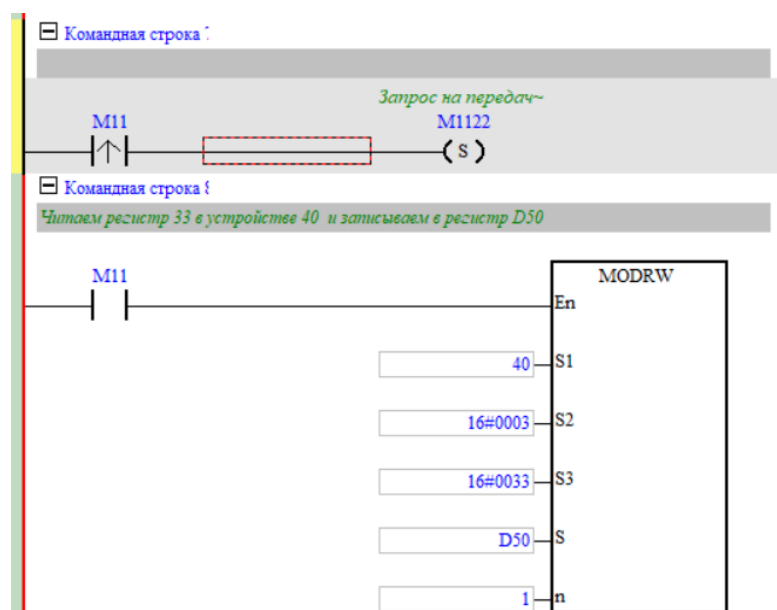


Рисунок 3 – Командная строка 2,3

Перед каждой отправкой или приемом данных с внешних устройств необходимо активировать системном регистре M1122 «Запроса на передачу данных». M11 является внутренней переменной, работающей с частотой 50 мс.

Для начала настраиваем регистр S и предварительно сохраняет длину данных для записи в регистр или настраивает регистр для хранения считанных данных. Затем выполняется MODRW, ПЛК считывает или записывает нужные данные в S3 (адрес данных) и S1 (адрес подключенного устройства) через порт связи COM2 (RS-485) в соответствии с установленным кодом функции чтения/записи S2. Чтение осуществляется функциями 0x03 (Read Holding Registers) или 0x04 (Read Input Registers), запись– 0x06 (Preset Single Register) и 0x10 (Write Multiple Registers). На рисунке 3 представлен пример заполненного блока для модуля MB110 с битовой маской (0x33).

После чтения битовой маски полученные значения записываются в внутренний регистр D50.

Для работы с битами используется функциональный блок BON, представленного на рисунке 4. В графе S указывается регистр, из которого необходимо узнать значение бита, в графе n проверяем конкретный бит регистра, если он равен 1, то значение D = True. Полученное значение бита записывается в внутреннюю переменную Y0.

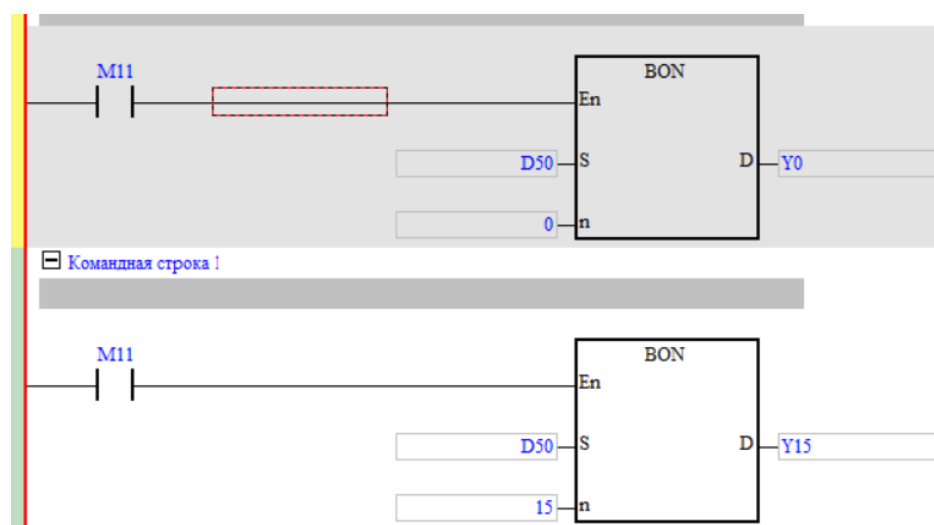


Рисунок 4 – Командная строка 4,5

Для контроля состояния связи используются системные переменные, рисунок 5:

- 1) M1128 - Флаг индикации процесса приема/передачи данных по COM2(RS-485),
- 2) M1129 - Флаг истечения времени ожидания приема данных по COM2(RS-485),
- 3) M1127 - Флаг окончания отправки/приема/преобразования данных по COM2(RS-485). (не поддерживается командой RS).

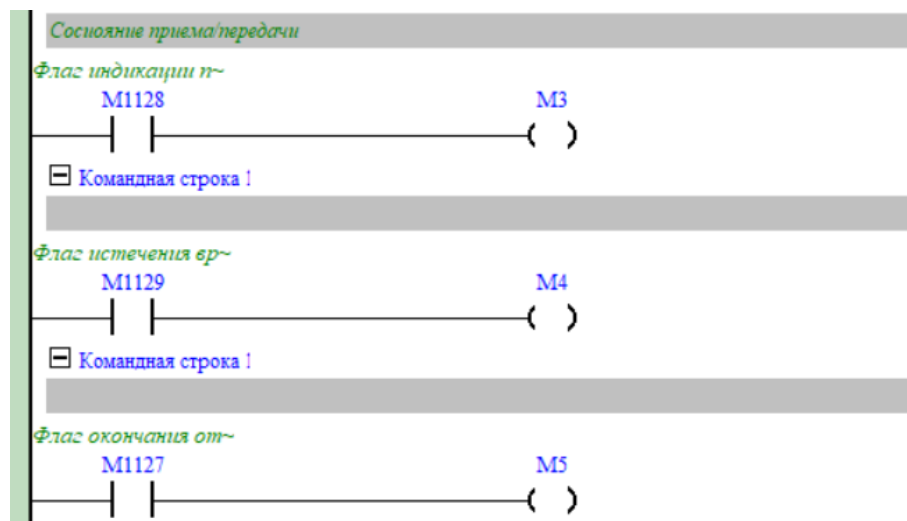


Рисунок 5 – Командная строка 6 - 8

Несмотря на то, что в данной статье рассмотрен конкретный вариант работы с модуля расширения компании ОВЕН, методика работы с модулями других производителей будет идентично.

Список литературы

1. Руководство по программированию логических контроллеров SS2/SA2/SX2/ES2/EX2/SE: [Электронный ресурс]. М., 1990. URL: <https://deltronics.ru/catalog/programmiruemyie-kontrolleryi/dvp-es2-ex2/>.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

**Полуэктов Е.К., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Часто на решения энергетиков влияют различные переменные факторы, такие как экономическая неопределенность, внедрение новых технологий и необходимость соответствовать новейшим стандартам качества, колебания, связанные со сменой времени года или со стихийными бедствиями, строительство новых экономических объектов и запуск новых производств, требующих стабильного подключения к сети. Эти факторы, разные по причине своего появления и возникающие в непредсказуемый момент времени, приходится учитывать одновременно, то есть решать ответственные задачи в условиях неопределенности, а также при ограниченных материальных и временных ресурсах. Особую значимость в вопросах оптимизации процесса принятия решения, его ускорения, уменьшения числа ошибок, связанных с человеческим фактором, для учета множества факторов и снижения риска, приобретают автоматизированные системы принятия решения.

В ходе данного исследования был проведен анализ научно-технической литературы, который позволил заключить, что существуют различные методы принятия решения, основанные на экспертных знаниях и современных технологиях, предусматривающие различные подходы и требующие различных вычислительных мощностей.

Нами условно выделено 4 группы методов, наиболее часто используемых при разработке автоматизированных систем принятия решения.

К первой группе отнесены методы экспертного оценивания [3].

Методы экспертного оценивания — это способы получения информации или принятия решений на основе мнений специалистов в определенной области. Методы экспертного оценивания очень полезны в тех случаях, когда необходимо учитывать глубокие знания и опыт специалистов, однако важно минимизировать возможные недостатки, используя различные способы контроля за качеством и объективностью оценок. К методам экспертного оценивания отнесены: метод непосредственного оценивания, метод парных сравнений, метод обобщенных ран жировок и т.п.

Основные достоинства данных методов:

- Использование специализированных знаний;
- Решение проблемы дефицита данных;
- Широкая область применения, в том числе к новым и нестандартным ситуациям.
- Гибкость

- Учет субъективных факторов

К недостаткам следует отнести:

- Зависимость от квалификации экспертов;

- Субъективность;

- Риск ошибки;

- Трудоемкость и высокая стоимость.

Ко второй группе отнесены методы динамического программирования [4].

Динамическое программирование (Dynamic Programming) – это метод, который разбивает проблемы на подзадачи и сохраняет результат для будущих целей, поэтому нет необходимости снова вычислять результат. Подзадачи оптимизируются для оптимизации общего решения. Следует отметить, что сначала решаются частные задачи, а затем пользователь переходит к более крупным, учитывающим одновременно несколько влияющих на результат факторов. Далее происходит объединение решений подзадач для нахождения решения исходной проблемы.

Так же можно отметить, что при решении задач динамического программирования, включающих нелинейное программирование, можно использовать комбинацию этих методов. Например, можно использовать метод динамического программирования для построения оптимальной последовательности решений подзадач, а затем использовать метод нелинейного программирования для оптимизации каждой из этих подзадач.

К достоинствам методов динамического программирования можно отнести:

- Представление данных в виде массивов;

- Многократное решение задачи;

- Возможность повторного использования промежуточных результатов;

- Эффективное использование памяти устройств.

К недостаткам метода можно отнести следующие факторы:

- Сложность реализации в задачах со множеством переменных;

- Требуется особое внимание при работе с подзадачами, при составлении массивов и графов.

К третьей группе относятся статистические методы. При использовании данных методов используется статистика похожих проблем (задач) и опыт их решения [5].

Статистические методы являются одними из самых надежных методов принятия решения, т.к. используется большой объем входных данных, который обрабатывается, анализируется наиболее вероятный результат принятия того или иного решения.

Достоинства статистических методов:

- Объективность;

- Простота анализа больших объемов данных;

- Оценка надежности выводов.

К недостаткам данной группы методов можно отнести следующее:

- Зависимость от качества входных данных;
- Сложность обобщения большого числа ситуаций для человека;
- Требуется большой объем памяти;
- Ограниченность контекста.

К четвертой группе отнесены методы нечеткой логики [6], разработанные на основе нечетких отношений и алгоритмов нечеткого вывода, таких как: алгоритм Мамдани, алгоритм Цукамото, алгоритм Ларсена, алгоритм Сугено.

Эти методы позволяют работать с неопределенностью и нечеткостью данных, которая часто встречается в реальной жизни. В отличие от традиционной логики, где высказывания могут быть только истинными или ложными (двухзначная логика), в нечеткой логике возможен широкий спектр промежуточных значений.

Преимущества данных методов:

- Гибкость и адаптивность;
- Интуитивность;
- Преодоление неопределенности;
- Поддержка гибридных моделей;
- Устойчивость к ошибкам и погрешностям.

К недостаткам данных методов можно отнести следующее:

- Требования к квалификации при настройке правил;
- Неопределенность в интерпретации;
- Зависимость толкования от экспертных знаний;
- Ограниченная точность.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов принятия решения, применимых в условиях неопределенности, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов принятия решения

№	Подход к повышению энергоэффективности систем НО	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Методы экспертного оценивания	Теодор Л. Сэмпсон А.В. Богданов, Р.Т. Холлингсворт; Л.А. Влацкая	Использование специализированных знаний Решение проблемы дефицита данных Гибкость Учет субъективных факторов Применимость к новым и нестан-	Субъективность Риск ошибки Зависимость от квалификации экспертов Влияние группового давления Трудоёмкость и высокая стоимость Проблема согласо-

			дартным ситуациям	вания мнений Ограниченная предсказуемость
2	Методы динамического программирования	Ричард Беллман	Простота реализации, возможность использования рекурсии или не она не требуется и используется меньше памяти Хорошо подходит для решения задач, где подзадачи могут быть определены в виде массивов Эффективное использование памяти	Сложность реализации в задачах со множеством переменных Требуется особое внимание при работе с массивами и при составлении графов
3	Статистические методы	Карл Пирсон Рональд Фишер Андрей Колмогоров	Объективность Простота анализа больших объемов данных Предсказания и прогноз на основе анализа исторических данных Оценка надежности выводов	Зависимость от качества данных Необходимость в предположениях Сложность интерпретации Риск переобучения Ограниченность контекста
4	Нечеткая логика (Алгоритм Мамдани)	Эбрахим Мамдани Лотфи Заде Н.Г. Семенова	Гибкость и адаптивность Интуитивность Преодоление неопределенности Поддержка гибридных моделей Устойчивость к ошибкам и погрешностям	Требования к квалификации при настройке правил Неопределенность в интерпретации Зависимость от экспертных знаний Ограниченная точность

Анализ научно-технической литературы в области "Методы принятия решения" показал, что наилучшим вариантом в условиях неопределенности будет выбор методов нечеткой логики, позволяющих учитывать множество влияющих на ситуацию факторов, устойчивых к ошибкам и позволяющих преодолеть проблему неопределенности, актуальную для современной энергетики. Нечеткая логика также обеспечивает гибкость и возможность адаптации к из-

меняющимся условиям, что делает ее привлекательным инструментом для создания автоматизированной системы принятия решений, работающей в условиях неопределенности.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»
2. Постановление Правительства РФ от 29 августа 2020 г. № 1298 «О вопросах стимулирования использования возобновляемых источников энергии»
3. Сидоров, И. А. Методы экспертного оценивания и их применение в управлении рисками. – М.: Энергия, 2019. — 30 с.
4. Акмырадова М.Б., Назарова С.Н., Динамическое программирование в решении практических задач: Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ» - Тольятти: Изд-во №5 (62) Т.3, 2023, - 5 с.
5. Arora Sanjeev Barak, Boaz: Computational Complexity: A Modern Approach: Изд-во Cambridge University Press, 2007 – 15 с.
6. FUZZIFICATION. DECISION MAKING IN TERMS OF UNCERTAINTY. — М.: Global economics, 2017, — 94 с.
7. Nijat Mehdiyev, Machine Learning for Decision Support in Uncertainty" Изд-во Springer 2019, - 40 с.
8. Kamvysi, K., Gotzamani, K., Andronikidis, (2014). A. Capturing and prioritizing students' requirements for course design by embedding Fuzzy-AHP and linear programming in QFD. European Journal of Operational Research, 237, pp. 1083–1094. Poli, R. An analysis of publications on particle swarm optimisation applications / R. Poli // Technical Report CSM-469 /Department of Computer Science, University of Essex, UK. – 2007. – 57 с .

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Полянских А.А., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

В настоящее время электроэнергетические комплексы нуждаются в повышении качества работ и ускорении технологического процесса. В электроэнергетике существует большое количество законодательных актов, регламентирующих работу электроэнергетических комплексов, например, Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 14.05.2019 № 465 «Об утверждении Правил проведения технического освидетельствования оборудования, зданий и сооружений объектов электроэнергетики», Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. N 854 «Об утверждении Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике», Приказ Министерства экономического развития РФ от 4 июня 2010 г. № 229 «О требованиях энергетической эффективности товаров, используемых для создания элементов конструкций зданий, строений, сооружений, в том числе инженерных систем ресурсоснабжения, влияющих на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений», Постановление Правительства РФ от 26 июля 2007 г. N 484 «О выводе объектов электроэнергетики в ремонт и из эксплуатации», Постановление Правительства РФ от 28 октября 2009 г. N 846 «Об утверждении Правил расследования причин аварий в электроэнергетике». Основными рассматриваемыми вопросами законодательных актов являются эксплуатация и ремонт, оптимальные способы управления, энергосбережение, учет электроэнергии, повышение энергетической эффективности, экологичность, контроль качества, надежность и другие.

Вопрос разработки автоматизированных систем диагностирования электротехнического оборудования на сегодняшний день не решен. Данная тема актуальна, так как автоматизированная система диагностирования электротехнического оборудования позволяет контролировать характеристики оборудования, вовремя выявлять дефекты, не приводя к аварийным ситуациям, требующим осуществления ремонтных работ или списанию электротехнического оборудования. Также автоматизированная система диагностирования электротехнического оборудования дает возможность прогнозировать работу оборудования, составлять планы на техническое обслуживание и повышать его надежность. Разработка автоматизированной системы диагностирования электротехнического оборудования позволит повысить качество работ и ускорить технологический процесс.

Таким образом, целью исследования является разработка автоматизированной системы диагностирования электротехнического оборудования. На основании цели сформулированы задачи исследования:

1. Анализ научно-технической литературы в области методов и способов диагностирования электротехнического оборудования.
2. Обоснование критериев оценки работоспособности электротехнического оборудования.
3. Разработка математической модели диагностирования электротехнического оборудования на основе нечеткой логики.
4. Программная реализация разработанной математической модели диагностирования с использованием алгоритма Мамдани.
5. Проведение эксперимента по диагностике электротехнического оборудования с привлечением экспертов.
6. Сравнение результатов теоретического и экспериментального исследований.

Объект исследования: методы и способы диагностирования электротехнического оборудования.

Предмет исследования: автоматизированная система диагностирования электротехнического оборудования.

Анализ научно-технической литературы в области методов и способов диагностирования электротехнического оборудования

Электротехническое оборудование в процессе работы даже при надлежащем использовании постоянно подвергается износу, со временем теряя свой основной ресурс. В большинстве случаев, возникновение дефектов не удается зафиксировать при обычных условиях работы, вследствие чего оборудование продолжают использовать, что приводит к еще большему износу и снижению качества работы. Использование электротехнического оборудования в неисправном техническом состоянии увеличивает финансовые и технологические потери, а также увеличивается риск поломки и выхода из строя оборудования. Диагностирование электротехнического оборудования дает возможность предотвратить возникновение производственных потерь, увеличить качество работы и сроки эксплуатации оборудования путем выявления дефектов на начальном этапе их возникновения.

Анализ научно-технической литературы позволил выделить две классификации по диагностированию электротехнического оборудования. Первая классификация основана на способах диагностирования, а вторая на методах, используемых при диагностировании электротехнического оборудования.

Первая классификация включает в себя: тестовое, функциональное, комбинированное диагностирование и интеллектуальную автоматизированную систему диагностирования. Рассмотрим каждый из перечисленных способов диагностирования.

Тестовое диагностирование состоит в поиске определенных воздействий, при которых ответная реакция объекта, проверяемая в контрольных точках, заключает о техническом состоянии оборудования. Основные преимущества тестового диагностирования:

1. Простота разработки алгоритма управления.
2. Неограниченная глубина поиска.

Недостатки тестового диагностирования:

1. Низкая информативность.
2. Требование вывода оборудования из эксплуатации.
3. Диагностирование способствует не только предупреждению развития различных дефектов, но и их появлению.
4. Необходимость специальных устройств для формирования тестовых воздействий на объект.

Тестовое диагностирование делится на проверочные тесты – проверка работоспособности, а также тесты по поиску дефектов, которые приводят к нарушению исправности объекта. Тестовое диагностирование состоит из двух частей – генерирующей тестовые воздействия и анализирующей ответные реакции оборудования на подаваемые воздействия. Генератор и анализатор конструктивно разделяют. Генератор выполняет функции хранения, создания и подачи тестов на объект, анализатор сохраняет ответные реакции объекта, сравнивая их с удовлетворительными, после чего выводит результаты диагностирования. Анализатор, в свою очередь, состоит из копии объекта в исправном состоянии и схемы сравнения. [1]

Функциональное диагностирование позволяет выявлять дефекты путем наблюдения за функционированием объекта при подачи на него рабочих воздействий. Функциональное диагностирование проводится в рабочем состоянии оборудования без подачи на него дополнительных воздействий. Основные достоинства функционального диагностирования:

1. Большая точность, чем при тестовом методе.
2. Возможность проведения исследования во время эксплуатации, следовательно, экономически предпочтительно.

Недостатки функционального диагностирования:

1. Возможность проведения исследования дистанционно.
2. Ограниченная глубина поиска.

Для реализации функционального диагностирования применяются математические модели, устанавливается связь между внутренними и внешними воздействиями. Конструктивно средства функциональной диагностики обычно встроены в объект. Применение функциональной диагностики рационально при проведении ремонта объектов.

Комбинированное диагностирование состоит в совмещении тестового и функционального диагностирования, что целесообразно применять для необходимости получения наиболее подробного анализа. Преимущества комбинированного диагностирования:

1. Углубленный анализ.

2. Возможность сравнения результатов нескольких методов диагностирования.

Недостатки комбинированного диагностирования:

1. Сложность разработки алгоритмов управления.
2. Высокая стоимость.
3. Необходимость в правильном выборе подхода к каждому оборудованию.

Интеллектуальная автоматизированная система диагностирования электротехнического оборудования основана на применении методов искусственного интеллекта, логических методов технической диагностики и технологии экспертных систем. [4, 5] Данная система позволяет решать задачи различного характера всех типов электротехнического оборудования. Достоинства интеллектуальной автоматизированной системы диагностирования:

1. Большая точность в сравнении с другими методами диагностирования.
2. Возможность сокращения времени поиска неисправности и организации ремонта электротехнического оборудования.
3. Возможность проведения исследования во время эксплуатации.

Недостатки интеллектуальной автоматизированной системы диагностирования:

1. Мало распространена.
2. Необходимость в наличии специальных профессиональных знаний и опыте.

Во второй классификации мы выделили следующие методы, используемые при диагностировании: искусственная нейронная сеть, методы экспертного оценивания, теория нечеткой логики.

Искусственная нейронная сеть – система, предназначенная анализа информации, представленной в виде математической модели. Важной отличительной особенностью искусственных нейронных сетей является автоматическое построение модели на основе полученной информации без заранее разработанной модели. Использование нейронных сетей позволяет не только прогнозировать появление дефектов, а также осуществлять постоянный контроль за функционированием оборудования. [3, 12] Преимущества искусственной нейронной сети:

1. Адаптация к конкретному виду оборудования.
2. Самообучение. Не требуется подготовка новых алгоритмов и правил обработки информации.
3. Составление и редактирование алгоритмов в условиях изменчивости.
4. Обработка больших массивов данных.
5. Чаще всего используется в задачах прогнозирования.

Недостатки искусственной нейронной сети:

1. Отсутствие формальных методов выбора типа искусственной нейронной сети, адекватного решаемому классу задач.
2. Ограниченная область применения.

3. Высокая комбинаторная сложность проблем, связанных с автоматическим формированием топологии ИНС.

Методы экспертного оценивания состоят в сборе мнений квалифицированных экспертов с целью проведения анализа и принятия на его основе решения. Метод экспертного оценивания позволяет решать вопросы, решение которых невозможно получить с помощью математических способов. [8, 14] Преимущества метода экспертного оценивания:

1. Надёжность оценок и решений достаточно высока.
2. Синтез опыта и интуиции для получения нового знания.
3. Возможно использование для получения как количественных, так и качественных прогнозов.

Недостатки методов экспертного оценивания.

1. Трудоемкость процедуры сбора информации.
2. Потребность в высоко квалифицированных специалистах для проведения опроса.
3. Субъективность метода.
4. Проблема несогласованности.

Теория нечеткой логики – смоделированная логическая система множеств, применяемая для поиска частичной истины, основанная на сочетании классической логики и теории множеств. Теория нечеткой логики дает возможность создавать системы диагностирования, когда нет возможности использовать традиционные методы. Также теорию нечеткой логики можно применять для получения качественного анализа технического состояния оборудования, если нет возможности проведения сложных математических расчетов. [2, 7]

В данной работе будет осуществлена разработка автоматизированной системы диагностирования электротехнического оборудования на основе метода нечеткой логики. Основным функционалом спроектированной автоматизированной системы диагностирования электротехнического оборудования должно выступать своевременное качественное выявление дефектов, контроль за их развитием, мониторинг удовлетворительной работы электрооборудования.

Анализ методов и способов диагностирования электротехнического оборудования представлен в таблице 1, 2.

Таблица 1 – Результаты анализа способов диагностирования электротехнического оборудования

	Способы диагностирования электротехнического оборудования	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Тестовое	С. В. Ершов А. М. Дмитриев Л. Г. Сидельников Д. О. Афанасьев А. Н. Гаврилин Б. Б. Мойзес	Простота разработки алгоритма управления Неограниченная глубина поиска	<ul style="list-style-type: none"> • Низкая информативность • Требование вывода оборудования из эксплуатации • Диагностирование способствует не только предупреждению развития различных дефектов, но и их появлению • Необходимость специальных устройств для формирования тестовых воздействий на объект
2	Функциональное	С. В. Ершов А. М. Дмитриев Л. Г. Сидельников Д. О. Афанасьев А. Н. Гаврилин Б. Б. Мойзес	<ul style="list-style-type: none"> • Большая точность, чем при тестовом методе • Возможность проведения исследования во время эксплуатации, следовательно, экономически предпочтительно 	<ul style="list-style-type: none"> • Возможность проведения исследования дистанционно • Ограниченная глубина поиска
3	Комбинированное	С. В. Ершов А. М. Дмитриев	<ul style="list-style-type: none"> • Углубленный анализ • Возможность сравнения результатов нескольких методов диагностирования 	<ul style="list-style-type: none"> • Сложность разработки алгоритмов управления • Высокая стоимость • Необходимость в правильном выборе подхода к каждому оборудованию

4	Интеллектуальная автоматизированная система диагностирования	С.В. Головин И.Э. Гаглоева	<ul style="list-style-type: none"> • Большая точность в сравнении с другими методами диагностирования • Возможность сокращения времени поиска неисправности и организации ремонта электротехнического оборудования • Возможность проведения исследования во время эксплуатации 	<ul style="list-style-type: none"> • Мало распространена • Необходимость в наличии специальных профессиональных знаний и опыте
---	--	-------------------------------	---	--

Таблица 2 – Результаты анализа методов диагностирования электротехнического оборудования

	Методы диагностирования электротехнического оборудования	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Искусственная нейронная сеть	В.А. Пономарев И.Ф. Суворов А.С. Михайлов Б.А. Староверов	Адаптация к конкретному виду оборудования Самообучение. Не требуется подготовка новых алгоритмов и правил обработки информации Составление и редактирование алгоритмов в условиях изменчивости Обработка больших массивов данных Чаще всего используется в задачах про-	<ul style="list-style-type: none"> • Отсутствие формальных методов выбора типа искусственной нейронной сети, адекватного решаемому классу задач • Ограниченная область применения • Высокая комбинаторная сложность проблем, связанных с автоматическим

			гнозирования	формированием топологии ИНС
2	Методы экспертного оценивания	В.З. Манусов Д.О. Крюков Дж.С. Ахьеев	<ul style="list-style-type: none"> • Надёжность оценок и решений достаточно высока • Синтез опыта и интуиции для получения нового знания • Возможно использование для получения как количественных, так и качественных прогнозов 	<ul style="list-style-type: none"> • Трудоемкость процедуры сбора информации • Потребность в высоко квалифицированных специалистах для проведения опроса • Субъективность метода • Проблема несогласованности
3	Теория нечеткой логики	Ю.Е. Кувайс-кова В.А. Шахнин	<ul style="list-style-type: none"> • Определение причин отклонений от нормального режима с выдачей рекомендаций • Выявление тенденций изменения параметров, отклонений параметров за пределы допустимых значений • Отсутствие конкретных (четких) границ между отдельными классами состояний • Использование в условиях неопределенности в задачах принятия решений • Использование в случаях невозможности проведения точных вычисли- 	<ul style="list-style-type: none"> • Полностью не заменяет традиционные подходы, является их дополнением • Отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем • Невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами

			тельных расчетов • Повышение точности диагности- ки на 5-8% в сравне- нии с традиционны- ми методами	
--	--	--	---	--

Анализ научно-технической литературы позволил заключить, что среди существующих математических методов, реализующих диагностирование электротехнического оборудования, наиболее актуальный – метод, основанный на теории нечеткой логики. Достоинствами теории нечеткой логики являются определение причин отклонений, выявление тенденций изменения параметров, возможность использования в трудоемких случаях, использование в случаях невозможности проведения точных вычислительных расчетов.

Список литературы

1. Ершов С.В. Анализ методик и подходов к проблеме диагностирования технического состояния сетей электроснабжения / С.В. Ершов, А.М. Дмитриев // Известия ТулГУ. – 2023. – С. 1-10.
2. Чернов, В. Г. Нечеткие множества. Основы теории и применения: учеб. пособие / В. Г. Чернов; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018 – 156 с.
3. Хальясмаа А.И., Дмитриев С.А., Кокин С.Е., Осотоа М.В. Вопросы реализации оценки технического состояния силового оборудования на электрических подстанциях / А.И. Хальясмаа и [др.] // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2013. – №1 (45). – С. 249-300.
4. Головин С.В. Интеллектуальный автоматизированный комплекс для диагностирования и организации ремонта промышленного электрооборудования: диссертация на соискание ученой степени к.т.н. / С.В. Головин – Иркутск, 2011 – 18 с.
5. Гаглюева И.Э., Алгоритм функционирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений для оценки технического состояния и эффективности процесса обновления и модернизации производственных фондов электроэнергетических объектов // Интернет-журнал «Науковедение», 2013 - №3.
6. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года».
7. Кувайскова Ю.Е., Использование нечеткой логики для диагностики технического состояния объекта / Ю.Е. Кувайскова /Статья/ Ульяновский государственный технический университет. Информатика, вычислительная техника и управление. / Известия Самарского научного центра Российской академии наук/ – 2018 – №4(3) Т.20 – С. 1-4.

8. Манусов В.З. Согласование экспертных оценок при диагностике текущего технического состояния высоковольтного электрооборудования / В.З. Манусов, Д.О. Крюков, Дж.С. Ахъев. – Доклады академии наук высшей школы Российской Федерации, 2017. – №1 (34). С.1-13.
9. Hasanov A.I. Technical diagnostics of electrical equipment based on fuzzy logic / A.I. Hasanov / Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ», 2023. – №5 (62) Т.2 – С. 1-5.
10. Ахъев Д.С., Модели и методы технической диагностики электросетевого оборудования на основе нечеткой логики: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Д.С. Ахъев. – Новосибирск, 2018. – 195 с.
11. Верещагина С.С. Методы поддержки принятия решений при диагностировании промышленного электротехнического оборудования на основе нечеткой логики: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С.С. Верещагина/ Самара, 2021. – 19 с.
12. Хуснутдинов Р.Р. Искусственные нейронные сети в диагностике и мониторинге электрооборудования, отказы / Р.Р. Хуснутдинов, А.М. Хисамеев // Вопросы науки и образования –2019. – №4 (49). – С.22-24.
13. Гурьев П.А. Методика и программное обеспечение диагностики состояния электротехнического оборудования / П.А. Гурьев // Вестник Пермского государственного технического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2006. – №1 Т.5. – С.165-175.
14. Елтышев Д.К. Экспертно-статистический метод оценки работоспособности электротехнического оборудования / Д.К. Елтышев// Системы. Методы. Технологии. – 2015. – №4 (28). – С.79-85.
15. Хальясмаа А.И. Разработка системы оценки технического состояния электросетевого оборудования на основе нейро-нечеткого логического вывода: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / А.И. Хальясмаа. – Екатеринбург, 2015. – 24 с.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ

Романенко Д.В., Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Одной из актуальных задач при проектировании и эксплуатации подземных инженерных сетей является оценка воздействия электромагнитных полей силовых кабелей на расположенные поблизости металлоконструкции, особенно в условиях плотной городской застройки. Силовые кабели часто укладываются в стесненных условиях, где существует значительное количество подземных коммуникаций, включая металлические трубы, строительные конструкции и инженерные сети. Переменное магнитное поле может вызывать индукционные токи в этих конструкциях, что способно привести к их нагреву, ускоренной коррозии и электромагнитным помехам. Анализ и минимизация этих эффектов важны для обеспечения долговечности инфраструктуры, надежности электроэнергии и безопасности эксплуатации инженерных систем. В связи с этим появляется необходимость рассмотрения методов расчета электромагнитных полей.

В современной научной и инженерной практике используется множество методов для расчета электромагнитных полей. Они отличаются математическим подходом, требуемыми вычислительными ресурсами и точностью получаемых результатов. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, что обуславливает важность выбора подходящего метода в зависимости от конкретной исследуемой задачи.



Рисунок 1 – Классификация методов расчета полей

Рассмотрим классификацию методов расчета полей, приведенную на рисунке 1. Аналитические методы выражают параметры электромагнитного поля через точные математические формулы, основанные на решении уравнений Пуассона и Лапласа для задач с симметрией или однородной средой. Их применение ограничено сложными геометриями, однако развитие вычислительных технологий и специализированного ПО расширяет их возможности, позволяя сочетать с численными подходами. Из числа аналитических методов к дальнейшему рассмотрению принимается метод зеркальных отображений.

Численные методы основаны на решении дифференциальных уравнений Пуассона или Лапласа в частных производных. Они универсальны, но требуют значительных вычислительных ресурсов. Гибридный метод – это численный подход, основанный на сочетании метода граничных элементов (МГЭ) и метода конечных элементов (МКЭ) с использованием единого решающего устройства. Такой подход позволяет учитывать особенности обоих методов, эффективно комбинируя их сильные стороны. Но важными недостатками этого метода являются высокая сложность реализации, необходимость выбора основного метода для каждой части задачи, а также значительные вычислительные ресурсы, требуемые для согласования результатов двух подходов. Из числовых методов к дальнейшему рассмотрению принимаются следующие: метод интегральных уравнений (МИУ), метод конечных разностей (МКР), метод конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов (МГЭ), а также метод эквивалентных зарядов (МЭЗ).

Метод зеркальных отображений – это аналитический метод, используемый для решения электростатических задач с симметрией. Этот метод базируется на принципе отражения зарядов в идеально проводящих или диэлектрических средах, что позволяет упростить задачу поиска решения для определенной геометрической конфигурации. Основная идея метода заключается в использовании зеркальных изображений зарядов для замены сложных границ, таких как проводящие поверхности, на простую задачу, которую можно решить с помощью стандартных уравнений электростатики [1]. Одним из главных достоинств метода зеркальных отображений является его простота и удобство, особенно для задач с высокой симметрией. Метод позволяет аналитически получать решения для задач, которые в противном случае потребовали бы сложных численных методов. Кроме того, он позволяет существенно снизить вычислительные затраты при моделировании электростатических полей в близости к проводящим границам. Однако метод зеркальных отображений имеет и ограничения. Он применим только в тех случаях, когда система обладает симметрией, позволяющей использовать отраженные заряды, например, для плоских границ или сферических объектов. Для более сложных геометрий, например, для произвольных объектов с несимметричными границами, метод может быть не применим или сильно ограничен.

Метод интегральных уравнений (МИУ) – это численный метод, используемый для анализа электромагнитных полей. Он основан на преобразовании дифференциальных уравнений Максвелла в интегральные формы, что позволя-

ет описывать поля через поверхностные или объемные токи [2]. МИУ широко применяется в задачах рассеяния, излучения, взаимодействия волн с препятствиями и других задачах, связанных с открытыми областями. Преимущества метода интегральных уравнений: естественный учет бесконечных областей за счет использования функций Грина, которые автоматически выполняют радиационные граничные условия; экономия памяти, так как моделирование сосредоточено на границах или объемах с токами; высокая точность благодаря описанию далекодействующих эффектов точными интегральными представлениями. Недостатки метода: необходимость работы с полными матрицами, что требует больших объемов памяти и времени на вычисления; сложности при моделировании неоднородных сред, требующих дополнительной обработки; чувствительность к форме функции Грина, особенно для сложных геометрий.

Метод конечных разностей (МКР) – это численный метод, используемый для решения дифференциальных уравнений, которые описывают поведение электромагнитных полей. Он широко применяется в задачах моделирования электромагнитных процессов, таких как распространение волн, работа антенн, экранирование и др. Основная идея метода состоит в замене производных конечными разностями, что позволяет перейти от непрерывных уравнений к их дискретным аналогам [3, 7]. Преимущества метода конечных разностей: простота реализации, основанная на элементарных математических операциях; гибкость, позволяющая решать большинство линейных задач электродинамики; высокая точность при достаточной плотности сетки. Недостатки метода: чувствительность к размеру сетки, требующая мелкой дискретизации для повышения точности и увеличивающая вычислительные затраты; трудности с адаптацией к сложной геометрии неровных границ; необходимость тщательного выбора временного шага Δt для обеспечения численной устойчивости.

Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод, используемый для решения задач математической физики, в том числе для анализа электромагнитных полей. Он основан на разбиении расчетной области на небольшие элементы, внутри которых решение аппроксимируется с использованием базисных функций [4]. МКЭ особенно эффективен при решении задач с комплексной геометрией и неоднородными материалами. Преимущества метода конечных элементов заключаются в его гибкости, которая позволяет эффективно работать со сложными геометриями и граничными условиями. Кроме того, метод обеспечивает высокую точность благодаря возможности адаптивного выбора элементов и базисных функций. Еще одним важным преимуществом является удобство учета неоднородностей материала и сложных источников. Среди недостатков можно отметить высокую вычислительную сложность: метод требует значительных ресурсов памяти и времени для построения и решения систем уравнений.

Метод граничных элементов (МГЭ) – это численный метод, используемый для решения задач электромагнитного поля, в котором вместо объемной дискретизации моделируемой области используются только граничные поверхности [5]. Этот подход особенно эффективен для открытых и бесконечных об-

ластей, таких как задачи рассеяния и излучения. Преимущества метода граничных элементов включают сокращение размерности задачи за счет дискретизации только на границах, что снижает объем вычислений, эффективность при работе с бесконечными областями благодаря естественному учету условий на бесконечности, а также высокую точность, обеспечиваемую использованием точных функций Грина для описания дальнедействующих эффектов. К недостаткам метода относятся трудоемкость вычислений полных матриц, которые требуют значительных объемов памяти; сложности при работе с объемными неоднородностями, которые требуют дополнительного разбиения задачи; и чувствительность к качеству граничной сетки, что особенно актуально для сложных геометрий.

Метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) – это численный подход, применяемый для моделирования электромагнитных полей. Его основная идея заключается в замене физических источников поля (токов, зарядов) эквивалентными системами зарядов, расположенных в определенных точках [6]. Метод широко используется для анализа статических электрических полей, а также в задачах емкости, потенциалов и экранирования. Преимущества метода эквивалентных зарядов заключаются в его простоте, так как метод концептуально ясен и интуитивно понятен. Он обеспечивает экономию ресурсов, поскольку в расчетах участвуют только ключевые элементы — эквивалентные заряды, что сокращает объем вычислений. Также метод эффективен для задач с простой симметричной геометрией, таких как сферы или цилиндры. Однако у метода есть и недостатки. Результаты сильно зависят от точности выбора расположения эквивалентных зарядов. Применимость ограничена, особенно для сложных геометрий и задач с материалами, обладающими неоднородностями. Кроме того, при больших расстояниях от области зарядов наблюдается снижение точности расчета полей.

Рассмотренные методы расчета электромагнитных полей имеют свои преимущества и ограничения, определяющие их применимость в различных задачах. Каждый метод ориентирован на конкретный класс задач, учитывающий геометрию, свойства среды, требуемую точность и доступные вычислительные ресурсы. Выбор подходящего метода зависит от множества факторов, включая частотный диапазон, сложность конфигурации исследуемой системы и необходимость учета граничных условий. Комбинация аналитических и численных подходов может дать наилучший результат, особенно в задачах, где одновременное применение нескольких методов позволяет учесть ключевые аспекты взаимодействия электромагнитных полей с окружающей средой. Для большей наглядности все рассмотренные выше методы с их преимуществами, недостатками и указанием авторов, описавших эти методы, сведены в таблицу 1. Такая структура позволяет легко сравнить подходы и определить их применимость в зависимости от специфики задачи. Таблица включает ключевые особенности каждого метода, что упрощает выбор оптимального подхода для решения конкретной задачи.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов расчета электромагнитных полей

Метод	Преимущества	Недостатки	Авторы
Метод зеркальных отображений	1) Высокая точность для задач с простой симметрией; 2) Не требует объемных вычислений	1) Ограничен применением к задачам с высокой симметрией;	Бессонов Л.А., Купалян С.Д.
Метод интегральных уравнений (МИУ)	1) Удобен для учета граничных условий и работы с открытыми областями; 2) Точность при решении задач с регулярной геометрией	1) Сложности при анализе объемных электромагнитных взаимодействий; 2) Ограничения на сложность геометрии среды	Калашников А.Л., Бессонов Л.А.
Метод конечных разностей (МКР)	1) Простой в реализации; 2) Эффективен для задач с простой геометрией	1) Сложности с учетом сложных геометрических форм; 2) Сложности с расчетом объемных областей	Самарский А.А., Николаев Е.С., Штеттер Х.
Метод конечных элементов (МКЭ)	1) Подходит для анализа сложных геометрических объектов; 2) Высокая точность для задач любой сложности, включая неоднородные и анизотропные среды	1) Высокая потребность в памяти вычислительных систем	Галлахер Р., Деклу Ж., Зенкевич О., Сергиндин Л.
Метод граничных элементов (МГЭ)	1) Подходит для задач с открытыми границами и бесконечными областями; 2) Экономия вычислительных ресурсов	1) Сложен в реализации для многосвязных объектов; 2) Высокие требования к интерпретации интегральных уравнений	Сретенский Л.Н., Партон В.З., Перлин П.И., Вейль Г.
Метод эквивалентных зарядов (МЭЗ)	1) Простота применения для локальных задач, связанных с электростатическими эффектами; 2) Быстрота вычислений для небольших систем	1) Не подходит для более сложных геометрий; 2) Плохая сходимость при больших расстояниях	Бобриков В.Е., Гусаров А.А.

Подводя итог сравнительному анализу методов расчета электромагнитных полей, можно сделать вывод, что для решения поставленных задач наиболее предпочтительными являются два метода:

1) Аналитический подход: метод зеркальных отображений выделяется как наиболее предпочтительный для аналитических расчетов. Его простота, высокая точность и возможность получения закрытых решений делают его идеальным выбором для задач с симметрией, таких как взаимодействие зарядов с плоскими или сферическими поверхностями;

2) Численный подход: метод конечных элементов (МКЭ) является лучшим выбором для численных расчетов. Его универсальность и способность работать с любыми геометриями и средами позволяют решать широкий спектр задач, от статических до динамических. МКЭ особенно эффективен в сложных инженерных и физических проблемах. Программа FEMM, используемая для моделирования и расчета электромагнитных полей так же основана на этом методе [8, 9].

Список литературы

1. Купалян, С. Д. Теоретические основы электротехники. Ч. 3, Электромагнитное поле / С. Д. Купалян – М., 1970. – 248 с.
2. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 2014. – 231 с.
3. Самарский, А. А. Методы решения сеточных уравнений / А. А. Самарский, Е. С. Николаев; ред. Т. Н. Галишникова. – Москва: Наука, 1978. – 592 с.
4. Зенкевич, О. К. Метод конечных элементов в технике [Текст]: Пер. с англ. / О. Зенкевич; ред. Б. Е. Победри. - Москва: Мир, 1975. - 541 с.
5. Игумнов, Л.А. Методы граничных интегральных уравнений и граничного элемента в трехмерных задачах математической физики: учебн. пособие / Л.А. Игумнов – Нижний Новгород: ННГУ, 2007 – 103 с.
6. Блохин, Ю.В. К расчету электростатических полей методом эквивалентных зарядов / Ю.В. Блохин, Э.Н. Журавлев, Э.Н. Ярославский // Электричество. - 1980. - № 2. - С. 26-31.
7. Дегтярев, А.А. Метод расчета конечных разностей: учеб. Пособие / А.А. Дегтярев – Самара: СГАУ, 2011 – 83 с.
8. Буль, О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / О. Б. Буль – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.
9. Быковская, Л.В. Моделирование электрических и магнитных полей в программе FEMM [Электронный ресурс]: лабораторный практикум / Л.В. Быковская, В.В. Быковский, Д.В. Сурков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 100 с.

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**Селезнев И.В., Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Электрооборудование, представляющее основной компонент в работе электроэнергетической системы, требует постоянного мониторинга работоспособности и диагностики неисправностей с последующей оценкой состояния для обеспечения дальнейшей надежной и эффективной работы. Выход электрооборудования из строя может привести к серьезным последствиям, включая финансовые потери и нарушение производственных и технологических процессов на критически важных объектах электроэнергетики.

Традиционные методы оценки состояния электрооборудования, базирующиеся на результатах плановых осмотров, не способны выявлять аномалии и потенциальные неисправности на ранних стадиях, что приводит к снижению эффективности работы оборудования, увеличению риска возникновения аварийных ситуаций, повышению затрат на внеплановые ремонты и т.п.

В этом контексте применение кластерного анализа, осуществляющего разбиение исследуемого оборудования на группы схожих по физическому состоянию объектов, становится необходимым инструментом для получения комплексной оценки о состоянии электрооборудования. Анализ полученных кластеров позволит определить степень износа оборудования и оценить риски возникновения неисправностей, что будет способствовать более целенаправленному и эффективному управлению ресурсами электроэнергетических систем. Внедрение методов кластерного анализа в процесс получения оценки работоспособного состояния электрооборудования приведет к повышению качества диагностики и оптимизации использования вычислительных ресурсов для этой цели.

Таким образом, разработка моделей оценки работоспособного состояния электрооборудования, корректно определяющих его текущее состояние на базе кластерного анализа, является актуальной задачей.

В данной работе представлен проведенный системный анализ методов кластеризации для оценки работоспособного состояния электрооборудования. Условно методы разделены на 5 групп.

К первой группе отнесены методы экспертного оценивания [1]. Они представляют собой подходы, основанные на мнениях специалистов в определенной области. Эти методы используются в ситуациях, когда существует недостаток данных или когда данные являются неполными. Экспертные оценки помогают собрать информацию о состоянии электрооборудования, выявить потенциальные проблемы и оценить затраты на обслуживание и ремонт. Основные достоинства методов рассматриваемой группы:

- возможность всестороннего рассмотрения проблемы;
- получение исчерпывающей информации;
- получение рекомендаций от квалифицированных специалистов.

К недостаткам следует отнести:

- субъективный характер оценок за счет: влияния авторитетных экспертов группы на мнения других; влияния корпоративных интересов; личного мнения экспертов.

- затраты на привлечение опытных экспертов.

Ко второй группе отнесена иерархическая кластеризация [2], позволяющая строить иерархическую структуру кластеров данных, которая представляет собой дендрограмму. Выделяют два основных подхода к иерархической кластеризации:

- агломеративный (объединяющий);
- дивизивный (разделяющий).

Агломеративный подход начинается с того, что каждый объект рассматривается как отдельный кластер. Затем на каждом шаге объединяются два наиболее близких кластера до тех пор, пока не останется один полный кластер или не будет достигнуто заданное число кластеров.

Дивизивный подход начинается с одного кластера, содержащего все объекты, и делит его на меньшие кластеры на каждом шаге.

Иерархическая кластеризация позволяет визуализировать данные и выделять группы объектов с аналогичными характеристиками, что полезно для диагностики электрооборудования.

К достоинствам данного метода можно отнести:

- работу алгоритма без предварительных знаний о количестве кластеров;
- наглядную визуализацию структуры кластеров;
- использование при неэффективности других методов кластеризации.

К недостаткам метода можно отнести следующие факторы:

- эффективность работы на небольших наборах данных в виду высокой вычислительной сложности;
- чувствительность к качеству исходных данных (экстремальные выбросы или точки шума влияют на результаты кластеризации);
- возникающие затруднения в выборе метрики расстояния.

К третьей группе отнесен метод главных компонент (РСА) [3] – метод уменьшения размерности данных, который используется для выявления основных факторов, определяющих изменчивость данных. Он преобразует оригинальные переменные в новое пространство главных компонент, которые представляют собой линейные комбинации исходных переменных. Цель РСА: сократить количество переменных, анализируя лишь те, которые наиболее владеют изменчивостью, для упрощения данных и последующего кластерного анализа. Это также помогает устранить коррелированные переменные и уменьшить шум в данных.

В контексте оценки электрооборудования, PCA может помочь выявить ключевые параметры, влияющие на работоспособность, и уменьшить количество анализируемых характеристик.

К достоинствам данного метода можно отнести:

- уменьшение размерности данных;
- выделение главных признаков;
- возможность удаления шумовых данных;
- повышение точности результатов за счет использования нормализации данных.

К недостаткам данного метода можно отнести следующее:

- возможная потеря информации;
- сложность с интерпретацией результатов в случае высококоррелированных данных или выделении большого числа главных компонент;
- чувствительность к выбросам;
- необходимость больших вычислительных ресурсов для выполнения поставленных задач;
- в основе метода лежит предположение, что данные линейно связаны, а главные компоненты не коррелированы.

К четвертой группе отнесена четкая кластеризация (метод k-means или k-средних) [4]. K-means основан на минимизации внутриклассовой дисперсии, он определяет заданное количество кластеров (K) и пытается разделить данные на K групп.

Укрупненный алгоритм k-means состоит из следующих процедур:

- 1) Инициализация: случайный выбор K центров кластеров.
- 2) Присвоение: каждый объект присваивается ближайшему центру.
- 3) Обновление: пересчитываются центры кластеров на основе их данных.
- 4) Повторение: шаги 2-3 осуществляются до тех пор, пока центры кластеров значительно изменяются.

К достоинствам данного метода можно отнести:

- простоту и легкость реализации. Алгоритм k-means относительно прост, его легко понять и реализовать, что делает его популярным среди других методов кластеризации;
- эффективность. K-means является достаточно быстрым алгоритмом, особенно на небольших и средних по объему наборах данных, поскольку его временная сложность приблизительно пропорциональна размеру данных;
- гарантированную сходимость. Алгоритм гарантированно сойдется к локальному минимуму, хотя и не обязательно к глобальному, что даёт определённость в получении результата;
- удобство интерпретации. Результаты кластеризации алгоритмом k-means легко интерпретировать, поскольку он основывается на средней точке (центроиде) кластера;
- гибкость. Предоставляется возможность адаптивирования и улучшения посредством добавления в алгоритм других методов или комбинаций с метода-

ми снижения размерности (например, как в алгоритме k-means++, модифицирующем процесс инициализации кластеров).

К недостаткам можно отнести:

- зависимость от начальной инициализации (выбор центра и количества кластеров);

- эффективность алгоритма только для линейно разделимых кластеров, представляющих собой отдельные скопления точек;

- предопределенное задание количества кластеров. Пользователь должен заранее задать число кластеров (K), что не всегда возможно или может требовать дополнительных исследований для оптимального разбиения на кластеры.

К пятой группе отнесена нечеткая кластеризация (алгоритм c-means или c-средних) [5]. По результатам разбиения на кластеры, каждый объект принадлежит к нескольким кластерам с определенной степенью принадлежности. Алгоритм c-means лучше отражает реальность, когда границы между кластерами нечеткие и имеют размытые границы, что может быть очень полезно для оценки состояния электрооборудования, учитывая возможные неоднозначности и неопределенности в исходных данных.

К достоинствам данного метода можно отнести следующее:

- гибкость – отнесение одного объекта сразу к нескольким кластерам с различной степенью принадлежности;

- высокая точность. Алгоритм позволяет более точно моделировать сложные структуры данных, поскольку учитывает нечеткие границы между кластерами;

- гладкость переходов. Вычисление степеней принадлежности обеспечивает более гладкий переход между кластерами для точек данных, которые находятся на границах.

К недостаткам можно отнести следующее:

- чувствительность к выбору параметров. Результаты зависят от начальной инициализации и выбора параметров, таких как число кластеров и степень нечеткости;

- возможность получения неоптимального разбиения. Для сложных данных с нестандартными формами кластеров нечеткая кластеризация может давать неоптимальные результаты;

- сложность работы с большими объемами информации. Для очень больших наборов данных алгоритм может стать менее управляемым из-за вычислительной сложности и потребности в памяти.

Для наглядности результаты проведенного сравнительного анализа методов кластеризации для оценки работоспособного состояния электрооборудования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Методы, используемые при кластеризации оборудования

№	Методы оценки	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	2	3	4	5
1	Методы экспертного оценивания	Г.А. Кириллов А.А. Сартисон Д.В. Танфильева А.Н. Тюрин А.Г. Степанов Р.Н. Ибрагимов Р.Г. Ильдарханов	– возможность всестороннего рассмотрения проблемы; – получение исчерпывающей информации; – получение рекомендаций от квалифицированных специалистов.	– субъективный характер оценок; – затраты на привлечение опытных экспертов.
2	Иерархическая кластеризация	М.П. Силич К.А. Елсуфьев С.А. Ермоченко А.П. Кирпичников Н.А. Барышникова	– работа алгоритма без предварительных знаний о количестве кластеров; – наглядная визуализация информации о структуре кластеров; – возможность использования при неэффективности других методов кластеризации.	– эффективность работы на небольших наборах данных; – чувствительность к качеству исходных данных; – возникающие затруднения в выборе метрики расстояния.
3	Метод главных компонент (РСА)	Д.И. Бездушный Ф.Д. Махмаджонов К.Л. Соломахо А.В. Саютин В.Г. Кузнецов А.А. Герасименко	– уменьшение размерности данных; – выделение главных признаков; – возможность удаления шумовых данных; – повышение точности результатов.	– возможная потеря информации; – возможная сложность с интерпретацией результатов; – чувствительность к выбросам; – необходимость больших вычислительных ресурсов; – основан на предположение о линейно связанных данных и некоррелированности главных компонент.

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
4	Четкая кластеризация (k-means)	В.А. Силич М.С. Куприянов Ю.И. Кудинов Л.А. Влацкая	– простота и легкость реализации; – эффективность; – гарантированная сходимость; – удобство интерпретации; – гибкость.	– зависимость от начальной инициализации; – эффективность только для линейно разделимых кластеров; – предопределенное задание количества кластеров.
5	Нечеткая кластеризация (c-means)	В.А. Силич М.С. Куприянов Ю.И. Кудинов Л.А. Влацкая	– гибкость; – высокая точность; – гладкость переходов.	– чувствительность к выбору параметров; – возможность получения неоптимального разбиения; – сложность работы с большими объемами информации.

Анализ методов, используемых для кластеризации, позволил сделать вывод, что наиболее действенным методом для оценки работоспособного состояния электрооборудования представляется метод четкой кластеризации (k-means) ввиду возможности анализа больших объемов данных, гибкости, простоты реализации и высокой эффективности.

Список литературы

1. Танфильева, Д.В. Разработка моделей диагностики и оценки состояния силовых маслонаполненных трансформаторов. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19379376> – дата обращения: 18.12.2024.
2. Барышникова, Н.А. Методика кластеризации на основе иерархических и неиерархических методов кластерного анализа. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17820520> – дата обращения: 21.12.2024.
3. Саютин А.В., Кушников В.А. Особенности применения метода анализа главных компонент для обеспечения эффективной работы энергосбытовой организации. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11780583> – дата обращения: 22.12.2024.
4. Сивоголовка, Е.В. Методы оценки качества четкой кластеризации. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19348877> – дата обращения: 25.12.2024
5. Кудинов, Ю.И. Нечеткое моделирование и кластеризация. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/nchetkoe-modelirovanie-i-klasterizatsiya> – дата обращения: 22.12.2024.

ЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ГОЛОЛЕДА НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

**Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент, Левикина И.П.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Одним из наиболее важных видов энергии, используемых в различных сферах жизнедеятельности людей, является электрическая энергия. Основной способ передачи электрической энергии от места ее генерации до потребителей – использование высоковольтных воздушных линий электропередачи (ЛЭП). В связи с этим любые аварийные ситуации на ЛЭП, независимо от причин их возникновения, приводят к различным негативным последствиям как для поставщиков, так и для потребителей электроэнергии. Это связано, например, с существенными экономическими потерями промышленных предприятий в связи с простоем оборудования, со сбоями в работе электротранспорта, торговых организаций, с существенными неудобствами для бытовых условий населения (невозможность использования электробытовых приборов, холодильников, средств связи и т. п.) и, наконец, с существенными экономическими убытками самих электрогенерирующих предприятий из-за недобора выработанной электроэнергии потребителями.

Одним из основных факторов, вызывающих возникновение аварийных ситуаций на ЛЭП в зимнее время, является образование гололедно-изморозевых отложений на проводах и несущих опорах ЛЭП. Гололедные отложения на проводах существенно увеличивают их вес, а это, в свою очередь, приводит к увеличению нагрузки на опоры. В результате этого, особенно при сильном боковом ветре, происходит обрыв проводов, а в некоторых случаях, и разрушение несущих опор ЛЭП. Как показано в [1], на долю такого вида аварий приходится около 25% от общего числа повреждений на воздушных линиях. Устранение последствий такого вида аварий всегда связано с выездом к месту повреждения элементов ЛЭП аварийно-восстановительных бригад и отсутствием электроснабжения потребителей на весь период аварийно-восстановительных работ (то есть, с дополнительными экономическими потерями и у поставщиков, и у потребителей электроэнергии). Поэтому как в нашей стране, так и за рубежом большое внимание уделяется поискам эффективных способов борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями на проводах ЛЭП.

Анализ показал, что исследования в данной области ведутся в двух направлениях: первое направление связано с определением момента начала образования гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП, оценкой максимальной массы отложений и интенсивности ее роста [2, 3], второе – с разработкой способов (механических, электротермических, физико-химических, электромеханических и др.) удаления уже образовавшихся отложений [4]. Логично предположить, что гораздо эффективнее, используя информацию о нали-

чии факторов, приводящих к интенсивному образованию гололедных отложений, предупредить этот процесс, например, посредством дополнительного нагрева проводов, чем удалять уже образовавшиеся отложения.

В настоящее время на практике применяют два основных способа обнаружения гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП [5]:

– первый способ связан с прогнозированием вероятности возможного гололедообразования на основе метеорологической информации о состоянии воздушной среды в окрестности трассы ЛЭП;

– второй способ основан на контроле линии электропередачи с помощью датчиков и устройств обнаружения гололеда, установленных непосредственно на проводах и опорах ЛЭП.

Как известно, образование льда на проводах ЛЭП происходит при определенном сочетании нескольких метеорологических величин: температуры окружающей среды и самих проводов, относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра. Кроме перечисленных выше факторов на интенсивность образования гололедных отложений влияют рельеф местности, где проходит трасса воздушной ЛЭП, высота трассы над уровнем моря, изменение текущей нагрузки на линии (от которой зависит температура нагрева провода за счет протекающего электрического тока) и ряд других факторов. Поэтому, как показывает практика [5], построение модели, адекватной конкретной ЛЭП, вызывает существенные трудности. До настоящего времени не существует адекватной модели, которая позволяла бы достоверно учитывать все возможные факторы, участвующие в образовании гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП.

Второй способ основан на расположении на элементах ЛЭП ряда датчиков, реагирующих: на изменения физических параметров среды, окружающей провода; на провисание или натяжение проводов линии, изменение их электрических характеристик; на изменение условий распространения высокочастотных и импульсных сигналов по проводам ЛЭП. Полученная таким способом информация используется для прогнозирования начала процесса образования гололедно-изморозевых отложений.

По мнению авторов проведенных исследований, результаты которых изложены в [5], наиболее перспективным является локационный метод обнаружения гололеда, основанный на оценке изменения условий распространения импульсных сигналов по проводам ЛЭП при появлении гололедно-изморозевых отложений. Этот метод имеет ряд преимуществ перед получившими в настоящее время распространение другими методами.

Суть метода локационного зондирования заключается в следующем. В линию (провод ЛЭП) подается импульсный сигнал, который сначала распространяется вдоль провода в прямом направлении, а после отражения от какой-либо неоднородности, имеющейся на линии, в обратном направлении. Такими неоднородностями, например, могут служить концы линий электропередачи, высокочастотные (ВЧ) заградители, места присоединения ответвлений к ЛЭП, места соединения воздушных линий с кабельными вставками и т. д. Информа-

ция об отсутствии или появлении гололедно-изморозевых отложений заложена во времени распространения импульсного сигнала в прямом и обратном направлениях. В случае образования на проводах ЛЭП гололедных отложений увеличивается время прохождения отраженным импульсом заданного участка линии с одновременным уменьшением его амплитуды U .

Структурная схема предложенного в [5] локационного устройства приведена на рисунке 1.

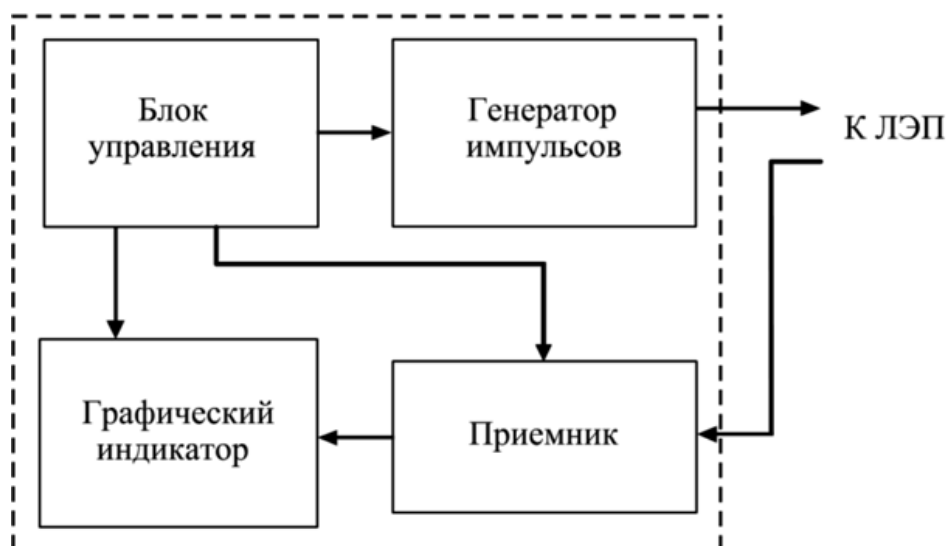


Рисунок 1 – Структурная схема локационного устройства

Принцип функционирования локационного устройства (рисунок 1) состоит в следующем. С помощью генератора импульсов формируют высокочастотные импульсы, которые подают в линию. Импульсы, отраженные от какой-либо неоднородности на линии, поступают на вход приемника, где осуществляется их обработка и определяется время задержки между моментами излучения в линию и прихода отраженного импульсного сигнала. Результаты обработки принятого сигнала отображаются на экране графического индикатора. Согласованное функционирование всех блоков локационного устройства обеспечивается сигналами от блока управления.

Наличие гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП приводит к увеличению времени распространения сигнала вдоль провода и вызывает его дополнительное затухание по сравнению с сигналом в линии без гололедных отложений (обусловлено диэлектрическими потерями энергии электромагнитной волны, которая расходуется на нагрев гололедного слоя на проводе). Это дает возможность определять появление гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП путем сравнения времени распространения отраженных сигналов или их амплитуд при наличии и при отсутствии гололедных образований. Таким образом, локационное устройство, описанное в [5], может выполнять функцию датчика наличия гололедно-изморозевых отложений на проводах ЛЭП.

В [6] для борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями на проводах ЛЭП предложена структура информационно-измерительной и управляющей системы (ИИиУС) на основе микроконтроллера, включающая датчики температуры воздуха, расположенные вдоль линии электропередачи, датчики температуры проводов, датчик относительной влажности воздуха, датчики направления и скорости ветра, а также исполнительное устройство, обеспечивающее плавку гололеда. Структура ИИиУС может быть существенно упрощена (и, как следствие – существенно снижена стоимость ее реализации), если вместо совокупности перечисленных выше датчиков, предназначенных для контроля метеорологической обстановки в местах расположения проводов ЛЭП и прогнозирования на основе полученной информации возможности образования на проводах гололедно-изморозевых отложений и интенсивности их роста, использовать один датчик в виде локационного устройства. При этом упрощается алгоритм принятия решения на необходимость включения устройства, осуществляющего плавку гололеда, а также повышается качество принятия решений (уменьшается вероятность ложных тревог).

Список литературы

1. Шалыт, Г. М. Определение мест повреждений линий электропередачи импульсным методом / Г. М. Шалыт. – М. : Энергия, 1968. – 216 с.
2. Титов, Д. Е. Мониторинг интенсивности гололедообразования на воздушных линиях электропередачи и в контактных сетях : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Д. Е. Титов. – Саратов, 2014. – 18 с.
3. Дементьев, С. С. Интеллектуальная система мониторинга гололедообразования на воздушных линиях электропередачи : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.16 / С. С. Дементьев. – Волгоград, 2019. – 142 с.
4. Никитина, И. Э. Способы удаления льда с проводов линий электропередачи [Электронный ресурс] / И. Э. Никитина, Н. Х. Абдрахманов, С. А. Никитина // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2015. – №3. – С. 794–823. – Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>.
5. Минуллин, Р. Г. Локационное обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи. Часть 1. Способы обнаружения гололеда / Р. Г. Минуллин, В. А. Касимов, Т. К. Филимонова, М. Р. Яруллин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 2 (193). – С. 61 – 73.
6. Сильвашко, С. А. Информационно-измерительная и управляющая система предупреждения гололедообразования на проводах линий электропередачи / С. А. Сильвашко // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XII Всерос. науч.-техн. конф., 28-30 окт. 2021 г., Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". – Электрон. дан. – Оренбург : ОГУ. – 2021. – С. 181-183.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Оренбургский государственный университет»

Неотъемлемой частью любой системы радиосвязи (в том числе радиорелейной, спутниковой и т. п.) является передатчик. Важнейшим параметром любого передатчика является стабильность его частоты. Обеспечение высокой стабильности частоты передатчика способствует повышению помехозащищенности системы связи, увеличению числа станций, работающих в заданном диапазоне частот без взаимных помех (благодаря улучшению электромагнитной совместимости) [1].

Одним из основных элементов передатчика является задающий генератор (возбудитель), в большинстве случаев являющийся автогенератором. Высокая стабильность передатчика обеспечивается, в первую очередь, благодаря высокой стабильности автогенератора. Принято различать два вида нестабильности частоты автогенераторов: долговременную и кратковременную [1]. Особый интерес представляет долговременная нестабильность, обусловленная изменениями температуры, давления, влажности окружающей среды, вибрациями (особенно в *LC*-автогенераторах), колебаниями напряжения питания и т. д. Наиболее значимым из перечисленных факторов является температура, поскольку в процессе функционирования автогенератора ее влияние сказывается по нескольким направлениям: во-первых, на продолжительном временном интервале происходит изменение температуры окружающей среды; во-вторых, происходит нагревание элементов генератора под действием протекающих в них токов. Все это приводит к изменению параметров элементов частотоподающих цепей генератора (сопротивлений резисторов, емкостей конденсаторов и т. п.) и, как следствие, к изменению частоты генерируемых колебаний.

Повышение температурной стабильности частоты в автогенераторах на практике достигается следующими способами:

- применением элементов (резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности) в частотоподающих цепях с малыми температурными коэффициентами;
- помещением колебательной системы (или автогенератора в целом) в термостат (термостатирование);
- использованием в качестве колебательной системы кварцевых резонаторов и др.

Устойчивость частоты колебаний автогенератора к дестабилизирующим факторам принято оценивать с помощью коэффициента относительной нестабильности частоты [2]:

$$k_H = \frac{\Delta f}{f_K}, \quad (1)$$

где $\Delta f = f_T - f_K$ – абсолютная нестабильность частоты; f_T – текущее значение частоты; f_K – номинальное значение частоты. Применение перечисленных выше способов повышения температурной стабильности частоты позволяет довести значение коэффициента k_H до $10^{-6} - 10^{-11}$ (при допусках значениях в системах радиовещания на коротких и ультракоротких волнах $k_H < 2 \cdot 10^{-5}$ [2]).

Наиболее значимый эффект достигается при использовании в схемах автогенераторов кварцевых резонаторов в сочетании с термостатированием. В этом случае относительное отклонение текущей частоты автогенератора от номинальной не превышает значения $\pm 3 \cdot 10^{-11}$ [3 – 5]. Однако использование кварцевых резонаторов в автогенераторах возможно только в ограниченном диапазоне частот. Например, компания Vectron International производит кварцевые резонаторы с рабочими частотами в диапазоне от 1,84 до 225 МГц [6].

В инженерной практике часто возникает потребность в автогенераторах гармонических колебаний для более высокочастотного диапазона. В [7, 8] предложена схема *RC*-генератора гармонических колебаний (рисунок 1), максимальная частота которых зависит только от частотных свойств используемых в схеме транзисторов и может достигать сотен мегагерц – единиц гигагерц, что позволяет использовать автогенератор, реализованный по предложенной схеме, в том числе в современных средствах связи.

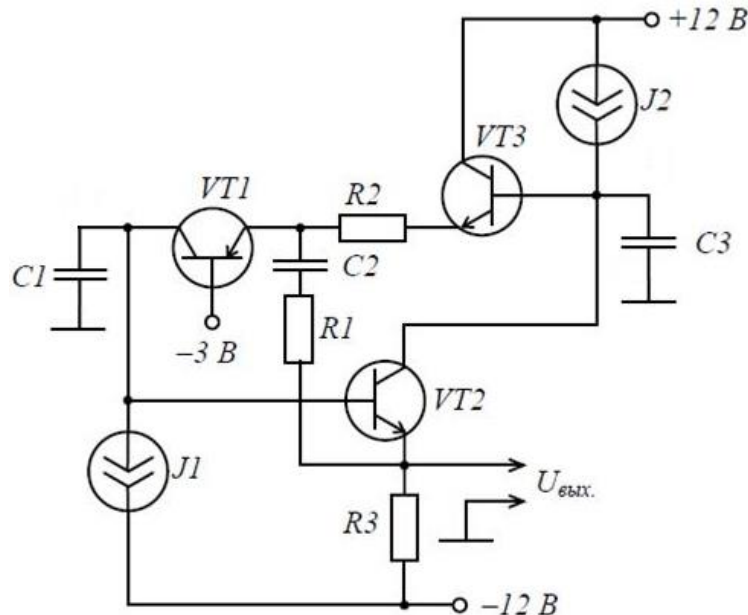


Рисунок 1 – Функциональная схема *RC*-генератора

Частота ω_K колебаний, формируемых в автогенераторе, схема которого приведена на рисунке 1, при температуре $+25^\circ\text{C}$ определяется выражением

$$\omega_K = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_3}}, \quad (2)$$

или, при выполнении условия $C_1 = C_3 = C$, $R_2 = R_3 = R$ – выражением

$$\omega_k = \frac{1}{RC}, \quad (3)$$

где C и R – номинальные значения емкостей соответствующих конденсаторов и сопротивлений резисторов частотоподающих цепей при температуре $+25^\circ\text{C}$.

Для любых значений температуры элементов частотоподающих цепей выражение (3) можно записать в виде

$$\omega_T = \frac{1}{R \cdot [1 + \alpha(T - 25)] \cdot C \cdot [1 + \beta(T - 25)]}, \quad (4)$$

где T – текущее значение температуры;

α – температурный коэффициент сопротивления (ТКС) используемых резисторов R , $1/^\circ\text{C}$;

β – температурный коэффициент емкости (ТКЕ) используемых конденсаторов C , $1/^\circ\text{C}$.

Коэффициент относительной нестабильности частоты автогенератора составит

$$k_n = \frac{|\omega_T - \omega_k|}{\omega_k} = \left| \frac{1}{[1 + \alpha(T - 25)] \cdot [1 + \beta(T - 25)]} - 1 \right| \quad (5)$$

и примет минимальное значение при условии $\alpha = -\beta$. Таким образом для уменьшения влияния температуры на частоту колебаний автогенератора в частотоподающих цепях необходимо использовать элементы с положительным и отрицательным температурными коэффициентами (то есть использовать термокомпенсацию).

На рисунке 2 показана зависимость коэффициента относительной нестабильности k_n частоты автогенератора от температуры при использовании в схеме (рисунок 1) резисторов R с положительным ТКС (в интервале температур от минус 60 до $+25^\circ\text{C}$ $\alpha = 1200 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, в интервале температур выше $+25^\circ\text{C}$ $\alpha = 700 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ [9]) и конденсаторов C с отрицательным ТКЕ (при четырех значениях ТКЕ: $\beta = -220 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, $\beta = -330 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, $\beta = -470 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ и $\beta = -700 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ [10]). Наименьшие значения k_n достигается при ТКЕ используемых конденсаторов равном $-700 \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ (на рисунке 2 график функции $\delta_4(T)$). При этом в интервале температур от $+25^\circ\text{C}$ до $+40^\circ\text{C}$ коэффициент k_n не превышает значение $1,1 \cdot 10^{-4}$.

В [11] предложен способ повышения температурной стабильности частоты автогенератора, основанный на включении последовательно с резисторами с положительными ТКС в частотоподающих цепях термисторов с отрицательными ТКС (рисунок 3). При этом конденсаторы рекомендуется выбирать с ТКЕ, близким к нулю.

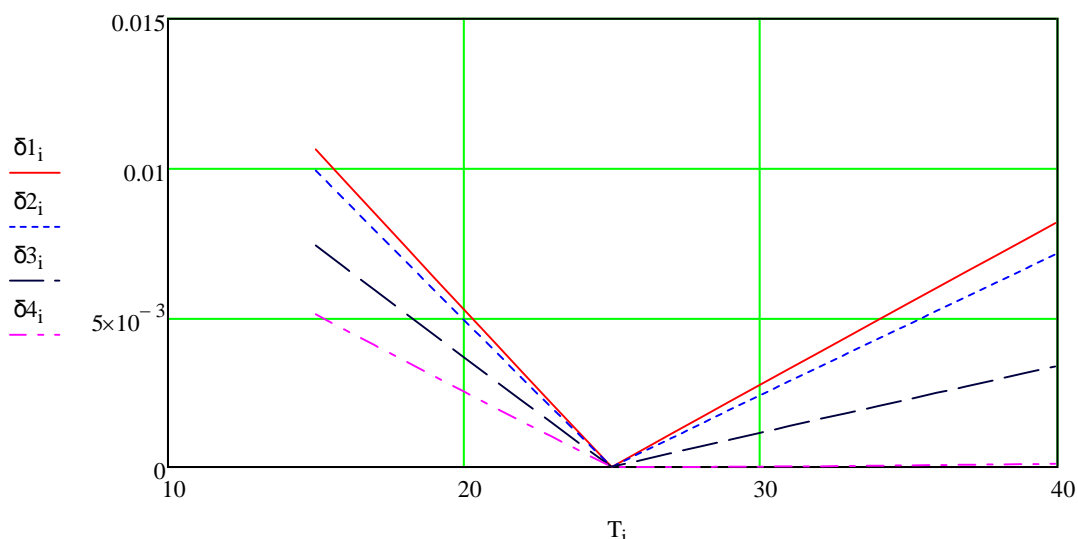


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента k_n от температуры T и ТКЕ конденсаторов

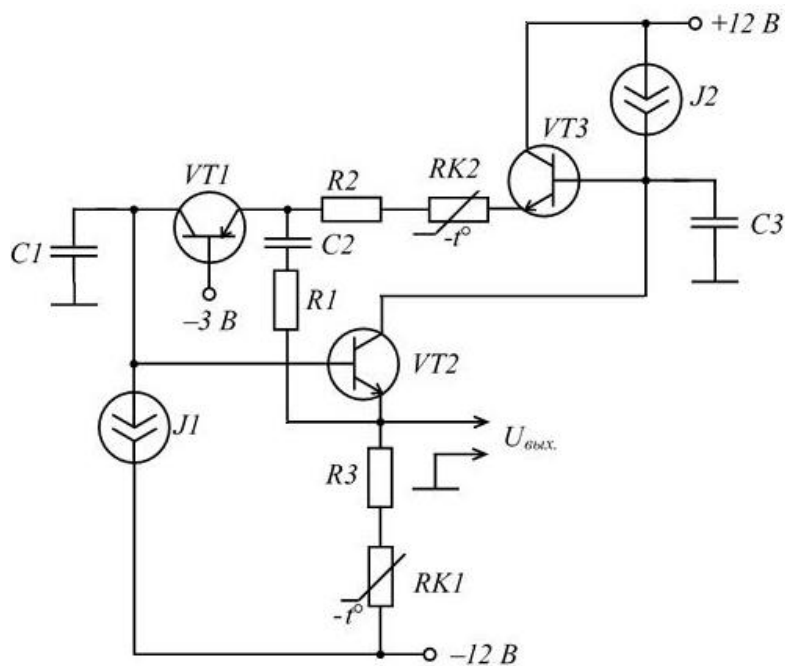


Рисунок 3 – Функциональная схема автогенератора с элементами температурной стабилизации частоты

При известном требуемом сопротивлении R (вычисляется из выражения (3)) сопротивление резисторов R_2 и R_3 схемы (рисунок 3) находят по формуле

$$R_2 = R_3 = \frac{R \cdot B}{B + \alpha \cdot (T_{\text{макс.}} + 273) \cdot (T_{\text{норм.}} + 273)}, \quad (6)$$

где B – постоянный коэффициент, зависящий от свойств материала термисторов RK_1 и RK_2 ;

α – ТКС резисторов R_2 и R_3 , $1/^\circ\text{C}$;

$T_{\text{макс.}}$ – наибольшая температура в интервале рабочих температур генератора;

$T_{\text{норм.}}$ – нормальная температура (+25 °С),
а термисторов RK_1 и RK_2 – по формуле

$$RK_1 = RK_2 = R - R_2. \quad (7)$$

На рисунке 4 приведены графики зависимости коэффициента k_n от температуры в интервале температур от +10 °С до +40 °С: δ_1 – коэффициент относительной нестабильности частоты генератора для схемы без термисторов (рисунок 1); δ_2 – коэффициент относительной нестабильности частоты генератора для схемы с термисторами (рисунок 3).

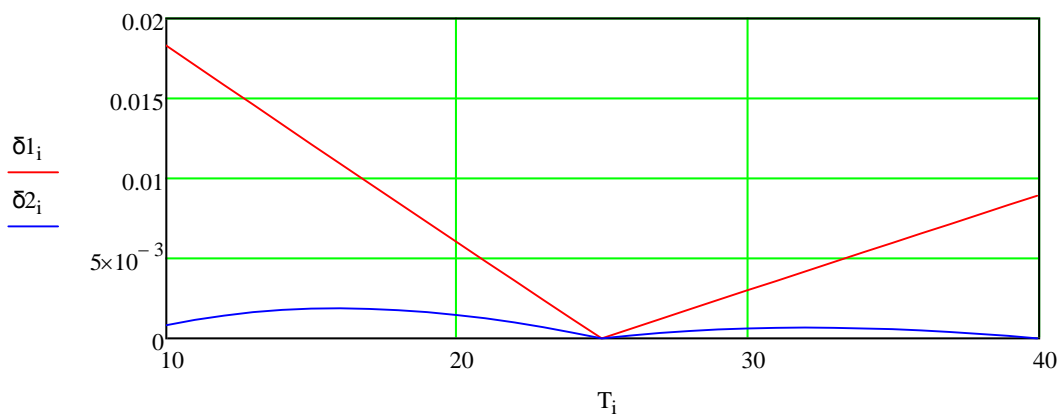


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента относительной нестабильности частоты генератора от температуры

Как видно из рисунка 4, при наличии в схеме генератора термисторов стабильность частоты в рабочем диапазоне температур существенно возрастает. В частности, при использовании термисторов, изготовленных из материала с коэффициентом $B = 3200$, в интервале температур от +25 °С до +40 °С коэффициент относительной нестабильности частоты генератора не превышает значение $6,8 \cdot 10^{-4}$, что в шесть раз меньше, чем в автогенераторе, схема которого не содержит термисторов.

Таким образом, применение в частотоподающих цепях RC-генератора одновременно элементов с положительным и отрицательным температурными коэффициентами позволяет существенно уменьшить значение коэффициента относительной нестабильности частоты генератора.

Список литературы

1. Радиопередающие устройства : учебник для вузов / В. В. Шахгильдян, В. Б. Козырев, А. А. Ляховкин и др.; Под ред. В. В. Шахгильдяна. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 2003. – 560 с.: ил. – ISBN 5-256-01237-1.
2. Надольский, А. Н. Теоретические основы радиотехники : учеб.-метод. пособие / А. Н. Надольский. – Минск : БГУИР, 2014. – 202 с.: ил. – ISBN 978-985-543-052-1.

3. Хоменко, И. В. Кварцевые резонаторы и генераторы : учеб. пособие / И. В. Хоменко, А. В. Косых ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – 160 с.: ил. – ISBN 978-5-8149-2583-1.
4. Иванов, Ю. А. Использование прецизионных генераторов в аппаратуре стандарта 5G / Ю. А. Иванов, А. Г. Никонов, А. В. Котюков // Современная электроника. – 2019. – № 3. – С. 52 – 55.
5. Иванов, Ю. А. Современные кварцевые и рубидиевые генераторы / Ю. А. Иванов // Современная электроника. – 2024. – № 1. – С. 32 – 38.
6. Белов, Л. Кварцевые генераторы и фильтры компании Vectron International / Л. Белов // Электроника : Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 2. – С. 46 – 54.
7. Пат. 2666226 Российская Федерация, МПК H03B 5/26 (2006.01). RC-генератор / Булатов В. Н., Худорожков О. В., Сильвашко С. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Оренб. гос. ун-т». – № 2017143947; заявл. 14.12.2017; опубл. 06.09.2018, Бюл. № 25.
8. Сильвашко, С. А. RC-генератор на основе гиратора [Электронный ресурс] / С. А. Сильвашко, О. В. Худорожков // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : тр. XI Всерос. науч.-техн. конф. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». – Электрон. дан. – Оренбург : ОГУ, 2020. – С. 259–263.
9. Резисторы : справочник / Ю. Н. Андреев, А. И. Антонян, Д. М. Иванов и др.; Под ред. И. И. Четверткова. – М. : Энергоиздат, 1981. – 352 с.
10. Горячева, Г. А. Конденсаторы : справочник / Г. А. Горячева, Е. Р. Добромыслов. – М. : Радио и связь, 1984. – 88 с.
11. Пат. 2829158 Российская Федерация, МПК H03B 5/26 (2006.01). RC-генератор / Сильвашко С. А. ; заявитель и патентообладатель Сильвашко С. А. – № 2024107803; заявл. 25.03.2024; опубл. 24.10.2024, Бюл. № 30.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФУЗИОННО-АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Соколов В.Ю.¹, канд. техн., доцент, Деденева Е.Е.¹,

Козловцев А.П.², д-р техн. наук, профессор

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Оренбургский государственный университет»,

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Оренбургский государственный аграрный университет»

При изучении переходного режима работы диффузионно-абсорбционного холодильника, работающего от источника тепла (ТЭН, солнечный коллектор и т.д.), необходимо учитывать, что мгновенная холодопроизводительность определяется экспериментально для различных участков замкнутой системы, контактирующей с элементом нагревателя. Нами установлено, что передаточная функция первого порядка с задержкой является адекватной моделью поведения холодильника для любого способа подвода тепла. Качество подгонки модели составляет от 93% до 97%. Три параметра модели выражаются на расчетном этапе как функции подводимой к машине энергии с целью построения обобщенной модели для машины. Характеристики устойчивого состояния холодильника достаточно хорошо прогнозируются, отклонения в холодопроизводительности не превышают 8%. Предложенная обобщенная модель может быть очень полезна для прогнозирования переходного поведения системы диффузионно-абсорбционного охлаждения (ДАО).

Метод диффузионной абсорбции для производства холода был предложен в 1928 году двумя шведскими инженерами Фон Платеном и Мунтерсом. В холодильнике с равномерным давлением аммиак используется в качестве хладагента, вода в качестве абсорбента и водород в качестве инертного газа для выравнивания давления. На рисунке 1 показаны составляющие элементы современной версии этого типа холодильника (Бен Джемаа и др., 2008), включающей изолированный газовый теплообменник между абсорбером и испарителем.

Со времени этого изобретения многочисленные исследователи пытались улучшить характеристики и сократить время отклика на изменение температурного воздействия этих машин [1]. Обсуждались многие аспекты, такие как механическая конструкция различных компонентов устройства, термодинамический цикл и природа рабочих жидкостей. Ученые, которые исследовали возможность использования гелия вместо водорода в качестве инертного газа, обнаружили, что этот газ ведет себя аналогично водороду. Чен и др. (1996) улучшили на 50% коэффициент полезного действия ДАО, изменив конструкцию генератора путем интеграции в него теплообменника типа «труба в трубе».

Vicatos (2000) экспериментально изучил модифицированный ДАО с целью сокращения времени отклика системы на тепловое воздействие. Srihirin и Aphornratana (2002) разработали математическую модель ДАО, работающего с тройной системой аммиак-вода-гелий. Модель была подтверждена экспериментально.

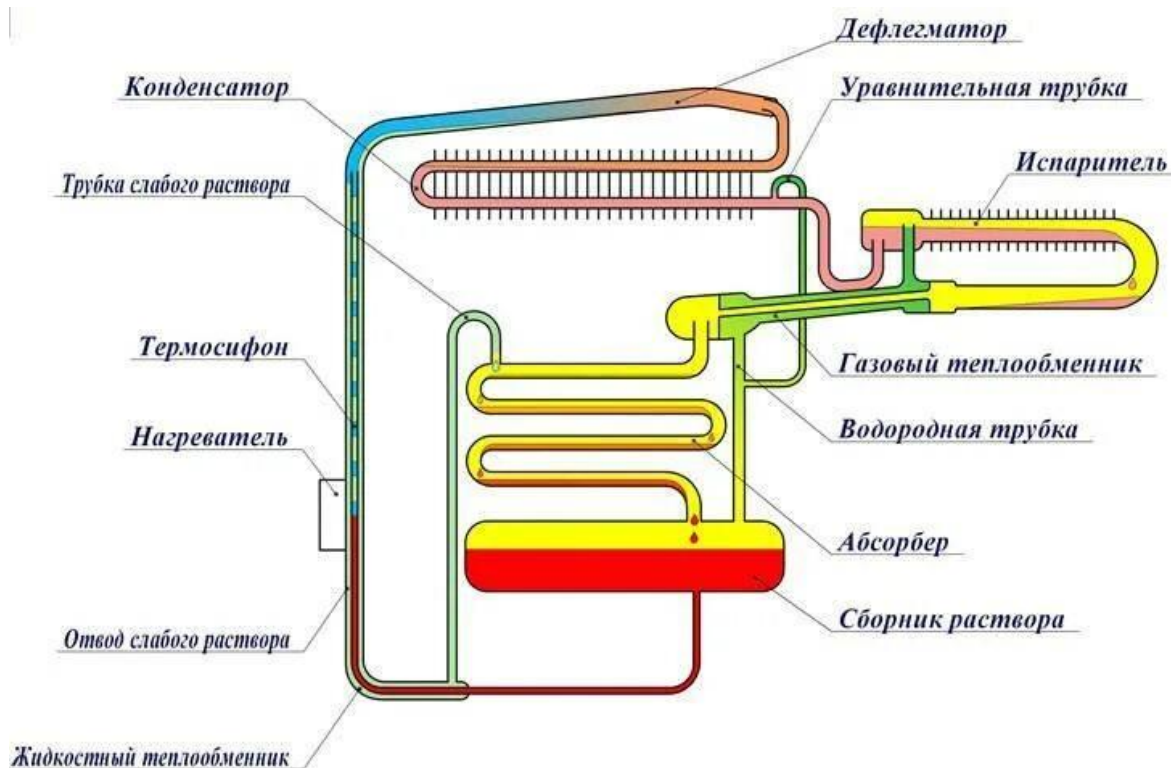


Рисунок 1 - Схема расположения элементов диффузионно-абсорбционного холодильника, работающего от электронагревателя Бен Дজেмаа

Zohar с группой коллег (2005) также разработали термодинамическую модель ДАО, с помощью которой они провели параметрическое исследование, показывающее, что наилучшие характеристики будут получены при массовой концентрации аммиака 30% для богатого раствора и 10% для слабого раствора. Они также обнаружили, что КПД оптимизированной системы с гелием в качестве инертного газа на 40% выше, чем у обычной машины.

Ben Ezzine и его коллеги в 2010 году исследовали возможность работы ДАО с рабочей жидкостной системой DMAC-R124, не сопряженной с солнечным коллектором. Они показали, что КПД и производимая температура охлаждения в значительной степени зависят от эффективности поглотителя и температуры генератора. Для солнечных тепловых генераторов рассматриваемая смесь жидкостей может быть альтернативой обычной системе вода-аммиак-водород.

В работах Sayadi (2013) была представлена имитационная модель HYSYS для водоохлаждаемого ДАО с использованием различных бинарных смесей легких углеводородов в качестве рабочих жидкостей и гелия в качестве инертного газа. Предполагается, что нагрев генератора обеспечивается вакуумиро-

ванными трубчатыми солнечными коллекторами. Наиболее подходящей бинарной смесью оказалась ($C_3/n-C_6$) с температурой генератора 126 °С.

Mazouz (2014) экспериментально исследовал абсорбционный холодильник с целью определения его характеристик в различных условиях эксплуатации и создал теоретическую имитационную модель в стационарном режиме для различных конфигураций системы ДАО.

Starace и соавторы (2012, 2015) представили термодинамическую модель и параметрическое исследование цикла ДАО без каких-либо предположений относительно чистоты хладагента. Было обнаружено, что это дает лучшее предположение реальной работы холодильника.

Эрсоз (2015) экспериментально исследовал влияние трех различных по мощности тепловых нагревателей в генераторе (62, 80 и 115 Вт) на энергетические характеристики ДАО.

Большая часть работ по диффузионно-абсорбционным холодильникам, представленных в литературе, включает термодинамическое моделирование, связанное с экспериментальными испытаниями. Однако было проведено недостаточно исследований по теоретическим и практическим исследованиям динамического поведения этого типа машин.

Цель работы состоит в том, чтобы смоделировать динамическое поведение абсорбционно-диффузионного холодильника и методологически исследовать переходное поведение этого типа холодильников. Низкий коэффициент производительности и большое время отклика на термическое воздействие являются одними из проблем этих устройств. Динамическое моделирование может быть полезным при исследовании запуска машины, разработке схем управления и оптимизации конструкции системы для улучшения производительности.

Динамические модели описывают эволюцию во времени или переходное поведение наполнителей системы (запуск, остановка). Они могут быть получены либо теоретическим подходом, основанным на физических законах, либо экспериментальным подходом, основанным на измерениях. Наиболее интуитивным подходом к моделированию системы, пожалуй, является физический подход, называемый моделированием «белого ящика». Для этой цели предполагается, что исследователь имеет подробные знания обо всех процессах, происходящих в системе, и может описать их с помощью соответствующих уравнений и присвоить значения всем параметрам в этих уравнениях. "Черный ящик" или эмпирическое моделирование — это противоположный подход, основанный на наборе методов для моделирования системы без необходимости какого-либо физического анализа. Цель состоит в том, чтобы найти параметры модели, которые наилучшим образом соответствуют измеренным данным. Сочетание моделирования "белого ящика" и "черного ящика" известно как моделирование "серого ящика", метод, при котором разумно сочетаются теоретические и эмпирические знания о системе [3].

Для выражения математической зависимости между входными и выходными величинами исследуемой системы в моделировании "черного ящика" ис-

пользуются различные методы. Метод, основанный на передаточной функции и преобразованиях Лапласа, часто используется, особенно для моделирования испарителей в холодильниках и чиллерах. С. Arera и др. [4] применили этот подход для моделирования испарителя с воздушным охлаждением прямого расширения холодильной установки. В своей статье С. Garcia-Arellano и др. [5] представили реакцию испарителя абсорбционного чиллера на модификацию в массовом расходе хладагента на входе в испаритель. Н. Li и др. [6] применили этот метод для разработки эмпирической динамической модели для развязывающего управления системой охлаждения с регулируемой скоростью вращения. S.E. Flores и др. [7] рассмотрели концепции разработки и проверки моделей "серого ящика" для холодильных установок. Модели также могут быть основаны на более сложных математических алгоритмах, таких как нейронная сеть. Н. Bechtler и др. [8] разработали динамическую нейросетевую модель для прогнозирования производительности пароконденсационных холодильных установок. Анализ и экспериментальное исследование были проведены J. Tian и соавторами [9] для управления холодильной системой. S. Shao и др. [10] смоделировали работу кондиционеров с несколькими разделителями воздуха с помощью нейросетевой модели.

На рисунке 1 представлена схема исследуемого холодильника. При подаче тепла в генератор температура насыщенного раствора повышается до точки кипения и образуются пузырьки паров аммиака. Эти пузырьки при подъеме по трубке увлекают за собой насыщенный раствор вверх. На выходе из насоса жидкий раствор под действием силы тяжести стекает в котел, а пары продолжают свой путь в ректификационный аппарат с воздушным охлаждением, где происходит частичная конденсация.

Построение обобщенной модели «черного ящика» для эксперимента предусматривает зависимость между параметрами K_p (статический коэффициент усиления), T_d (временная задержка в секундах), T_r (постоянная времени в секундах). Все три параметра модели напрямую зависят от входной электрической мощности. Соотношения представлены в таблице 1.

Таблица 1- Параметры модели и показатели производительности для различных по мощности источников электроэнергии

W_{elec} (Вт)	K_p	T_r (сек)	T_d (сек)	%
14	0,31062	36633	3014	97
18	0,24839	2362	2135	96
26	0,16288	1702	1970	95
34	0,11967	1518	1633	96
41	0,10474	1600	1538	95
47	0,079914	1660	1215	94
56	0,073451	1886	1251	94
63	0,054839	1766	1009	94,5
86	0,037047	1552	888	96,5

Характеристики получаемых аппроксимированных кривых соответствуют следующим значениям модели

$$K_p = -0,01416 + \frac{4,614}{W_{elec}} \quad (1)$$

$$T_d = 594,885 + \frac{32537,956}{W_{elec}} \quad (2)$$

$$T_p = 1658,822 + 83705,261 e^{-\frac{W_{elec}}{3.7395}} \quad (3)$$

Когда эти выражения включены в функцию e , получается обобщенная модель холодильника, которая предсказывает мгновенное изменение холодопроизводительности для каждой электрической мощности, подаваемой на генератор в исследуемом диапазоне. Передаточная функция машины становится

$$G_r(s) = \frac{K_p(W_{elec})}{1+T_p(W_{elec})s} e^{-T_d(W_{elec})s} \quad (4)$$

Полученная зависимость показывает прогнозируемую реакцию машины в сравнении с данными, полученными с помощью двух подходов: относительной модели, не включающей функции и обобщенной модели. Из полученной модели можно сделать вывод о том, что качество прогнозирования общей модели для различных энергозатрат менее точно, чем прогноз, полученный с помощью индивидуальной модели. Суммарное отклонение по результатам испытаний составляет от 78,5% до 94,7%.

Таким образом, данная модель удовлетворительным образом описывает динамику машины. Однако из таблицы 2 видно, что характеристики стационарного режима характеристики холодильника прогнозируются довольно хорошо, при этом погрешности в холодопроизводительности в худшем случае не превышают 8%.

Таблица 2- Относительная погрешность моделирования холодопроизводительности в установившемся режиме

W_{elec} (Вт)	Q_{fw} (Вт)	Q_f (Вт)	Ошибка %
14	4,349	4,416	1,5
18	4,471	4,359	2,5
26	4,235	4,246	0,3
34	4,069	4,133	1,6
41	4,294	4,033	6,1
47	3,756	3,948	5,1
56	4,113	3,821	7,1
63	3,455	3,722	7,7
86	3,186	3,396	6,6

где Q_{fv} скорость теплопередачи для относительной модели в стационарном режиме; Q_f скорость теплопередачи для обобщенной модели в стационарном режиме

В данной статье нами представлены и обсуждаются испытания нестационарного состояния и моделирование диффузионно-абсорбционного холодильника. Для описания взаимосвязи между входом и выходом машины в режиме запуска принят подход модели черного ящика. Установлено, что передаточная функция первого порядка с задержкой достаточна для всех рассматриваемых тепловых вводов в генератор. Затем предлагается обобщенная модель, выражающая различные параметры модели как функцию входной электрической мощности.

Список литературы

1. Сравнительный анализ целесообразности применения тепловых и электрических холодильников / В. Ю. Соколов, В. А. Шахов, А. П. Козловцев [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1(105). – С. 128-135. – EDN RSAZAH.
2. Абсорбционные холодильные системы для охлаждения молока / А. П. Козловцев, В. Ю. Соколов, В. А. Шахов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 4(102). – С. 186-193. – DOI 10.37670/2073-0853-2023-102-4-186-193. – EDN CLIUVJ.
3. M. Kundsén. Experimental modeling of dynamic systems. Department of control engineering, Aalborg University, 2004
4. C. Apera, C. Renno. Experimental analysis of a transfer function for an air cooled evaporator. Applied Thermal Engineering, Vol. 21, 481-493, 2001.
5. C. Garcia-Arellano, O. Garcia-Valladares, V.H. Gomez. Experimental analysis of a transfer function for the transient response of an evaporator in absorption refrigeration GAX system. Applied Thermal Engineering, Vol. 30, 2026-2033, 2010.
6. H. Li, S. K. Jeong, J. I. Yoon, S. S. You. An empirical model for independent control of variable speed refrigeration system. Applied Thermal Engineering, Vol 28, 1918-1924, 2008.
7. S. E. Flores, I. Merts, B. De Ketelaere, J. Lammertyn. Development and validation of "grey-box" models for refrigeration applications: a review of key concepts. International Journal of Refrigeration, Vol. 29, 931-946, 2006.
8. H. Bechtler, M. W. Browne, P. K. Bansal, V. Kecman. New approach to dynamic modelling of vapour-compression liquid chillers : artificial neural networks. Applied Thermal Engineering, Vol. 21, 941-953, 2001.
9. J. Tian, Q. Feng, R. Zhu. Analysis and experimental study of MIMO control in refrigeration system. Energy Conversion & Management, Vol. 49, 93-939, 2008.
10. S. Shao, H. Xu, C. Tian. Dynamic simulation of multi-unit air conditioners based on two-phase fluid network model. Applied Thermal Engineering, Vol. 40, 78-388, 2012

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ НАСОСНОЙ АККУМУЛИРУЮЩИХ БАКОВ В ПРОГРАММЕ СТАРТ-ПРОФ

Соколов В.Ю.¹, канд. техн., доцент, **Петрова Ю.А.**¹,
Козловцев А.П.², д-р техн. наук, профессор

¹**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«Оренбургский государственный университет»»,

²**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«Оренбургский государственный аграрный университет»

Для выполнения прочностного расчета системы создается ее расчетная модель. Расчетная модель – идеализированная схема конструкции трубопровода. Для одной и той же обвязки можно создать несколько различных расчетных моделей в зависимости от того, какие именно элементы системы больше интересуют проектировщика. Например, окончание трубы в месте прохождения границы проектирования можно задать мертвой опорой, которая исключает абсолютно все перемещения, или направляющей двухсторонней опорой (как в нашем случае), что уменьшит запас прочности расчетной модели.

Составление расчетной модели – сложная задача, требующая от исполнителя определенных знаний и опыта. Иногда приходится моделировать некоторые крепления или воздействия упрощенно, так как не для всех реальных ситуаций есть соответствующие элементы в программе. Это касается, например, подпятника (опора под отвод) или теплоспутника, который задается распределённым весовым воздействием на основном трубопроводе.

Всю информацию о расчетной модели трубопровода условно можно разделить на три части:

1. Информация о параметрах самого расчета, задается в общих данных.
2. Информация о геометрии свойствах всех участков и узловых элементов трубопровода.
3. Информация о внешних воздействиях. Задается в общих данных, свойствах участков и свойствах узловых элементов. Отдельно задаются смещения опор, узловые деформации и температурная история.

При создании новой модели открывается окно общих данных.

Здесь можно внести наименование объекта проектирования и дату создания.

Далее необходимо выбрать нормативный документ, по которому будет проводиться прочностной расчет. Для выбора доступны российские, белорусские и китайские стандарты, международные стандарты ISO, стандарты США ASME, европейские стандарты EN. В соответствии с категорией трубопроводов в данной работе воспользуемся нормативом ГОСТ 32388-2013 «Технологические трубопроводы» (Россия).

Коэффициент перегрузки зададим 1,4, так как расчет трубопровода будет

вестись без существенных упрощений. То есть имитационная модель будет содержать все необходимое оборудование, опоры, все существующие ответвления.

Параметры системы включают в себя температуру монтажа и расчетный срок службы трубопровода. Выбранная температура монтажа в дальнейшем указывается на листе общих данных проекта. Чем выше заданное значение, тем меньше температурный перепад между монтажным и рабочим состояниями системы. Соответственно, становятся меньше температурные расширения трубопровода:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где α – коэффициент линейного температурного расширения;

L – начальная длина;

ΔT – перепад температур.

В данной модели зададимся температурой монтажа 20°C , так как работы будут производиться в помещении. Расчетный срок службы трубопровода зависит от особенностей технологического процесса. Примем его 20 лет [1].

В следующих полях вводятся параметры испытаний трубопровода. Проектируемая система предполагает проведение гидравлических испытаний, поэтому выбираем испытания водой. Температура гидравлических испытаний может быть принята в пределах от 5 до 40°C , если в инструкции по эксплуатации оборудования не указано конкретное значение [2]. Принимает температуру 5°C .

Дополнительные вкладки «Сеймика», «Ветер, снег, лед» окна общих данных позволяют моделировать влияние внешних погодных условий. При расположении трубопровода на улице необходимо задавать снеговой и ветровой районы площадки строительства по [3], определять положение системы относительно преобладающего направления ветра.

После задания параметров расчета в окне общих данных можно переходить к геометрическому построению имитационной модели. Начнем с задания участков труб. Один участок ограничен по краям двумя узлами. В узлах могут находиться отводы, переходы, оборудование или арматура. Чтобы задать участок, необходимо выбрать в модели номер узла, из которого начнется построение, и выбрать соответствующую команду. Откроется окно создания нового элемента (рисунок 1).

В появившемся окне необходимо задать номера узлов, ограничивающих участок трубопровода. По умолчанию программа предлагает новый конечный узел с номером, отличающимся от последнего созданного на единицу. Можно ввести уже существующие номера. Тогда участок построится между ними.

Рисунок 1- Определение узлов участка трубопровода

Далее открывается окно свойств участка трубопровода (рисунок 2). Задаются размеры участка. Для этого могут быть выбраны несколько способов. Мы воспользуемся проекциями на глобальные оси координат. Также доступны сферическая и цилиндрическая системы координат. Для сферы задается длина участка L и углы между осью участка и глобальными осями координат. Для цилиндра – проекция на плоскость XOY , проекция на ось Z и углы между осью участка и осями X и Y .

Кроме геометрических размеров необходимо определить параметры участка трубопровода. В поля «наружный диаметр трубопровода» и «номинальная толщина стенки» внесем соответствующие значения. Технологическое утонение трубопровода определяется по техническим условиям и стандартам. Прибавка на коррозию выбирается также по нормативным документам, например по [4]. Она зависит от скорости коррозии и расчетного срока службы трубопровода. Так, для стойких к перекачиваемой среде сталей скорость коррозии принимается $0,1$ мм/год. Соответственно, при сроке эксплуатации 20 лет прибавка на коррозию должна составлять не менее 2 мм. Для увеличения запаса прочности трубопровода зададим значение 4 мм. В проектируемой насосной будем применять электросварные трубы из стали 20. Внесем соответствующие данные в поля «Материал» и «Технология изготовления». Можно избежать ручного ввода технологического утонения, воспользовавшись встроенной библиотекой программы. Для этого после ввода диаметра и толщины стенки кликаем по иконке рядом с ними. Открывается окно базы данных. Здесь из выпадающих списков выбираем необходимые параметры участка трубопровода.

Далее необходимо задать воздействия. Под ними подразумеваются рабочее давление и температура, а также давление гидравлических испытаний. По условиям технологического процесса давление равно $2,5$ кгс/см² (0,25 МПа), рабочая температура 70°C . Также вносим давление гидравлических испытаний.

Далее зададим параметры для определения веса одного погонного метра участка. Выбрав «Авто вес трубы» и «Авто вес изоляции» мы позволяем программе автоматически рассчитывать соответствующие значения. Погонный вес трубы вычисляется по наружному диаметру, толщине стенки и материалу изготовления. Автоматический расчет веса изоляции производится при задании ее параметров в дополнительном окне (рисунок 2). Внесем значения, соответствующие изоляции из матов прошивных безобкладочных из базальтового во-

локна толщиной 50 мм. Кожух (покровной слой) – тонколистовая оцинкованная сталь.

Рисунок 21 - Окно свойств участка трубопровода

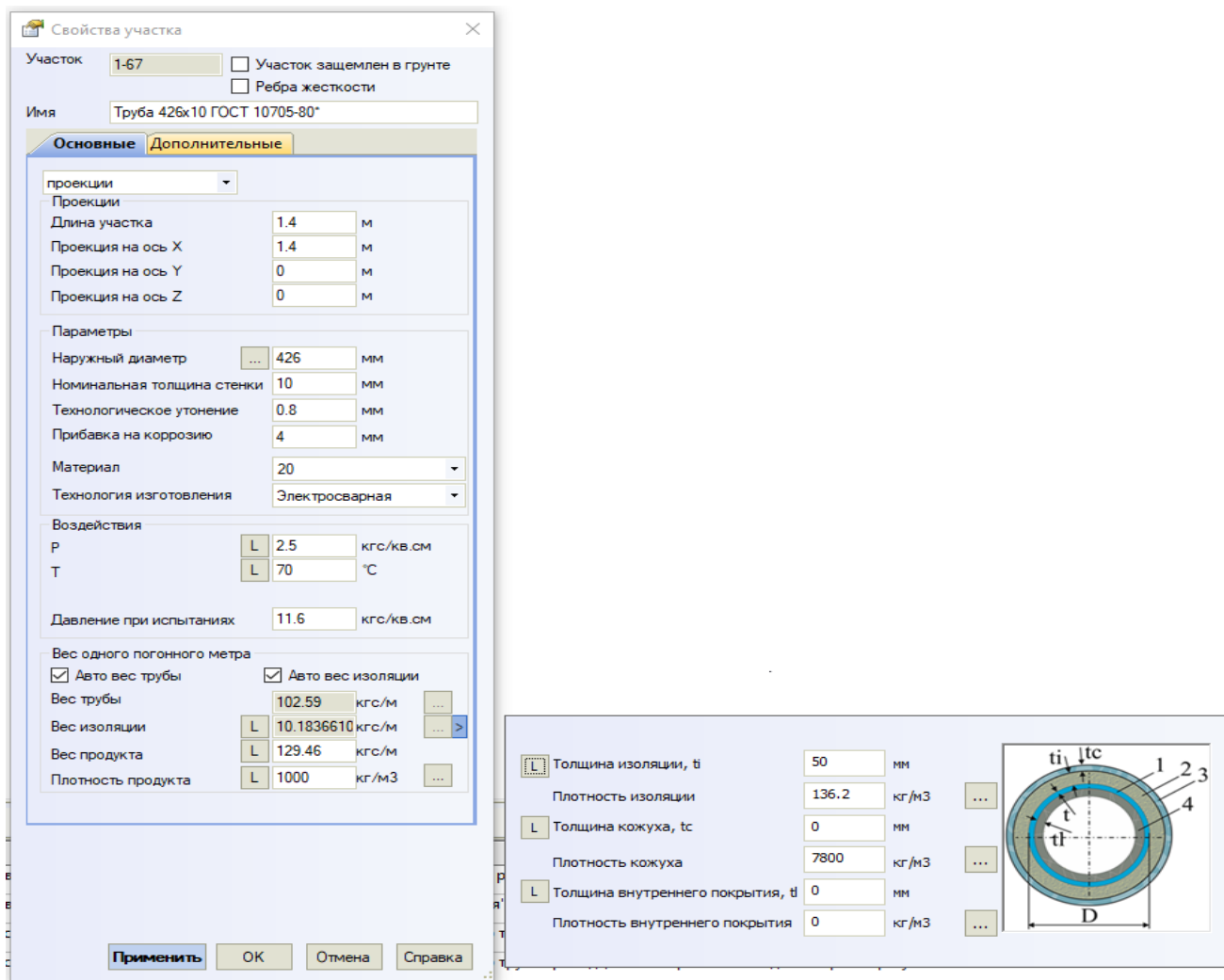


Рисунок 2 - Задание параметров изоляции

Открывается окно свойств узлового элемента. В окнах «Материал» и «Технология изготовления» указываем соответствующие параметры отвода – сталь 20, электросварной элемент.

Поставим галочки для позиций «Вычислять вес отвода автоматически» и «Вычислять угол автоматически» для активации этих функций. Так как в нашем случае все отводы будут представлять собой стандартные элементы, нет необходимости задавать вес и угол вручную.

Поле «Наличие фланцев на концах отвода» позволяет моделировать гуммированные элементы, каждый из которых соединяется с соседними посредством фланцев. Такие изделия применяются для транспортировки агрессивных веществ, таких как серная или соляная кислоты. Для нашей имитационной модели в поле ставим значение «нет».

Далее зададим необходимую номинальную толщину стенки. В данном случае принимаем 10 мм. Прибавку на коррозию определяем аналогично участку трубопровода.

Диаметр отвода автоматически считывается с участка трубы, на котором он находится. Так, если вставлять элемент в узел между двумя трубопроводами наружным диаметром 426 мм, это значение перенесется в его свойства.

В фильтрах базы данных уже отображены заданные нами ранее материал и номинальная толщина стенки. Выбирая необходимые значения в фильтрах параметров «Стандарт», «Типоразмер», «Угол», «Радиус», «Масса» формируем нужный узловой элемент. При этом не обязательно задавать все перечисленные свойства. Выбор одного определенного фильтра уже уменьшает общий список элементов. Введя некоторые ключевые параметры, можно из сформированного перечня выбрать подходящий отвод.

Аналогичным образом создаются и другие соединительные элементы. С помощью кнопок панели вызывается окно свойств перехода, тройника, арматуры или фланцевого соединения. Вносятся требуемые данные или используется встроенная база.

Кроме соединительных элементов моделируется оборудование. Этапы создания аналогичны. В рассматриваемой имитационной модели присутствуют только насосы. Для них задается материал изготовления – сталь 20, узлы патрубков всасывания и нагнетания. Также необходимо определить направление вала по отношению к глобальным координатным осям и координаты центра насоса. Тип насоса выбирается по нормативному документу, в соответствии с которым будет проводиться расчет нагрузок на штуцера. В данном случае – тип 6А или 6В по [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Температура агрегата задается по температуре перекачиваемой среды – 70°C.

Еще одним необходимым элементом имитационной модели являются опоры. Программа позволяет создавать скользящие, направляющие, шарнирно-неподвижные, мертвые, катковые опоры. Также доступно моделирование пружинных и жестких подвесок. В проектируемой насосной предполагается использовать только скользящие опоры.

Для наглядности для каждой скользящей опоры будем присваивать имя. Оно будет включать сокращение типа опоры «СО» и ее порядковый номер в модели. Например, первая опора имеет имя «СО-1».

Коэффициент трения 0,3 выставляется программой по умолчанию.

Параметр «Проверять допускаемые нагрузки» активируется, если мы хотим проверить возможность использования уже существующей опоры. При этом должна быть известна ее несущая способность. В данном случае параметр не активен, так как все опоры проектируемые.

По завершении создания модели запускаем ее расчет. Если необходимо оценить напряжения в элементах системы для каждого режима работы, выбираем «Напряжения в трубопроводе». Посмотреть нагрузки на проектируемые опоры и крепления позволяет окно результатов «Нагрузки на крепления». Выяснить, выдерживают ли патрубки насосов внешние воздействия, можно вызовом «Нагрузок на штуцера оборудования». Результат «Перемещения узлов» показывает начальные координаты (монтажное состояние) и конечные (рабочее состояние) каждого узла системы. Также программа выводит их перемещения.

Для оценки моментов и сил, действующих на элементы, можно воспользоваться окном «Внутренние усилия». Отдельно можно отобразить ошибки и предупреждения, выявленные программой в процессе проведения расчета. Для этого активируем соответствующее окно.

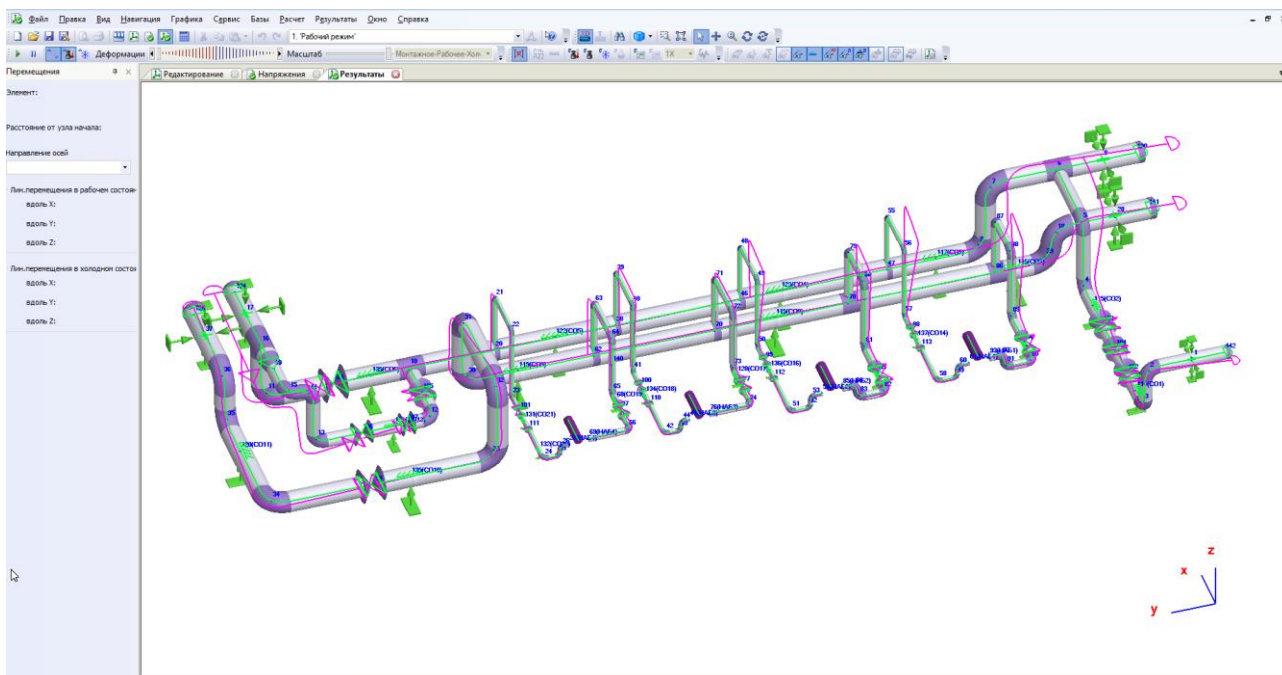


Рисунок 4 - Графическое представление материалов

Все вышеперечисленные результаты выводятся в табличной форме. Если нагрузки на какой-либо элемент превышают допустимые, ячейка с этим значением нагрузки выделяется красным.

Обратим внимание на «Графическое окно результатов». Оно позволяет наглядно увидеть перемещения и деформации участков системы. Для созданной имитационной модели графическое окно результатов приведено на рисунке 4. Здесь фиолетовым цветом показаны оси трубопроводов в рабочем состоянии, зеленым – в монтажном. Визуально можно оценить, на каком участке трубопровода имеют место большие температурные удлинения. Если запустить анимацию, модель будет совершать переход из монтажного состояния в рабочее и обратно. В любой момент с помощью паузы можно остановить перемещение. Функция наблюдения за поведением модели дает возможность принять правильное решение относительно мероприятий, компенсирующих температурные или весовые воздействия. Так, можно оценить направление момента на патрубке насоса и смоделировать необходимую опору, уменьшающую его.

Разработка имитационной модели на этом завершается. По полученным данным проектировщик делает вывод о работоспособности проектируемой насосной.

Список литературы

1 Оценка технических решений при проектировании технологических трубопроводов в нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической и химической

промышленности [Электронный ресурс]. – Главгосэкспертиза России. – Режим доступа: <https://gge.ru/analytics/experts/v-proektnoy-dokumentatsii-na-stroitelstvo-opasnykh-proizvodstvennykh-obektov-neftegazopererabatyvayu/> – 01.04.2024.

2 Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила промышленной безопасности при использовании оборудования, работающего под избыточным давлением": ФНП №536: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 15.12.2020: ввод в действие с 01.01.2021. – Москва: Фед. служба по эк., техн. и атомн. надзору, 2020. – 369 с.

3 СП 131.13330.2020. Строительная климатология. – Введ. 2021-06-25. – Москва: Минстрой России, 2020. – 153 с.

4 РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. – Введ. 2001-09-01. – Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. – 344 с.

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ»

Сорокин В.А.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современная профессиональная подготовка специалистов в области энергетики, автоматики, электропривода не может происходить без применения современных лабораторных стендов и комплексов, позволяющих сформировать у студентов соответствующие профессиональные компетенции. На кафедре автоматизированного электропривода, электромеханики и электротехники оренбургского государственного университета разработан лабораторный комплекс по дисциплине «Программируемые логические контроллеры». Общий вид данного комплекса представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид лабораторного комплекса

Ядром данного комплекса является программируемый логический контроллер «ОВЕН ПЛК 160» (позиция 6). Контроллер дополнен дополнительными модулями дискретного ввода/вывода информации производства фирмы

«ОВЕН» (позиция 7). Для отображения информации, а также возможного управления моделями технологических процессов в комплексе используется сенсорная операторная панель «СП-310Р» (позиция 3). Ввод напряжения питания комплекса осуществляется посредством включения автоматических выключателей (позиция 4). Подача входных дискретных сигналов напряжением 24 В на входа ПЛК осуществляется посредством включения переключателей (позиция 1), а аналоговых сигналов 0...10 В или 4...20 мА посредством модуля задания аналоговых сигналов (позиция 2). По заданию к лабораторным работам также могут на дискретные входа подключаться бесконтактные датчики (позиция 10).

Посредством выходов ПЛК или модуля вывода дискретной информации можно управлять включением/отключением светодиодных сигнализаторов (позиция 9), дискретным управлением преобразователем частоты (позиция 11) или реверсивным контактором через промежуточные реле (позиция 12). Выводы преобразователя частоты и реверсивного контактора выведены на клеммник 13, к которому подключен асинхронный двигатель, расположенный на нижнем ярусе лабораторного комплекса (рисунок 2).



Рисунок 2 – Нижний ярус лабораторного комплекса

Подключение различных комбинаций задающих и управляющих электрических цепей непосредственно к ПЛК и модулям ввода/вывода информации осуществляется самим студентом через клеммники 5,8. Таким образом в про-

цессе обучения программированию ПЛК студенты приобретают навык чтения схем электрических принципиальных, а также навык сборки электрических схем к различным входам/выходам ПЛК и другого электротехнического оборудования.

Еще одной отличительной особенностью данного лабораторного комплекса является возможность использования на нем других ПЛК. Это позволяет увеличить количество выполняемых лабораторных работ на данном оборудовании, в том числе изучение сетевого взаимодействия оборудования автоматике различных фирм производителей. На рисунке 3 показан вид лабораторного комплекса при использовании ПЛК «Delta EX2».



Рисунок 3 – Вид лабораторного комплекса при использовании ПЛК «Delta EX2»

ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

**Шиллерт Д.М., Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

Повсеместное использование ПО обусловлено актуальностью систем автоматизации расчетов математических операций, соответственно, их широким применением в программах обучения студентов, что значительно повышает скорость и эффективность учебного процесса в области электротехнических дисциплин. В данном материале рассматривается вопрос применения ПО для имитационного моделирования электромеханических систем в теории и на практике.

Для закрепления теоретических знаний, приобретенных на занятиях в университете, а также для более глубокого усвоения материалов, касающихся моделирования электрических систем, активно используются различные программные продукты. К числу наиболее популярных относятся такие платформы, как MATLAB, NI Multisim, SimInTech и Electronics Workbench. Каждое из этих приложений обладает своими особыми функциями и достоинствами, что делает их полезными как для студентов, так и для профессионалов в области электроники и электротехники.

MATLAB, к примеру, представляет собой одну из самых ранних и тщательно разработанных систем для автоматизации математических расчетов. Она была создана для работы с матрицами, что отражено в ее названии – MATrix LABoratory, что означает «матричная лаборатория». Тем не менее, синтаксис MATLAB продуман таким образом, что даже те, кто не занимается матричными вычислениями, могут легко использовать его для решения различных задач, включая обработку данных, визуализацию и моделирование. Доступные дополнительные инструменты и библиотеки, такие как Simulink, позволяют моделировать динамические системы, что делает MATLAB незаменимым в учебном и исследовательском процессе [1].

Наиболее широкий функционал для изучения электрической системы имеет программа MATLAB, в которую входит большой пакет прикладных программ, в частности Simulink. Ресурсы данной среды позволяют рассмотреть как работу простой электрической схемы, так и систему управления электроприводом. Встроенная библиотека имеет большое количество инструментов для моделирования от источников питания до электродвигателей. Представлена на рисунке 1.

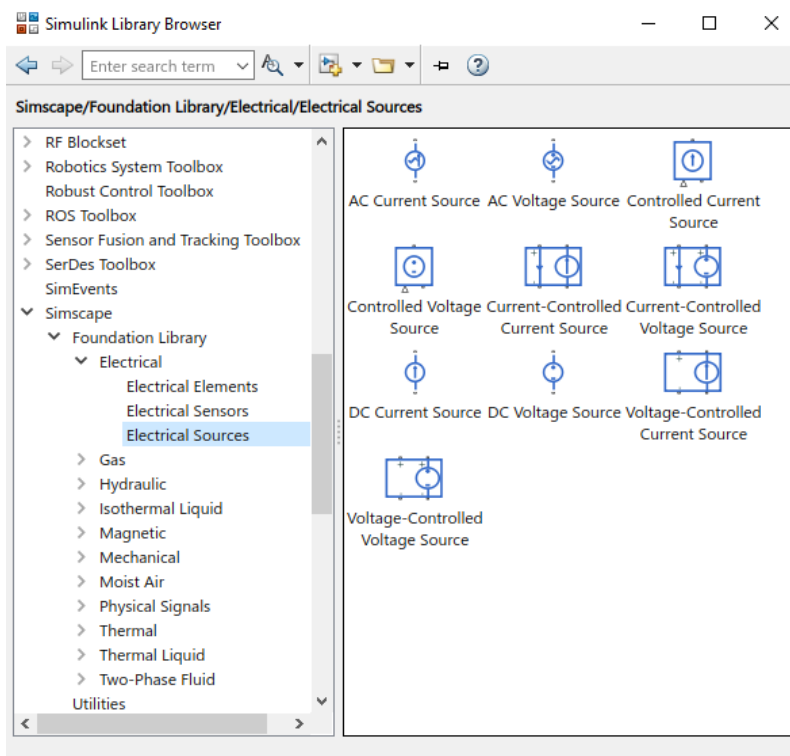


Рисунок 1 – Библиотека Simulink

С помощью инструментов библиотеки и рассчитанных параметров с наблюдением системы, была собрана имитационная модель двухзонного регулирования системы управления Тиристорный преобразователь – Двигатель постоянного тока. Блоки “Tir Rev Vpr”, моделируют работу реверсивного тиристорного трехфазного мостового выпрямителя с системой импульсно-фазового управления. Итоговый вид системы представлен на рисунке 2.

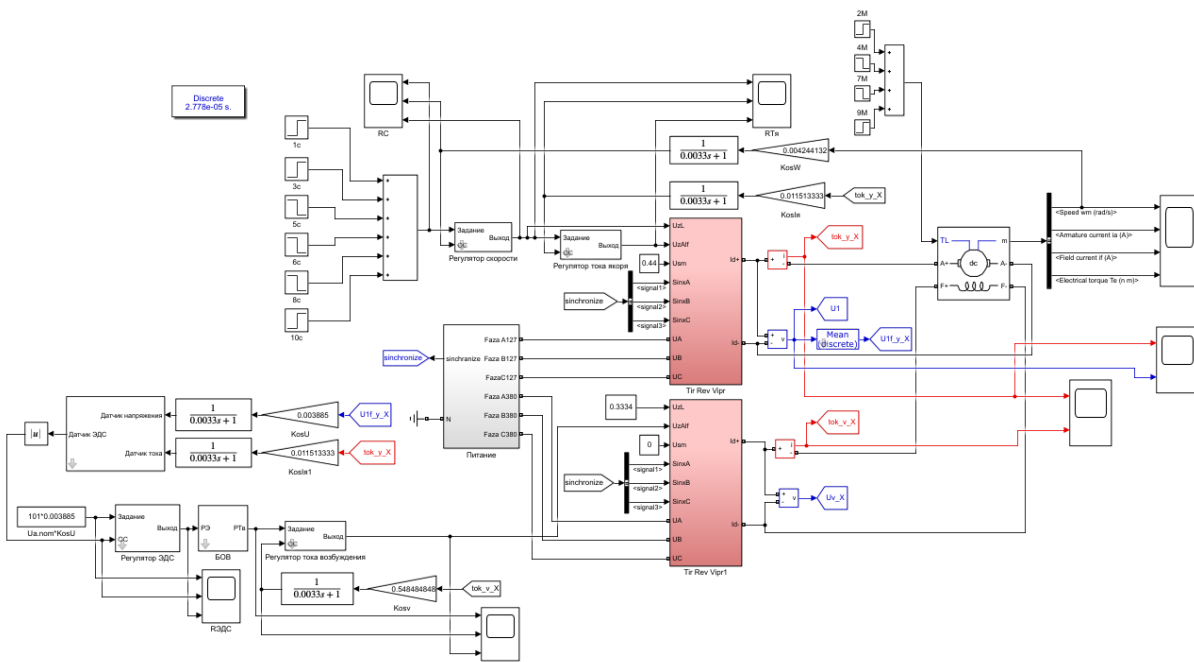


Рисунок 2 – Система управления ТП-ДПТ

Двигатель подключается к 3-фазной сети питания 380 В, 50 Гц. Якорная обмотка получает питание от трансформатора 380/127 В. Блок синхронизации подключен напрямую в сеть на напряжение 380 В, 50 Гц. Все элементы питания в результате были собраны в подсистему “Питание”. Собранное подключение изображено на рисунке 3.

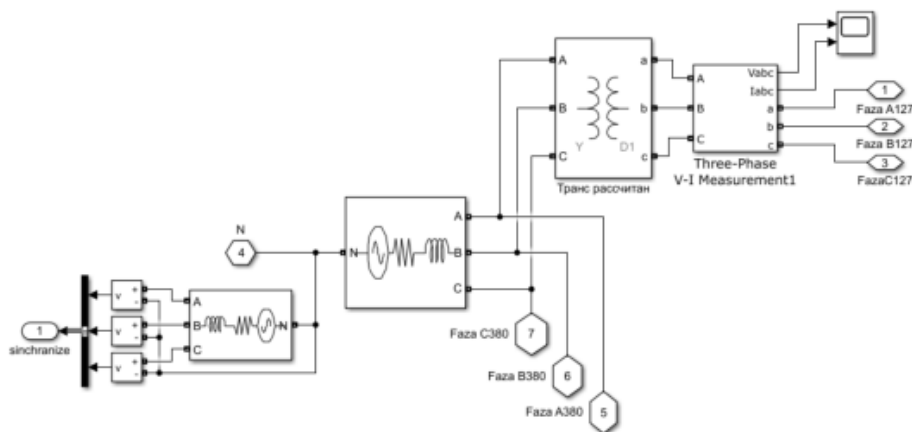


Рисунок 3 – Блок “Сеть”

После необходимого расчета составляющих и внесения необходимых параметров в рамках исследования параметров элементов электрической системы было осуществлено моделирование, в результате которого были получены ключевые электромеханические характеристики работы электропривода [2]. Среди них: скорость вращения вала, ток якоря, ток возбуждения и момент на валу двигателя. Результаты представлены в виде осциллограмм на рисунке 4.

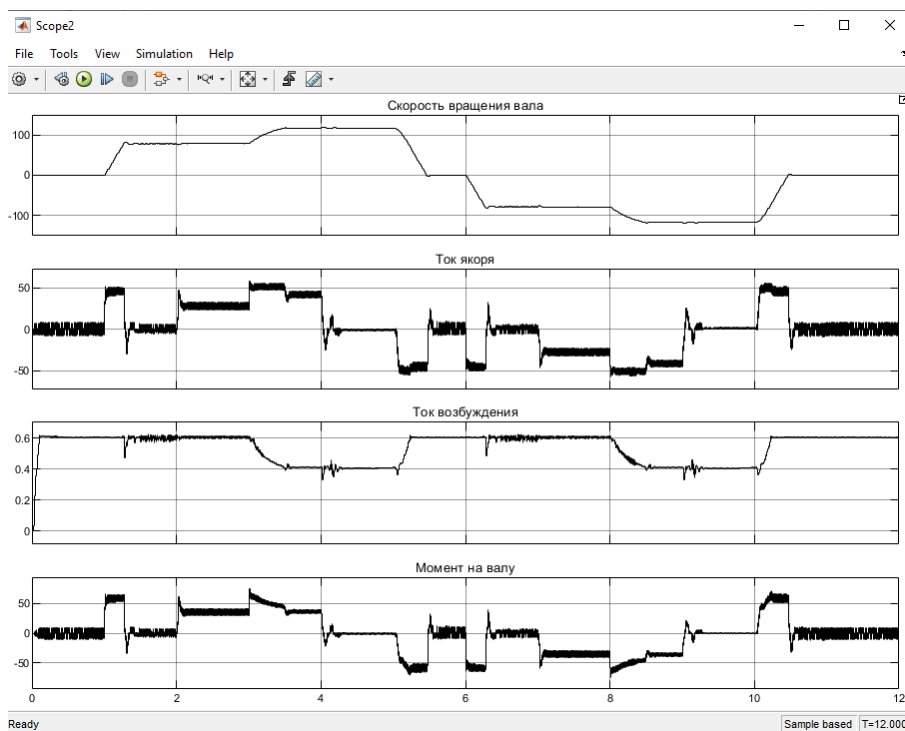


Рисунок 4 – Осциллограммы работы электропривода

Результатом использования данного программного обеспечения и его моделирования стало углубление теоретических знаний через имитацию работы системы. Наглядно была продемонстрирована функция системы управления ТП-ДПТ с двузонным регулированием. При переходе на вторую зону, когда скорость вращения увеличилась на 50% от номинала, наблюдалось снижение тока возбуждения, что служит подтверждением теоретических данных.

Применение имитационного моделирования позволило не только протестировать теоретические концепции, но и выявить скрытые зависимости, которые в реальных условиях могли бы остаться незамеченными. Такие аспекты, как взаимодействие различных составляющих системы и влияние внешних факторов на ее работу, стали более очевидными. Это открывает путь к разработке более совершенных алгоритмов управления.

В данной статье был рассмотрен конкретный вариант использования программы MATLAB для моделирования системы управления, методика работы с другими электрическими системами будет осуществляться по схожему принципу.

Список литературы

1. Н.М. Марченко; Дальневосточный федеральный университет, Инженерная школа. – Электрон. дан. – Владивосток: Издательский дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013. – 34 с.
2. Э.Л. Греков, А.С. Безгин. Имитационное моделирование частотно–регулируемых электроприводов: учебное пособие / Э. Л. Греков, А. С. Безгин; Оренбургский гос. ун–т. – Оренбург: ОГУ, 2022. – 139 с. ISBN

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

**Шинкарев В.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук,
Семенова Н.Г., канд. техн. наук, д-р пед. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»**

На сегодняшний день перед инженерами ставится задача повышения коэффициента полезного действия энергетических установок, с целью получения максимальной эффективности для получения конечного продукта, а также снижение затрат на используемое топливо для получения энергии. Такая тенденция остается актуальной в виду того, что на любом предприятии с экономической точки зрения пытаются получить максимум эффективности, при этом затрачивая меньшее количество ресурсов для получения конечного результата.

За последние 15-20 лет в большинстве промышленно развитых стран созданы и внедрены достаточно совершенные установки для преобразования энергии органического топлива в электрическую энергию и тепловую. Дальнейшее повышение технико-экономических показателей таких установок требует поиска новых методов, применение которых позволило бы существенно повысить технико-экономические показатели работы энергетического оборудования и одновременно улучшить его экологические показатели.

Основываясь на описанной выше проблеме, можно сказать о необходимости модернизации существующего энергооборудования или поиске совершенно новых источников генерации электрической и тепловой энергии. В данной работе был произведен анализ научно-технической литературы в области эффективности энергоснабжения удаленных потребителей. Рассмотрены и проанализированы 4 группы методик энергоснабжения конечных потребителей. Рассмотрим подробно каждую группу.

К первой группе относится традиционная система энергоснабжения с применением тепловых электростанций (ТЭС). Главная проблема большинства ТЭС – устаревшее оборудование и инфраструктура станции. На некоторых электростанциях износ основных фондов достигает порядка 60%, что свидетельствует о необходимости модернизации оборудования и тепловых сетей.

В ЕЭС Российской Федерации преобладающее число электрических станций – тепловые электростанции, которые в свою очередь делятся на:

- Конденсационные электрические станции (КЭС/ГРЭС) – в них пар, полученный от сжигания топлива (уголь, газ, мазут и тд.) поступает в турбину генератора для выработки только электрической энергии;
- Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) – в них выработка электрической энергии осуществляется аналогичным образом, однако после прохождения

нагретого пара через турбину, его энтальпия остаётся существенной для того, чтобы использовать остаточное тепло на нагрев теплоносителя, который является источником тепла в городских системах отопления и горячего водоснабжения.

К достоинствам данного метода можно отнести следующие факторы:

1. Относительно невысокая стоимость топлива, на котором будут работать котлы на генерирующей станции;
2. Меньшие капиталовложениями в сравнении с другими типами электростанций;
3. Месторасположение строительства станции не зависит от наличия в этом районе топлива.

К недостаткам данного метода относятся:

1. Нарушение экологического равновесия и загрязнение атмосферы;
2. При отсутствии топливных ресурсов необходимо транспортировать к месту расположения электростанции железнодорожным или автомобильным транспортом;
3. Занимает достаточно большую площадь;
4. Отсутствует оборудование для производства холодной энергии.

Ко второму типу генерации можно отнести электростанции, работающие на возобновляемых источниках энергии, таких как: солнце и ветер. Увеличение числа солнечных электростанций в тех регионах, где коэффициент солнечной инсоляции достигает высоких значений, позволит сократить негативное влияние углекислого газа в атмосферу от тепловых электростанций.

При генерации электроэнергии за счёт солнечных фотоэлементов возникает избыточное тепло, которое можно использовать в качестве отопления или горячего водоснабжения для рядом находящихся потребителей. Избыточное тепло снижает эффективность работы фотоэлектрических элементов. Для максимальной генерации электроэнергии необходимо отводить тепло с поверхности солнечных панелей. Для этих целей применяют гибридные солнечные коллекторы, которые за счёт своей конструкции вырабатывают электрическую энергию, а также нагревают теплоноситель системы отопления за счёт избыточного тепла с поверхности солнечных панелей. Таким образом, происходит выработка электрической и тепловой энергии.

К достоинствам данного метода можно отнести следующие факторы:

1. Экологически чистый источник электрической и тепловой энергии;
2. Наличие комбинированного источника для производства электрической и тепловой энергии;
3. Подходит для энергоснабжения удаленных и маломощных потребителей.

К недостаткам данного метода относятся:

1. Дорогой способ генерации электрической и тепловой энергии;

2. Сравнительно небольшой объем вырабатываемой электро- и теплоэнергии одной установкой

3. Высокая стоимость и большая площадь размещения для выработки мощности, сравнимой с мощностью ТЭЦ.

К третьему методу относится технология по комбинированному производству электрической и тепловой энергии (когенерация). Применение когенерационного агрегата позволит повысить эффективность выработки электрической и тепловой энергии и снизить количество затрачиваемых ресурсов на генерацию обоих видов энергии отдельным путём. КПД когенерационных установок значительно выше в сравнении с традиционным способом генерации электрической и тепловой энергии по отдельности на ТЭС.

К достоинствам данного метода можно отнести следующие факторы:

1. Более экономичное и рациональное использование топливных ресурсов;

2. Повышение энергетической эффективности тепловых электростанций (КЭС и ТЭЦ);

3. Снижение затрат на передачу энергии, за счет близкого размещения к потребителям;

4. Возможность работы на биотопливе местного происхождения;

5. Сокращение выбросов парниковых и токсичных газов.

К недостаткам данного метода относятся:

1. Снижение надёжности за счёт внедрения двух энергетических установок в одну;

2. Сложность технического обслуживания установок.

К четвертому методу генерации относится наиболее энергоэффективная технология по генерации электрической и тепловой энергии, а также энергии холода. Данный метод называется тригенерация. Одним из видов тригенерационной установки является детандер-генераторный агрегат (ДГА). Принцип его работы основан на применении на станциях технологического понижения давления газа в системах газоснабжения, на предприятиях, использующих в качестве топлива природный газ, детандер-генераторных агрегатов (ДГА), высокая энергетическая эффективность которых нашла практическое подтверждение.

Детандер-генераторные агрегаты могут использоваться в газовой промышленности на газораспределительных станциях (ГРС), а также на компрессорных станциях (КС), в газорегуляторных пунктах (ГРП) всех промышленных предприятий - крупных потребителей газа. В связи с исторически сложившейся высокой степенью газификации промышленного и энергетического производства в России потенциал энергосбережения при внедрении ДГА достаточно высок.

К достоинствам данного метода можно отнести следующие факторы:

1. Экономия топлива;

2. Повышение надежности энергоснабжения;

3. Возможность получения энергии холода на объектах, изначально не относящихся к объектам генерации электроэнергии и холода (например, металлургические комбинаты, газораспределительные станции и т.п.)

4. Снижение затрат на передачу энергии, за счёт близкого размещения с основными потребителями;

5. Возможность работы на биотопливе местного происхождения;

6. Сокращение выбросов парниковых и токсичных газов.;

К недостаткам данного метода относятся:

1. Снижение надежности работы энергетических котлов из-за наличия отрицательных температур природного газа в трубопроводе его подачи к ним;

2. Снижение экономичности энергетических котлов из-за сниженных значений энтальпии природного газа после ДГА по сравнению со значениями энтальпии после ГРП.

В результате работы по поиску и изучению информации, по выбранной теме научной статьи, составляем сравнительную таблицу, в которой описываем достоинства и недостатки рассмотренных методов по генерации электрической и тепловой энергии.

В таблице 1 представлены достоинства и недостатки каждого метода.

Таблица 1 - Достоинства и недостатки различных комбинированных методов энергоснабжения потребителей

№	Методы комбинированного энергоснабжения потребителей	Достоинства	Недостатки	Литература
1.	Традиционная система электро- и теплоснабжения (Выработка электрической энергии на КЭС или выработка электрической и тепловой энергии на ТЭЦ) с применением невозобновляемых источников энергии (природный	<ul style="list-style-type: none"> Используемое топливо достаточно дешево Меньшие капиталовложения по сравнению с другими электростанциями Могут быть построены в любом месте независимо от наличия топлива. 	<ul style="list-style-type: none"> Нарушение экологического равновесия и загрязнение атмосферы При отсутствии топливных ресурсов необходимо транспортировать к месту расположения электростанции железнодорожным или автомобильным транспортом Занимает достаточно большую площадь; Отсутствие уста- 	

	газ)		новки, производящей холодovou энергию.	
2.	Применение возобновляемых источников энергии (солнечные электростанции и солнечные коллекторы)	<ul style="list-style-type: none"> • Экологически чистый источник электрической и тепловой энергии • Наличие комбинированного источника для производства электрической и тепловой энергии • Подходит для энергообеспечения удаленных и маломощных потребителей 	<ul style="list-style-type: none"> • Дорогой способ генерации электрической и тепловой энергии; • Сравнительно небольшой объем вырабатываемой электро- и тепловой энергии одной установкой • Высокая стоимость и большая площадь размещения для выработки мощности, сравнимой с мощностью ТЭЦ 	Щукина Т.В., Гарханов А.К., Чудинов Д.М.
3.	Применение когенеративных установок для электро- и теплоснабжения (Когенерация)	<ul style="list-style-type: none"> • Более экономичное и рациональное использование топливных ресурсов; • Повышение энергетической эффективности тепловых электростанций (КЭС и ТЭЦ); • Снижение затрат на передачу энергии, за счет близкого размещения к потребителям; • возможность работы на биотопливе местного происхождения; • сокращение выбросов парниковых и токсичных газов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение надёжности за счёт внедрения двух энергетических установок в одну; • Сложность технического обслуживания установок. 	
4.	Применение детандер-генераторных агрегатов на ТЭЦ (Тригенерация)	<ul style="list-style-type: none"> • Экономия топлива; • Повышение надёжности энергоснабжения; • Возможность получения энергии холода на объектах, изначально не 	<ul style="list-style-type: none"> • Снижение надёжности работы энергетических котлов из-за наличия отрицательных температур природного 	Куличихин В.В., Тюняев М.В. Последствия внедрения

	<p>относящихся к объектам генерации электроэнергии и холода (например, металлургические комбинаты, газораспределительные станции и т.п.)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Снижение затрат на передачу энергии, за счёт близкого размещения с основными потребителями; • Возможность работы на биотопливе местного происхождения; • Сокращение выбросов парниковых и токсичных газов. 	<p>газа в трубопроводе его подачи к ним;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Снижение экологичности энергетических котлов из-за сниженных значений энтальпии природного газа после ДГА по сравнению со значениями энтальпии после ГРП. 	<p>детандер-генераторных агрегатов в тепловую схему ТЭЦ.</p>
--	---	--	--

В результате анализа научно-технической литературы проблема модернизации и повышения эффективности тепловых электростанций является актуальной на сегодняшний день.

В ходе анализа групп методов по энергоснабжению конечных потребителей было выявлено, что наиболее энергоэффективным является использование тригенерационной установки, вырабатывающей электрическую и тепловую энергию, а также энергию холода.

Список литературы

1. Проект «Цифровая энергетика» от 21.09.2018 [Электронный ресурс] - <https://minenergo.gov.ru/activity/project-activities/projects/departmental-project-digital-energy>;
2. Цифровая трансформация электроэнергетики России [Электронный ресурс] - <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2020/04/strategiya-tsifrovoy-transformatsii-elektroenergetiki.pdf>;
3. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года [Электронный ресурс] - <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>;
4. Гуськов Ю.Л., Кудрявый В.В., Аракелян Э.К., Агабабов В.С. Методика определения термодинамической эффективности включения детандер-генераторного агрегата в тепловую схему ТЭЦ. // Вестник МЭИ, 1996 г., № 2, с. 73-76.
5. Аракелян Э.К., Андриюшин А.В., Агабабов В.С., Гуськов Ю.Л., Кудрявый В.В., Корягин А.В., Степанец А.А. Влияние детандер-генераторных агре-

готов на тепловую экономичность ТЭЦ // Электрические станции, 1997. Спецвыпуск к 110-летию Мосэнерго.

6. Гуськов Ю.Л. Повышение эффективности работы ТЭЦ на основе внедрения детандер-генераторных агрегатов. Автореферат дисс. канд. техн. наук. М., МЭИ, 1997 г.

7. Агабабов В.С. Методика оценки влияния детандер-генераторного агрегата на тепловую экономичность ТЭЦ. Вестник МЭИ, 2002, № 5, с. 48-52.

8. Клименко А.В., Агабабов В.С., Корягин А.В., Байдакова Ю.О. Генерация холода с применением детандер-генераторных агрегатов. // Теплоэнергетика, 2016, № 5, с. 37-44

9. Андрющенко А.И. Термодинамические расчеты оптимальных параметров тепловых электростанций. Москва, Высшая школа, 1963 г.

10. Бродянский В.М., Флештер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. Москва, Энергоатомиздат, 1988 г.

11. Мартынов А.В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. Москва, Энергоатомиздат. 1989 г.

12. Гуськов Ю.Л., Малянов В.В., Давыдов Ю.Я., Агабабов В.С., Корягин А.В. Опыт эксплуатации детандер-генераторного агрегата на ТЭЦ-21 Мосэнерго // Электрические станции, 2003, № 10, с. 15-17.

13. Куличихин В.В., Тюняев М.В. Детандер-генераторные агрегаты в энергетике России. № 4 (35), 2016, с. 62-69.

14. Щукина Т.В., Тарханов А.К., Чудинов Д.М. Комбинированные солнечные модули и надежность систем жизнеобеспечения. Журнал С.О.К №1 выпуск от 2024 г.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА ОТ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Шлейников В.Б., канд. техн. наук, доцент, Иштеряков Р.М.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В условиях растущего потребления энергии и обеспокоенности изменением климата, возобновляемые источники энергии, в частности солнечная энергия, становятся все более важными. Установка солнечных электростанций в индивидуальных жилых домах позволяет снизить зависимость от традиционных источников энергии, уменьшить выбросы парниковых газов и сократить счета за электроэнергию. Однако, для достижения максимальной эффективности и экономической целесообразности, необходима оптимизация всех аспектов системы электроснабжения, от выбора компонентов до управления энергопотреблением. Актуальность темы оптимизации электроснабжения дома от солнечной электростанции обусловлена глобальными вызовами, такими как изменение климата и необходимость перехода к устойчивой энергетике, а также локальными потребностями, связанными с экономией средств, энергетической независимостью и использованием передовых технологий. Оптимизация солнечных систем не только способствует решению этих проблем, но и стимулирует экономическое развитие и технологический прогресс.

Для эффективного применения солнечной электростанции (СЭС) для жилого дома необходимо произвести правильный расчет и выбор генерирующего оборудования.

Очевидно, что полное электроснабжение жилого дома потребует применения более мощной солнечной электростанции, чем частичное. Ввиду высокой стоимости более мощных солнечных установок, целесообразно применять частичное электроснабжение дома и солнечные установки меньшей мощности. В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию индивидуальный пользователь может увеличить мощность солнечной электростанции, приобретая и используя большее количество солнечных панелей.

Эффективность солнечной электростанции (СЭС) для жилого дома определяется рядом ключевых факторов:

- **Инсоляция:** Интенсивность солнечного излучения, падающего на солнечные панели, зависит от географического положения, времени года и погоды. Оптимизация ориентации и угла наклона панелей позволяет максимизировать поглощение солнечного света.
- **Эффективность солнечных панелей:** КПД фотоэлектрических элементов, выраженный в процентах, определяет, сколько солнечной энергии преобразуется в электрическую. Разные типы панелей (монокристаллические, поликри-

сталлические, тонкопленочные) имеют различную эффективность и ценовые характеристики.

- **Эффективность инвертора:** Инвертор преобразует постоянный ток (DC) от солнечных панелей в переменный ток (AC), необходимый для электропитания бытовых приборов. Потери в инверторе влияют на общую эффективность системы.

- **Емкость аккумуляторных батарей:** При использовании автономного или резервного режима, емкость аккумуляторов должна соответствовать потребности в электроэнергии в периоды отсутствия солнечного света. Правильный выбор типа и емкости аккумуляторов влияет на срок их службы и общую стоимость системы.

- **Потребление энергии:** Эффективное управление потреблением энергии в доме, использование энергосберегающих приборов и освещения, а также применение автоматизации и умных технологий, снижают нагрузку на СЭС и повышают ее эффективность.

- **Потери в системе:** Сопротивление проводов, состояние контактов и другие факторы могут приводить к потерям электроэнергии на различных этапах системы.

- **Обслуживание:** Регулярная очистка солнечных панелей, проверка соединений и состояния оборудования, а также своевременная замена изношенных компонентов необходимы для поддержания высокой производительности системы.

Для достижения максимальной эффективности электроснабжения жилого дома от СЭС, необходимо применять комплексный подход, включающий следующие методы:

- **Точный расчет и проектирование системы:**

- **Анализ энергопотребления:** Определение среднесуточного, среднемесячного и годового потребления энергии, включая пиковые нагрузки.

- **Выбор панелей:** Использование высокоэффективных солнечных панелей с учетом местных климатических условий и доступного пространства.

- **Подбор инвертора:** Выбор инвертора с достаточной мощностью и высоким КПД.

- **Расчет емкости аккумуляторов:** Определение оптимальной емкости аккумуляторов для обеспечения автономности и резервного питания.

- **Оптимизация установки:**

- **Правильная ориентация и угол наклона:** Ориентация панелей на юг (в Северном полушарии) и угол наклона, близкий к широте местности, обеспечивают максимальное поглощение солнечного света.

- **Минимизация затенения:** Размещение панелей в местах, где они не будут затенены зданиями, деревьями или другими объектами.

- **Профессиональный монтаж:** Обеспечение качественного монтажа и надежного подключения всех компонентов системы.

- **Энергосбережение:**

- Энергоэффективные приборы: Использование бытовой техники класса энергоэффективности A+++ и светодиодного освещения.
- Утепление дома: Минимизация потерь тепла через стены, окна и крышу.
- Управление энергопотреблением: Использование умных розеток, таймеров и автоматизированных систем для контроля потребления.
- Системы управления энергопотреблением:
 - Умные системы управления: Внедрение систем мониторинга и управления, позволяющих в реальном времени отслеживать производительность системы, потребление энергии и автоматически регулировать нагрузку.
 - Интеграция с "умным домом": Использование технологий "умного дома" для оптимизации энергопотребления и управления электроприборами в зависимости от доступности солнечной энергии.
 - Прогнозирование: Использование алгоритмов прогнозирования для планирования потребления энергии с учетом будущей выработки солнечной энергии.
 - Обслуживание системы:
 - Регулярная чистка панелей: Удаление пыли, грязи и других загрязнений для поддержания максимальной эффективности.
 - Проверка соединений и компонентов: Своевременная замена изношенных деталей и устранение проблем с электрическими соединениями.
 - Мониторинг состояния аккумуляторов: Контроль заряда, состояния и срока службы аккумуляторов.

Предложенные методы оптимизации направлены на максимизацию выработки энергии, минимизацию потерь и снижение потребления. Внедрение умных технологий и автоматизация позволяют более эффективно управлять энергопотреблением и распределением энергии. Однако, необходимо учитывать региональные особенности, климатические условия и финансовые возможности при выборе конкретных методов оптимизации.

На данном этапе, приемлемым объектом исследования оптимизации системы электроснабжения индивидуального жилого дома от солнечной электростанции предлагается система электроснабжения индивидуального жилого дома.

Предмет исследования – система электроснабжения дома от солнечной электростанции.

Цель исследования – Оптимизировать систему электроснабжения индивидуального жилого дома с применением солнечной энергии.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- 1) Анализ научно-технической литературы в области оптимизации системы электроснабжения индивидуального жилого дома с использованием солнечной энергии;
- 2) Разработка структурной схемы системы электроснабжения дома от солнечной электростанции;

3) Расчет и выбор оптимального генерирующего оборудования для системы электроснабжения индивидуального жилого дома на базе солнечной энергетики;

4) Разработка имитационной модели системы электроснабжения жилого дома с применением солнечной генерации на базе MATLAB/Simulink;

5) Сравнение результатов теоретического исследования и имитационного моделирования.

Оптимизация электроснабжения жилого дома от солнечной электростанции является сложной, но важной задачей для обеспечения энергетической независимости, снижения экологического воздействия и экономии затрат. Комплексное применение методов проектирования, установки, энергосбережения и управления энергопотреблением позволяет достичь высокой эффективности и надежности системы. Дальнейшие исследования и разработки в области фотоэлектрических технологий, систем накопления энергии и интеллектуального управления будут способствовать еще большей оптимизации солнечных энергетических систем для жилых зданий.

Список литературы

1. Музалев Р.И., Семенова Н.Г. В сборнике: Энергетика: состояние, проблемы, перспективы. Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции. Оренбург, 2022. С. 459-461.

2. Ставнийчук Д.И., Ади М.Д. В сборнике: Актуальные вопросы современной науки и инноватики. Сборник научных статей по материалам III Международной научно-практической конференции. Уфа, 2023. С. 51-57.

3. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 128с.

4. Способы оптимизации структурно-схемных решений ветро-солнечных электростанций / О.В. Григораш, С.В. Оськин, Е.А. Денисенко, Д.П. Харченко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023.

5. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / Б.В. Лукутин // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187с.