СЕКЦИЯ 9

«НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КЛАССОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ Алексеева В.С., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор 1061

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ Полякова Л.Ю., канд. техн. наук, доцент, Андросов В.И. 1066

ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО - ВОДОРОДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ Барышников И.А., Иванова А.П., д-р техн. наук, профессор 1071

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ Белов И.Ю., Падеев А.С., канд. техн. наук, доцент1079

ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДРОНОВ ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА Бибиков Д.А. 1082

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ПРОГРАММЫ SIMINTECH Бобин К.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент 1087

О РАЗРАБОТКЕ КУРСОВ В MOODLE ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент, Быковский В.В., канд. техн. наук, доцент, Ушакова Н.Ю., канд. техн. наук, доцент 1094

ТРАНСФОРМАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ» Ушакова Н.Ю., канд. техн. наук, доцент, Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент 1098

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВЕННЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ Вагапов Д.Д., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор 1102

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В MATLAB Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Денисов Т.А. 1107

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ Влацкая Л. А., канд. техн. наук, доцент, Гильдебрандт А. А. 1113

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАДВИЖКИ Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент , Безгин А.С. , канд. техн. наук, доцент 1119

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ RIGHTECH IOT CLOUD ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМ ТРЕКЕРОМ Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент , Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент..... 1125

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент , Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент, Малышев Р.О. 1130

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА (АЛГОРИТМА МАМДАНИ) В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ Даныш А.В., Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент 1136

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ БОЛТОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ Косенко А.Д., канд.техн.наук, доцент, Дмитриев А.Д..... 1141

ПРОВЕРКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ КАБЕЛЕЙ 0,4 КВ С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ Валиуллин К.Р., канд.техн.наук, доцент, Ефремова С.А. 1147

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ Дербенева В.А., Иванова А. П. ,д-р техн. наук, профессор 1153

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ Иов К.С., Фролов С.С., канд.техн.наук, доцент, Шатилов Д.А. 1156

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ Кабаева А.А., Семенова Н.Г., д-р пед. наук, профессор, канд. техн. наук 1163

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ Кибец А.С.,Валиуллин К.Р., канд. техн. наук, доцент 1169

МЕТОДОЛОГИЯ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН НАПРАВЛЕНИЯ 13.03.02 Морозов В.А., Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Кильметьева О.И. 1179

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ А710А07 Кирьянов Н.С., Безгин А.С., канд. техн. наук, доцент 1186

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ Клешнев С.А. 1191

РЕГУЛЯТОРЫ НА БАЗЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА Корнев В.А., Сорокин В.А. 1195

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ Корнеев И.П..... 1199

АВТОНОМНЫЙ ГИБРИДНЫЙ ЭНЕРГОКОМПЛЕКС Коротков Н.В., Безгин А.С., канд.техн.наук, доцент 1205

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ YOLOV5 Косенко А.Д., канд. техн. наук, доцент, Величко В.А. 1209

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ Ларькина А.А., Богданов А.В. 1215

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА Лебедьков Р.К., Хаустова Е.В., канд. техн. наук 1224

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ 35/10/0,4 кВ Шлейников В.Б., канд.техн.наук, доцент, Митрофанов Н.С. 1228

РАСЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ Митрофанов С.В., канд.техн.наук доцент, Калашник Н.А. 1232

ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Колбинцев В.Р. 1241

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РОЯ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Темиргалиев Р.Р. 1245

АНАЛИЗ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент, Павлов М.С. 1250

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ОДНОФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК Романенко Д.В., Полуэктов Е.К. 1254

СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ ИЗМЕРИТЕЛЯ АЧХ Сильвашко С.А., канд. техн. наук, доцент 1265

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА Соколов В.Ю., канд. техн. наук, доцент, Соколова Т.Ю., канд. экон.наук, доцент 1270

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Соломко П.А. 1275

О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА Сорокин В.А., Пичугин А.В. 1283

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ Сорокин В.А., Пичугин А.В. 1290

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент, Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент, Стародумов Д.Д. 1296

ВЫБОР МАГНИТОВ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВНЕШНИМ РОТОРОМ Сурков Д.В., канд. техн. наук, Падеев А.С., канд. техн. наук, доцент, Ямансарин И.И. , канд. техн. наук 1301

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ВНЕШНИМ РОТОРОМ Устабаев Д.Б. 1304

АСПЕКТНЫЙ ПОДХОД В СОЗДАНИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОДСТАНЦИИ В СРЕДЕ SIMINTECH. АНАЛИЗ КАЧЕСТВ Валиуллин К.Р., канд. техн. наук, доцент, Шамов И.В., Соколова Т.Ю., канд. экон. наук, доцент 1308

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАСС ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,4-10 КВ Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, доцент, Швидок Д.А. 1313

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ Шиллерт Д.М., Безгин А.С., канд.техн. наук, доцент 1319

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И НОМЕНКЛАТУРЫ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНОВ ГОРОДА Влацкая Л.А., канд.техн.наук, доцент; Яковлев Н.В. 1323

МЕТОДИКА СНЯТИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ Семенова Н. Г., д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор, Якунин В. А. 1328

ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КЛАССОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

Алексеева В.С., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современное общество сталкивается с нарастающими проблемами в области энергетики, что подчеркивает актуальность исследования классов энергоэффективности. В наше время, когда ресурсы становятся все более ограниченными, а воздействие человечества на окружающую среду растет, вопрос эффективного использования энергии становится одним из ключевых аспектов устойчивого развития.

Актуальностью данной проблемы является стремление общества к снижению зависимости от традиционных источников энергии, таких как ископаемые топлива, и переходу к более устойчивым и возобновляемым источникам энергии. Кроме того, энергосберегающие технологии и эффективное использование энергии становятся ключевыми элементами экономии ресурсов и сокращения экологического воздействия.

"Классы Энергоэффективности" представляют собой фундаментальный инструмент для решения этих задач, поскольку классификация энергопотребляющих устройств и технологий может способствовать более эффективному использованию энергии и сокращению негативного воздействия на окружающую среду.

Аналитическая оценка существующих классов энергоэффективности, их применимости в современных условиях, позволяет решить некоторые задачи, например:

- Изучить теоретические основы понятия энергоэффективности.
- Проанализировать методы измерения и оценки энергоэффективности.
- Исследовать практические аспекты применения этих классов

Полученные результаты позволят выделить основные проблемы и перспективы развития данной области, что способствует устойчивому и экологически безопасному развитию общества.

Теоретические основы классификации энергоэффективности, базируются на эффективности использования энергии различными устройствами. Такие классы представлены буквенными обозначениями (от A до G), где A обозначает наивысшую степень энергоэффективности, а G - наименьшую.

Класс энергоэффективности бытовой техники предназначен для указания потребителям, насколько эффективно устройство использует энергию при своей эксплуатации. Он применим к различным типам бытовой техники, таким как холодильники, стиральные машины, посудомоечные машины, плиты и другие.

При этом классы энергоэффективности делятся на несколько категорий (A, B, C, и так далее), причем класс A обозначает самый высокий уровень энергоэффективности. Некоторые категории могут также иметь дополнительные обозначения, например, A+, A++, A+++, что указывает на дополнительные уровни эффективности внутри класса A.

Одним из основных методов измерения энергоэффективности является использование технических средств для измерения фактического потребления энергии. Это может включать в себя установку счетчиков энергии, датчиков и другого оборудования для точного определения объемов энергопотребления на различных этапах производственного процесса или функционирования системы [1, 2, 4].

Оценка эффективности энергопотребления также включает в себя анализ экономических показателей. Экономические критерии включают в себя расчет затрат на внедрение энергосберегающих технологий, амортизацию, инвестиции и оценку экономии ресурсов в долгосрочной перспективе. Экономическая эффективность измеряется не только в снижении энергопотребления, но и в улучшении финансовых показателей предприятия или системы [3, 7].

Сравнение фактического потребления позволяет оценить, насколько успешно классификации отражают реальные различия в энергопотреблении бытовых приборов. Учитывая разнообразие потребителей, можно определить категории бытовой техники, которые наиболее широко используются в различных домашних условиях. Например, холодильники, стиральные машины и посудомоечные машины и др.

Аналитическая оценка холодильников, позволяет констатировать определить технические характеристики каждой модели, при помощи каталогов самых крупных магазинов бытовой техники [5, 6] включая размер, емкость, технологии энергосбережения, эффективность систем и другие параметры, например:

- Класс B: приблизительно 438кВтч
- Класс A: приблизительно 360кВтч
- Класс A+: приблизительно 290кВтч
- Класс A++: приблизительно 233кВтч

Если использовать холодильник класса A++, а не B, то можно экономить 205кВт в год, для сравнения-это примерно 41.000 светодиодных ламп.

Для оценки годового энергопотребления стиральной машины с классом энергоэффективности A необходимо знать её потребляемую мощность и среднее время работы в течение года. Для всех расчетов возьмем среднее время работы 4 часа в неделю (примерно 208 часов в год).

- Класс B: средняя потребляемая мощность 0,21кВт

Энергопотребление: 0,21кВт*208ч=44кВтч

- Класс A: средняя потребляемая мощность 0,18кВт

Энергопотребление: 0,18кВт*208ч=37кВтч

- Класс A+: средняя потребляемая мощность 0,15кВт

Энергопотребление: 0,15кВт*208ч=31кВтч

Если использовать стиральную машину класса А+, а не В, то можно экономить 13кВт в год, для сравнения-это примерно 2600 светодиодных ламп.

Для оценки годового энергопотребления посудомоечной машины с классом энергоэффективности А необходимо знать её потребляемую мощность и среднее время работы в течение года.

Для всех расчетов возьмем среднее время работы 6 часов в неделю (примерно 312 часов в год).

- Класс А: средняя потребляемая мощность 1,0кВт

Энергопотребление 1кВт*312ч=312кВтч

- Класс В: средняя потребляемая мощность 1,3кВт

Энергопотребление 1,3кВт*312ч=406кВтч

Если использовать посудомоечную машину класса А, а не В, то можно экономить 94кВт в год, для сравнения-это примерно 18.800 светодиодных ламп.

Экономия энергии подчеркивает ключевую роль энергоэффективности в контексте реального потребления энергии. На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Экономия Ресурсов:

- Различные классы энергоэффективности демонстрируют разные уровни экономии энергии. Более высокие классы обычно предоставляют значительные возможности для сокращения энергопотребления, что приводит к экономии ресурсов и снижению расходов потребителей на электроэнергию.

2. Финансовые пользы для Потребителей:

- Потребители, выбирая устройства с более высоким классом энергоэффективности, могут ощутить значительные финансовые выгоды в виде снижения затрат на электроэнергию. Расчеты показывают, что вложения в более энергоэффективные устройства могут окупиться в определенный период времени, что делает их экономически целесообразными.

3. Эффективность Технологий:

- Анализ показывает, что новые технологии, внедренные в более энергоэффективные устройства, успешно снижают их энергопотребление. Инновационные методы управления энергией, эффективные компоненты и режимы работы играют ключевую роль в достижении высоких показателей экономии

4. Ожидаемая Экологическая Выгода:

- Высокая степень энергоэффективности не только способствует экономии денежных средств, но и вносит существенный вклад в уменьшение негативного воздействия на окружающую среду. Устройства более высоких классов снижают выбросы углерода и других вредных веществ, что актуально в свете климатических вызовов.

5. Сознательное Потребление:

- Важность анализа экономии энергии заключается не только в финансовых выгодах, но и в стимулировании сознательного потребления. Расширение осведомленности потребителей о энергоэффективности и её

влиянии на их бюджет и окружающую среду может способствовать более ответственному выбору при покупке электроприборов.

Таким образом, анализ экономии энергии позволяет увидеть, как эффективно устройства разных классов соответствуют ожиданиям потребителей и требованиям устойчивого потребления.

В заключении к разделу о практических аспектах применения классов энергоэффективности, можно сделать ключевые выводы и акцентировать важность результатов исследования для реальной практики:

Исследование предоставляет ряд практических рекомендаций и решений, которые могут привести к значительным выгодам для общества в целом. Эти рекомендации охватывают широкий спектр областей, включая энергосбережение, устойчивость, экономику и качество жизни.

Внедрение рекомендаций и результатов исследования может положительно сказаться на экономическом состоянии, включая снижение затрат, увеличение эффективности и стимулирование новых экономических возможностей.

Практическая значимость работы подчеркивает, что результаты исследования не остаются на уровне теории, а имеют потенциал для успешного внедрения в реальные условия. Это важно для обеспечения практической ценности исследования.

Следует отметить перспективы дальнейших исследований в области классов энергоэффективности.

На основе проведенного анализа становится ясно, что существующие критерии не всегда соответствуют современным технологическим и экологическим требованиям, что требует их пересмотра.

Изменения включают в себя учет не только самого эффективного использования энергии, но и других важных аспектов, таких как экологический след и социальная ответственность. Этот подход не только отражает сложность современных технологий, но и стимулирует производителей к созданию более ответственных и устойчивых продуктов.

Эти изменения не просто направлены на повышение точности классификации, но и имеют потенциал стимулировать инновации и разработку более эффективных технологий [10]. Актуализированные критерии могут способствовать развитию конкурентоспособных продуктов, способных сочетать высокую энергоэффективность с минимальным воздействием на окружающую среду.

Таким образом, актуализация критериев классификации энергоэффективности является важным шагом в направлении устойчивого энергетического будущего, способствуя более точной оценке энергопотребления.

Список литературы

1. ISO 50001 URL:https://en.wikipedia.org/wiki/ISO_50001 (дата обращения 10.01.24) - Текст: электронный.

2. Energy efficiency directive URL:https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en#:~:text=Directive%202012%2F27%2FEU%20established,(following%20the%20UK's%20withdrawal) (дата обращения 10.01.2024) – Текст: электронный.
3. От А++ до G: классы энергоэффективности бытовой техники URL: https://zpp.rospotrebnadzor.ru/news/federal/243612 (дата обращения 10.01.2014) - Текст: электронный.
4. Analysis of the EU Residential Energy Consumption: Trends and Determinants
URL: https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1065 (дата обращения: 10.01.2024) – Текст: электронный
5. Эльдорадо.ru: техника для дома [сайт]
URL:https://www.eldorado.ru/d/tekhnika-dlya-doma/ (дата обращения 10.01.2024) – Текст: электронный
6. М.Видео: интернет-магазин цифровой и бытовой техники [сайт]
URL: https://www.mvideo.ru/ (дата обращения 10.01.2024) – Текст: электронный
7. Purchasing Energy-Efficient Residential Dishwashers URL: https://www.energy.gov/femp/purchasing-energy-efficient-residential-dishwashers (дата обращения 10.01.2024) - Текст: электронный
8. Шипилова Е.С. Микропроцессорная система управления //ШипиловаЕ.С., Иванова А.П. В сборнике: Молодежная наука в xxi веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников: в 3 частях. 2017. С. 161-162. [Текст]

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

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

Точный учет потребления электрической энергии, с возможностью дистанционного съёма показаний счетчиков, стал возможным благодаря разработке и серийному выпуску недорогих электронных счетчиков, которые иначе называют интеллектуальными. Их применение в первых системах автоматизированного учета электрической энергии позволило существенно снизить коммерческие потери и затраты на штат контролеров.

Первые модели электронных счетчиков, в основном могли выполнять две основных функции: определение точного потребления электрической энергии и передачи этой информации на верхний уровень.

Для решения первой задачи, электронные счетчики изначально работали по принципу аналого-цифрового преобразования напряжения сети и потребляемого тока с последующей обработкой цифровых данных с помощью специализированных или серийных микропроцессоров. Вторая задача - передача рассчитанной информации вначале решалась только с помощью сотовой связи.

В настоящее время, по прежнему, в системах учета электрической энергии часто применяется связь по каналам GSM. Этому способствует тот факт, что не требуется создание собственной сети GSM, а имеющаяся цифровая сотовая связь имеет хорошую защиту от несанкционированного доступа к базам данных по учету. С целью повышения надежности обмена данными по каналам GSM, используются счетчики с двумя SIM-картами (DUAL SIM), так называемые ведущие счетчики, на которые от ведомых счетчиков данные поступают по проводному интерфейсу RS-485 или CAN [3].

Однако, наиболее чаще для построения каналов связи используются технологии PLC (Power Line Communication), которые обеспечивают передачу данных по силовым линиям электропитания. В качестве силовых линий используются, как низковольтные, так и высоковольтные линии электропередачи. Основное достоинство технологий PLC - это использование уже имеющихся силовых линий, что полностью исключает затраты на их создание и эксплуатацию.

В настоящее время имеется несколько, почти одинаковых по характеристикам модификаций PLC передачи данных: PLC PRIME, PLC-II, G3-PLC [3].

PLC PRIME: это международный стандарт. Аппаратная часть, отлично согласована с физической средой передачи данных, что в результате приводит к высокой скорости передачи данных (до 1 Мбит/с). Сеть PLC PRIME имеет древовидную топологию, в которой контроллер/роутер/УСПД играет роль базового узла, а счетчики образуют служебные узлы. Топология PLC PRIME

позволяет до 1024 ретрансляций при передаче информации между базовым и служебными узлами. Выбор оптимальных маршрутов и ретрансляция выполняются автоматически [3, 4]. Наряду с возможностью мониторинга PLC-PRIME сети в режиме реального времени эта сеть используется большинством компаний производителей систем и приборов учёта.

PLC-II: Проверенная годами и подтвержденная продолжительной, корректной, устойчивой работой счетчиков различных типов - технология PLC-II, представляет собой сеть с небольшой скоростью передачи данных, с аппаратным выбором оптимальных маршрутов и с автоматической ретрансляцией, что приводит к увеличению дальности связи от УСПД и концентраторов до счетчиков электроэнергии [3, 4].

G3-PLC: эта технология тоже стандарт. Открытый международный стандарт, предназначенный для широкого применения. Но, у него, по сравнению с PLC PRIME значительно, меньше скорость передачи данных: не более 128 кбит/с [3, 4].

В среднем, счетчики при PLC опрашиваются на расстоянии около 100 м, максимальное удаление до 400 м. Дальность связи зависит от качества электрической сети (наличия скруток, множественных отпаек, наличия колец в сети и др.) и наличия помех. При неустойчивой работе системы учета, часто параллельно с PLC технологией используют частотную передачу информации RF, что увеличивает помехоустойчивость и пропускную способность за счет взаимного резервирования сред передачи данных, которое производится автоматически.

В последнее время интенсивно внедряются иные технологии передачи данных: NB-IoT и LoRaWAN [3, 4, 5, 6].

NB-IoT (NarrowBand Internet of Things) — стандарт сотовой связи для устройств с небольшим объемом данных. Это такие автономные устройства, как датчики различного назначения, всевозможные счётчики и расходомеры, устройства «умного дома», датчики и извещатели систем охраны и видеонаблюдения и т. п. Такие устройства получили обобщающее название - интернет вещи (IoT) [5]. Плюсом стандарта NB-IoT является возможность использования имеющейся аппаратуры операторов сотовой связи.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) — дословный перевод: глобальная сеть дальнего действия или иначе высоконадежный стандарт для создания связи на большие расстояния, при низких энергопотреблении и стоимости, работающий в радиочастотных маломощных частных сетях в не лицензируемом диапазоне ISM. LoRaWAN используют при передаче небольшой по объему информации до 15 км в пределах прямой видимости и до 2 км при наличии препятствий (условия города). Топология сети представляет собой классическую звезду с центром на базовой станции. Не требует лицензирования. Является идеальной технологией для IoT-приложений, требующих связи на большом расстоянии и низкого энергопотребления [6].

Реализация технологии LoRaWAN в счетчиках «Меркурий» обеспечивает инициируемую счетчиком передачу данных по наступлению события или по

времени, например, на начало суток или на заранее заданное время или при вскрытии крышек, нарушении электронной пломбы или попытки несанкционированного доступа, а также работу счетчиков в режиме «запрос–ответ» [3].

В больших системах автоматизированного учета используются счетчики различных типов и различных производителей. Но, взаимозаменяемость счетчиков крайне низка и она уже нарушена на уровне протоколов обмена. Для решения этого вопроса в счетчиках марки «Меркурий», реализована технология PRIME с поддержкой стандартного протокола обмена СПОДЭС. Стандарт PRIME выбран не случайно. В реальных сетях, он обеспечивает устойчивый опрос счетчиков лучшим образом среди всех технологий [3].

Последние модели счетчиков обеспечивают коммерческий и технический учёт электроэнергии и выполняют функцию контроллера телемеханики (ТМ).

Как контроллер телемеханики счетчики собирают телесигналы (ТС) от других счетчиков и устройств РЗА, включая реле токов и напряжений, которые подключаются по линиям RS485 или CAN. Количество встроенных каналов дискретного ввода– вывода (ТС) и встроенных каналов телеуправления (ТУ) невелико: четыре ТС и два ТУ, но в большинстве случаев этого достаточно. Сигналы телемеханики считываются и передаются серверами систем ТМ верхнего уровня и локального интерфейса нижнего уровня [3, 4].

Сегодня на рынке интеллектуальных счетчиков 12 предприятий [2]. Лидирующее положение по объему, разнообразии типов счетчиков и их функциональным возможностям занимают три российские компании: концерн Энергомера (Ставрополь), компания Инкотекс (Москва) и компания «Тайпит-ИП» Санкт-Петербург. Счетчики этих производителей полностью соответствуют правилам учёта электроэнергии и технической политике ПАО «Россети» в области учёта электроэнергии, а также требованиям о доступе к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности) изложенным в ПП РФ №890 от 19.06.2020г [3, 4].

Первые модели счетчиков обеспечивали измерение, учёт, хранение показаний активной и реактивной электроэнергии максимум по четырем тарифам. В настоящее время современные счетчики обеспечивают измерение, учёт, хранение показаний активной и реактивной электроэнергии с программированием индивидуального тарифного расписания на каждый месяц года. Минимальный интервал любого тарифа в течение суток 1 минута. Тарифы задаются для каждого дня недели в 16 временных зонах суток раздельно [3, 4].

Интервалы хранения профиля мощности, также различны:

- за три или один последних года;
- за каждый месяц последнего года;
- за текущие и предыдущие сутки.

Для коррекции показаний счетчиков при их установке не на границе балансовой принадлежности, они производят расчет технических потерь в линиях электропередачи и силовых трансформаторах, с последующей автоматической корректировкой показаний [3].

С целью контроля состояния электрической сети и качества электрической энергии современные многофункциональные счетчики выполняют измерение параметров электрической сети и расчет показателей определяющих качество электроэнергии по классу «S» [1, 3, 4].

При измерении параметров электрической сети фиксируются [3, 4]:

- мгновенные значения активной, реактивной и полной мощности по каждой фазе и суммарно по трем фазам, с расчетом векторной диаграммы;
- действующие значения фазных токов и напряжений;
- значения углов фазового сдвига между фазными напряжениями;
- частота сети;
- коэффициенты мощности по каждой фазе;
- коэффициент искажения синусоидальности фазных кривых;
- утренние и вечерние максимумы активной и реактивной мощности.

При измерении показателей качества электроэнергии по классу «S» фиксируются [3, 4]:

- положительное и отрицательное отклонение напряжения;
- отклонение частоты сети;
- длительность и глубина провала напряжения;
- длительность и максимальное значение перенапряжения;
- длительность перерывов в электроснабжении.

Производители постоянно совершенствуют конструкции счетчиков, внедряют методы и приемы препятствующие безучетному потреблению электроэнергии. Счетчики имеют прозрачные корпуса и клеммные крышки из негорючих пластмасс, с возможностью эффективного пломбирования. Применяют два измерительных элемента, многоуровневую систему паролей, электронные пломбы и уникальные номерные заводские пломбы. Для борьбы с воздействием магнитных полей используют жидкокристаллические индикаторы с подсветкой, электромеханические отсчетные устройства имеют магнитные экраны и стопор обратного хода, вместо трансформаторов тока применяют шунты.

Счетчики ведут журналы событий с записью нестираемой информации, включая показатели качества электроэнергии и о несанкционированных воздействиях.

Имеется автоматическая самодиагностика с индикацией ошибок. Для дистанционного управления нагрузкой имеется встроенное реле на 60-100 А.

Класс точности счетчиков: многофункциональных 0,2S/0,5 и 0,5S/1, остальных 0,5/1 или 1/2

В составе систем АСКУЭ счетчики являются основным элементом измерительного комплекса, в состав которого кроме трансформаторов тока и напряжения, также входят: УСПД, концентраторы PLC, GSM-шлюзы.

УСПД - расшифровка аббревиатуры: устройство сбора и передачи данных однозначно определяет назначение этого устройства. УСПД самостоятельно опрашивает счетчики предварительно обрабатывает и хранит

собранную информацию, с привязкой к единому времени, осуществляет обмен данными с ИВК верхнего уровня и смежными системами.

Концентраторы осуществляют дуплексную связь с электросчетчиками, подключенными по фазно к силовой сети 0,4 кВ.

Концентраторы являются центром сети PLC-устройств, они обеспечивают маршрутизацию и поиск электросчетчиков в сети PLC, хранение и передачу данных в центр сбора информации.

GSM-шлюз входит в канал связи удаленного доступа к устройству или группе устройств.

Список литературы

1. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии.

2. Производители счетчиков электроэнергии. Режим доступа: http://www.производитель.рф – 12.01.2024.

3. Счетчики электрической энергии и оборудование АИИС КУЭ МЕРКУРИЙ. Каталог 2024. Режим доступа: http://www. www.incotexcom.ru – 12.01.2024.

4. Счетчики электрической энергии Энергомера. Каталог 2024. Режим доступа: http://www. energomera.com – 12.01.2024.

5. NB IoT Стандарт сотовой связи. Режим доступа: http://www. ru.wikipedia.org – 12.01.2024.

6. Обзор LoRaWAN и ее применение в IoT. Режим доступа: http://www. NEKTA.tech – 12.01.2024.

ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО - ВОДОРОДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

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

Проблема энергетического обеспечения человечества вырисовывается все более явно. Технический прогресс требует колоссальных расходов электроэнергетических, топливно-энергетических ресурсов, которые, как показывает время, не являются возобновляемыми источниками. Одним из направлений поиска альтернативных источников, можно считать водородный двигатель, имеющий широкий спектр применения, как в промышленности, так и на авто-авиа и железнодорожном транспорте.

Водородный транспорт — это различные средства передвижения, которые потребляют в качестве топлива водород, используемый как в двигателях внутреннего сгорания, в газотурбинных двигателях, так и в водородных топливных элементах. Изобрёл первый водородный двигатель внутреннего сгорания Франсуа Исаак де Риваз в 1806 году. Топливо для этого двигателя изобретатель производил электролизом воды, т.е. разложением воды на кислород и газообразный водород.

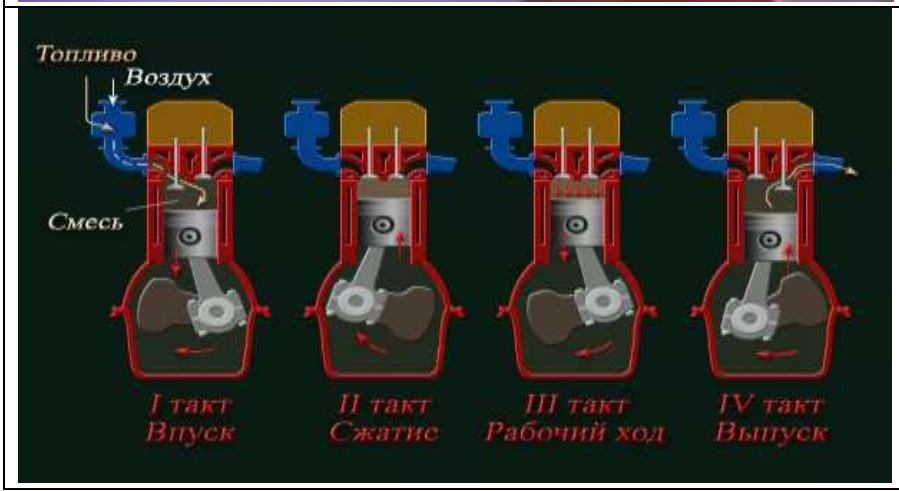
Массовое применение водород получил и в Советском Союзе в период Великой Отечественной войны. В связи с блокадой Ленинграда, бензин в городе был в дефиците, однако сохранялся запас водорода. Борис Шелищ, будучи военным техником, предложил использовать воздушно-водородную смесь для работы заградительных аэростатов и двигателей их лебёдок. Кроме того, её подавали в цилиндры полуторок из дирижаблей, у которых газовые смеси отработали свой срок [1].

К экспериментам советского автомобилестроения с использованием водорода, следует отнести период топливного кризиса с 1960–1970 годы. В Советском Союзе вели активное изучение альтернативных видов топлива. Следствием этого стало множество прототипов, которые в качестве топлива потребляли водород в составе бензовоздушных смесей. Примером может служить прототип Микроавтобуса РАФ 22031. Кроме него к началу 1980 годов в СССР разными организациями были созданы и испытаны опытные легковые автомобили АЗЛК «Москвич», ВАЗ «Жигули», ГАЗ-24 «Волга», ГАЗ-69, грузовые ЗИЛ-130, микроавтобусы УАЗ, работающие на водороде и его смесях с бензином. В Киеве производилась опытная эксплуатации такси на базе «Волги» ГАЗ-24, которая использовала в качестве топлива бензин с добавлением в него 5% водорода (по массе). Это позволило обеспечить превосходные мощностные характеристики, а замеры токсичности показали, что выбросы продуктов неполного сгорания (CO, CH) были заметно снижены. Также на треть сократилось потребление бензина. Общие же расходы на

эксплуатацию транспортных средств падали на четверть [1]. Основной принцип работы Советского прототипа двигателя на водороде приведен в таблице 1.

Таблица 1- Основной принцип работы Советского прототипа двигателя на водороде

Фото элемента системы	Принцип действия
	На заправочной станции бак автомобиля наполняется обыкновенной водой.
	В машине вместо бака с бензином установлен миниатюрный реактор. В него закладывается энерго аккумулирующее вещество (ЭАВ).
	Вода вступает в химическую реакцию с ЭАВ. В результате выделяется водород.

	В смеси с воздухом он подаётся в камеру сгорания цилиндра двигателя.
	Дальнейший процесс полностью повторяет принцип работы обычного четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания.

Данный принцип получения водорода непосредственно в баке автомобиля обоснован отсутствием технологий хранения, транспортировки и заправки автомобилей готовым водородным топливом [2].

Использование водорода как энергоносителя позволит существенно сократить потребление топливных ископаемых, уменьшить загрязнение атмосферы вредными для живых организмов составляющих выхлопных газов. Существует несколько причин, вызвавших повышение интереса к транспортным средствам, работающих на водороде:

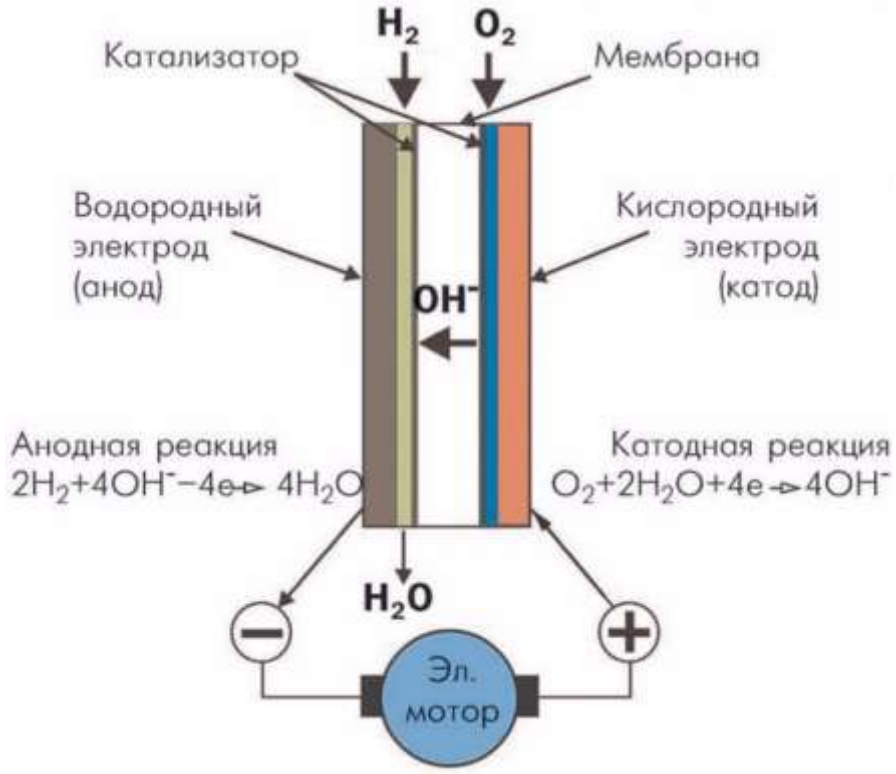
1. рост цен на энергоносители (уголь, нефть, газ и их производные).
2. дефицит топлива.
3. стремление стран обрести энергетическую независимость [3].

Водородное топливо имеет больший КПД в сравнении с дизельным и бензиновым топливом. Именно поэтому оно занимает ведущие позиции среди других источников энергии и считается топливом будущего.

Однако, несмотря на всю практичность и экологичность, транспорта использующего этот вид топлива пока крайне мало. Одной из причин, почему современные автомобили на водороде, в большинстве своём, остаются опытными моделями, является неразвитая инфраструктура и сеть заправок автотранспорта данным видом топлива. Важно и то, что метод получения водорода в промышленных масштабах, путём электролиза воды, является дорогостоящим. Основной принцип работы современного двигателя на водороде показан в таблице 2.

Таблица 2- Основной принцип работы современного двигателя на водороде [4]

Фото элемента системы	Принцип действия
	На специальной заправке в топливный бак заправляют сжатый водород.
	Водород поступает в топливный бак.
	Из топливного бака, водород поступает в топливный элемент.

	Полость топливного элемента разделяется мембранной на камеры с анодом и катодом. В камеру с анодом поступает водород. В камеру с катодом из воздухозаборника поступает кислород. На электроды нанесён слой катализатора. Результатом является потеря водородом отрицательно заряженных частиц – электронов. В это же время через мембрану к катоду проходят протоны (положительно заряженные частицы). Они соединяются с электронами и на выходе образуется электричество, а отходом является водяной пар.
	Электричество передаётся на электрический мотор, который, посредством приводов, приводит в движение автомобиль.

Основные преимущества водородных двигателей:

1. Повышенная экологичность. Так как продуктом горения водорода является водяной пар.
2. В процессе работы двигатель на водороде практически бесшумен, что важно в крупных городах.
3. Высокий КПД электродвигателя на водородном топливе.

Недостатки двигателя на водороде:

1. Дорогостоящий и трудоёмкий способ получения топлива.
2. Отсутствие водородной сети заправок автотранспорта.
3. Несовершенство технологий транспортировки, хранения и применения такого топлива.
4. Дорогостоящие водородные элементы.
5. Большой вес транспорта. Так как для работы электродвигателя на водородном топливе требуются водородные преобразователи тока и иногда мощные батареи аккумуляторов.
6. Существует опасность возгорания и взрыва при работе водорода с обычными видами топлива [4].

	1	2	3	4
Годы	2020	2021	2025	2030
Кол-во	50000	100000	4000000	12000000

Рисунок 1 - Статистика и прогноз производства автомобилей на водородных топливных элементах в мире

Рассматривая перспективы дальнейшего развития водородных двигателей, следует отметить тенденции роста несмотря на то, что электротранспорт играет существенную роль на авторынках мира. Но проблема энергоснабжения при полном переходе на электрические автомобили пока

остаётся без решения. На этом фоне автопроизводителями продолжают осваиваться проекты, основанные на водородном топливе. Статистика и прогноз производства автомобилей на водородных топливных элементах в мире приведена на рисунке 1.

Рассматривая решение аналогичной проблемы на железнодорожном транспорте, можно, для удвоения эффективности водородных поездов предложить установку реактивных двигателей, работающих на водородном топливе, которые дадут прирост скорости. С установкой этих двигателей возрастёт масса, поэтому потребуется дополнительная мощность, которая компенсируется работой двигателя, но при этом понадобиться модернизация корпуса, и обшивка поезда огнестойкими материалами [5].

В настоящее время, оптимальным решением по соотношению цена/расход/качество, является HHO-генератор (газ Брауна, гремучий газ). Одним из важных моментов считается то, что электролитическая установка работает от постоянного тока, то есть, от сетевого адаптера или же аккумулятора автомобиля [6]. Водородные HHO системы подходят как для бензиновых, так и дизельных двигателей и могут быть установлены на все типы автомобилей и прочей техники, где установлен ДВС.

На сегодняшнем этапе мировые автопроизводители проводят испытания и выпускают автотранспорт на водородном топливе, таблица 3 [3,4].

Таблица 3 – Основные модели серийных автомобилей на водородном топливе (не учитывая концепты)

Марка и модель	Годы производства	Количество, шт.
BMW 7-я серия	2006–2008	100
Toyota Mirai	2015 — настоящее время	Около 5000
Hyundai Tucson FCEV	2013–2018	10 000
Hyundai Nexo	2018 — настоящее время	до 1000
Mercedes-Benz GLC F-cell	2017 — настоящее время	до 1000

Водородный двигатель, является весьма перспективной задумкой. По прогнозам специалистов в ближайшем будущем список автокомпаний, производящих двигатели и транспорт на водороде, станет в разы больше.

Многие автопроизводители считают, что к 2050 году каждая из технологий будет делить долю рынка между собой. Это заставляет нефтегазозаправочные компании вкладывать деньги во все направления сразу. Для достижения видимого эффекта новых технологий, необходимо решать двуединую задачу, связанную как с экономической целесообразностью, так и с экологической необходимостью.

В современном мире альтернативой ДВС, использующим нефтяное топливо, и электродвигателям можно считать двигатель на водороде. Наиболее

важно то, что такие установки менее токсичны. Помимо этого, автомобили с водородным двигателем имеют большой запас хода. В настоящее время также существуют и гибридные модели, использующие как водород, так и бензин. Для преодоления сложностей, связанных с недостаточным количеством заправочных станций, ведётся активное строительство трубопроводов для перекачки газа метана, которые в дальнейшем, при повышении общего числа авто с водородными двигателями, могут послужить для перекачки водорода. Следствием этого будет увеличение количества специализированных заправочных станций. Проведенная аналитическая оценка ситуации, связанной с использованием водородных двигателей в промышленности и на различных видах транспорта, позволяет считать это направление вполне реальной энергетикой будущего.

Список литературы

1. От сжигания до электролиза: история водородного транспорта и проблемы массовой эксплуатации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://habr.com/ru/companies/leader-id/articles/583186/
2. Водородный двигатель: принцип работы и устройство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://krutimotor.ru/vodorodnyj-dvigatel-ustrojstvo/
3. Водородный транспорт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородный_транспорт
4. Водородные автомобили: есть ли у них будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.drom.ru/info/misc/81326.html
5. Кривоногов Д.В. Скоростной поезд с водородным реактивным двигателем // Кривоногов Д.В., Иванова А.П. В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Редколлегия: А.Н. Попов [и др.]. Оренбург-Самара, 2021. С. 123-125.
6. Карпец А.В. Универсальное техническое решение - HHO генераторы // Карпец А.В., Иванова А.П. В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Редколлегия: А.Н. Попов [и др.]. Оренбург-Самара, 2021. С. 114-116.

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Белов И.Ю., Падеев А.С., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Вопросом энергоэффективности, в том числе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, задались относительно давно. Продвижения в данной теме, в настоящий момент времени, уже определенно доказывают, что замена обычных АД с КЗ ротором на энергоэффективные двигатели, является очень целесообразной, так как, во-первых, уменьшатся габариты двигателей, что сделает работу с ними более комфортной, во-вторых, так как возрастет КПД двигателя, то уменьшатся его потери, а следовательно уменьшится его энергопотребление. Также это позволит поднять уровень конкурентоспособности промышленных предприятий, использующих для производства своей продукции более экономичный двигатель, который, соответственно, будет положительно влиять на рост энергетической безопасности, то есть будет соответствовать главным целям международной энергетической политики.

Так как этот вопрос возник давно, то по федеральному закону от 27 декабря 2002 года №184-ФЗ «О техническом регулировании» создался национальный стандарт Российской Федерации «Классы энергоэффективности односкоростных трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE)» (ГОСТ Р 54413–2011).

Настоящий стандарт делит все асинхронные трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором на следующие классы энергоэффективности:

- нормальный (IE1);
- повышенный (IE2);
- премиум (IE2);
- супер-премиум (IE4).

Чтобы АД с КЗ ротором имел класс «нормальный» необходимо, чтобы коэффициент полезного действия данного двигателя при номинальной нагрузке, был равным или даже выше значения, которое приведено в таблице 5.4.2 настоящего стандарта. Для «повышенного» класса подобные данные приведены в таблице 5.4.3; для класса «премиум» – в таблице 5.4.4; для класса «супер-премиум» – в таблице 5.4.5 [1].

Для увеличения уровня энергоэффективности асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором есть несколько способов. Три из них будут рассматриваться в данной статье:

1. совершенствование двигателя без изменения поперечного сечения;
2. увеличение уровня энергоэффективности с изменением геометрических показателей ротора и статора АД;

3. подбор двигателя промышленного исполнения с увеличенным показателем мощности.

При выборе одного из способов увеличения уровня энергоэффективности, следует отталкиваться от экономической оценки предложенных вариантов.

Увеличение уровня энергоэффективности с изменением геометрических показателей ротора и статора АД является самым трудоемким и дорогим, но с лучшими энергетическими показателями. Это связано с тем, что короткозамкнутую обмотку выполняют медной, с помощью литья, в отличие от привычной литой алюминиевой.

Эксперименты по данному способу делали и описали ученые из Украинского НИИ взрывозащищенного и рудничного электрооборудования Чувашев В.А., к.т.н. Папазов Ю.Н., Чуванков В.Ю. В работе описаны все трудности медного литья, говорится о большом количестве брака, но также приведены характеристики двигателей, ротор которых получилось отлить медным, которые, по сравнению с алюминиевыми, имели намного лучшие показатели [2].

Подбор двигателя промышленного исполнения с увеличенным показателем мощности: данный способ относительно малозатратный, но он должен применяться лишь с обоснованностью как с технической, так и экономической точки зрения. В статье Муравлёвой О.О. ([3]) приведен пример эксперимента, в котором рассматривались АД серии АИР с мощностями 3-75 кВт и с частотой вращения 3000 оборотов в минуту. Именно эти двигатели взяты, потому что они чаще всего применяются в насосных агрегатах жилищно-коммунальных хозяйствах. В заключении данного эксперимента было установлено, что замена электродвигателей насосного агрегата на более мощный, например 10 кВт поменять на 15 кВт, даст экономическую выгоду примерно в 1,9 раз (данные на 2005 год), с учетом разности стоимости самих электродвигателей. Следовательно, экономия электроэнергии за усреднённое время эксплуатации составит около 33-235 тысяч рублей (для АД с мощностью 3-75 кВт, на тот же год).

Увеличение уровня энергоэффективности с изменением геометрических показателей ротора и статора АД: для этого был проведен эксперимент по изменения длины сердечника статора. Исследование проводилось на базе двигателя серии АИР112М2 с мощностью в 7,5 кВт. Изменения длины сердечника статора применялись в охвате от 100 до 170 процентах от стандартной длины сердечника. Результатом исследования стало то, что при увеличении длины сердечника статора до 110-125% номинальный КПД увеличится со стандартного значения 0,87 о.е. до 0,876 о.е.. Как видно из результата эксперимента, значение КПД увеличилось незначительно, поэтому поступило предложение изменить помимо длины сердечника статора еще число витков обмотки статора, а также сечение провода обмотки. Выводом данного эксперимента оказалось, что наиболее энергоэффективными стали двигатели с длиной статорного сердечника в диапазоне 110-130% и сниженным количеством числа витков на 10% (96 витка). Значением КПД таких двигателей составило 0,876-0,885 о.е. [3].

В Заключение следует отметить, что к повышению энергоэффективности следует стремиться как можно сильнее и глубже. Понятное дело, что резкого

скачка замены АД с КЗ ротором на двигатели с увеличенным КПД на градообразующих предприятиях не стоит ожидать, но их постепенной замене, я считаю, всегда есть место. Тем более во многих уставах и политиках различных предприятий есть пункт об увеличении показателя энергоэффективности.

Также стоит отметить, что понятия «энергоэффективность» и «энергосбережение» всегда ходят рядом, поэтому увеличивая показатель одного, автоматически увеличивается показатель второго.

Список литературы

1. ГОСТ Р 54413-2011. Машины электрические вращающиеся. Часть 30. Классы энергоэффективности односкоростных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (код IE). – Введ. 2011-09-22. – Москва : Стандартинформ.

2. Энергоэффективные асинронные электродвигатели для угольной промышленности. – Чувашев В.А., к.т.н. Папазов Ю.Н., Чуванков В.Ю// Донецк: Украинский НИИ взрывозащищенного и рудничного электрооборудования.

3. Муравлева, О. Энергоэффективные асинхронные двигатели для регулируемого электропривода / О.О. Муравлева // Известия Томского политехнического университета.2005. Т. 308. №7. – Томск, 2005.

4. Энергоэффективные асинхронные электродвигатели. – Падеев А.С., Белов И.Ю.// Конференция «Энергетика: состояние, проблемы, перспективы», Оренбургский Государственный Университет, 28-30 октября 2021 года – Оренбург, 2021.

5. Доклад о реализации Энергетической стратегии России на период до 2030 года по итогам 2018 года. – Доклад Министерства Энергетики Российской Федерации, декабрь 2018 год.

6. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для вузов / А.И. Вольдек.- 3-е изд., – Москва: Энергия, 1978 – 832 с

ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ДРОНОВ ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

Бибиков Д.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Дрон – это летательный аппарат без пилота, который способен взаимодействовать с окружающей средой в автономном режиме, либо управляться дистанционно. Дрон вертолетного типа для взлета и посадки, а также перемещения в пространстве использует винты, создающие подъемную силу [1, 2].

По количеству и расположению винтов дроны вертолетного типа подразделяются на одновинтовые с рулевым винтом, двухвинтовые соосной схемы, двухвинтовые продольной схемы, двухвинтовые поперечной схемы, многовинтовые, рисунок 1.

Рисунок 1 – Многовинтовой дрон

Во время полета дрону нужно решать большое количество задач, основными являются:

- определение положения дрона в пространстве;
- сохранение заданной траектории движения дрона в пространстве;
- поддержание полетного состояния дрона (контроль за температурой двигателей и т.д.);
- ответные действия на команды управления.

Данные задачи решает полетный контроллер [3].

Например, задача определения положения в пространстве, а также задача ответных действий на команды управления решается с помощью электронного

гироскопа и акселерометра. Для этого на микроконтроллере реализуются алгоритмы, которые необходимы для фильтрации данных с датчика. После этого данные направляются в пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор, сокращенно ПИД – регулятор [4], который выполняется программным алгоритмом, рисунок 2.

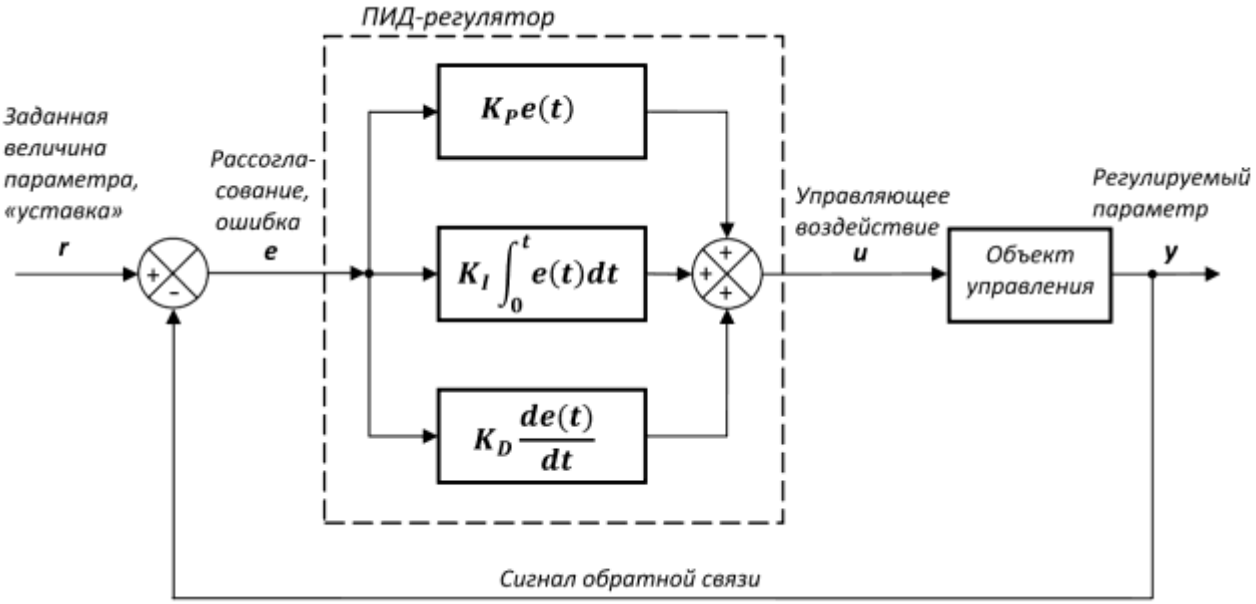


Рисунок 2 – Структурная схема ПИД-регулятора

Регулятор состоит из трех блоков: пропорционального, интегрирующего и дифференциального. Пропорциональный блок отвечает за устранение рассогласования сигнала датчика с управляющим сигналом. Интегрирующий блок необходим для прогнозирования и последующего устранения будущих ошибок. Он занимается подавлением колебаний дрона, которые возникают при работе пропорционального блока. Дифференциальный блок используется для уменьшения влияния задержек сигнала в цепи обратной связи.

Составляющими полетного контроллера могут являться:

- микроконтроллер STM32, является основным устройством для управления всеми аспектами полета дрона вертолетного типа [5].
- гироскоп и акселерометр MPU-6050, рисунок 3, который служит для определения положения и ориентации дрона в пространстве [6];
- трехосевой цифровой магниторезистивный компас GY-271 HMC5883L, позволяющий микроконтроллеру определять и корректировать траекторию полета дрона [7];

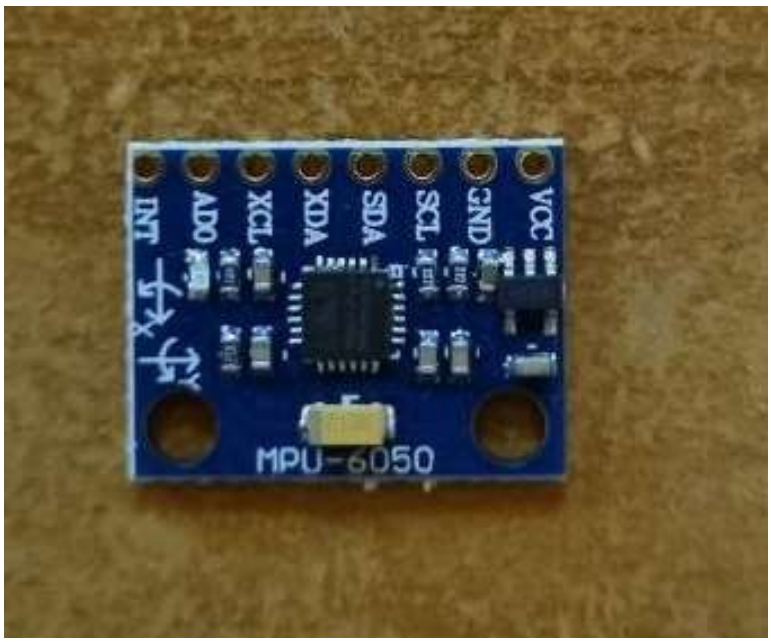


Рисунок 3 – 3-х осевой гироскоп-акселерометр MPU-6050

- датчик атмосферного давления и температуры GY-BMP280, рисунок 4, для определения высоты и условий окружающей среды [8];
- электронная схема питания, которая будет обеспечивать необходимый ток для всех компонентов полетного контроллера.

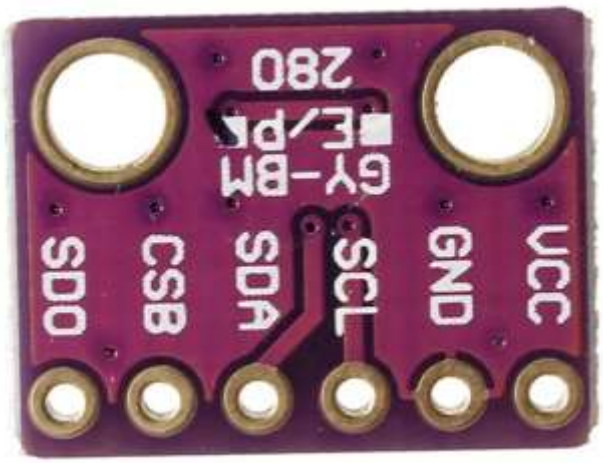


Рисунок 4 – Датчик атмосферного давления GY-BMP280

Микроконтроллер STM32 может быть программирован на нескольких языках, например C, C++ или Assembly. Для работы с датчиками и управлением двигателями дрона используются библиотеки, которые предоставляют производители микроконтроллера.

Программа, написанная для микроконтроллера, должна решать следующие задачи:

- выполнять чтение данных с датчиков и обрабатывать эту информацию для определения положения дрона и его ориентации в пространстве;

- управлять двигателями дрона в соответствии с его текущим положением и ориентацией в пространстве;

- реализовывать алгоритмы стабилизации и автопилота, которые позволят дрону сохранять стабильность полета и выполнять задания в автоматическом режиме.

Перед тем, как устанавливать программу на реальный микроконтроллер, необходимо проверить ее работу на эмуляторе. После установки программы и настройки всех компонентов полетного контроллера и дрона (подключение датчиков, двигателей, питания, связи) важно провести тестирование и отладку [9]. Данное действие позволяет выявлять возможные проблемы и недостатки в работе системы. Тестирование бывает следующего вида:

- проверка работы датчиков. Убедится, что все датчики корректно и точно передают данные о положении, скорости и ориентации дрона;

- проверка двигателей. Работа двигателей должна соответствовать показаниям датчиков, они должны корректно изменять скорость и направление вращения;

- проверка автопилота. При выполнении нескольких тестовых полетов удостовериться, что система стабилизации дрона и автопилот работают в соответствии с заложенным заданием;

Если при тестировании полета дрона возникнут какие-либо проблемы, то необходимо провести отладку, которая позволит найти и устранить источник неполадки. Отладка включает в себя проверку программного обеспечения, электроники и оборудования.

Список литературы

1. Богданов, Ю. С. Конструкция вертолетов: Учебник для авиационных техникумов / Ю. С. Богданов, Р. А. Михеев, Д. Д. Скулков. – М.: Машиностроение, 1990. - 272 с.: ил.- ISBN 5-217-01047-9/

2. Дудник, В. В. Конструкция вертолетов. – Ростов н/Д: Издательский дом ИУИ АП, 2005. – 158 с. – ISBN 5-94596-015-2.

3. Никифоров С.М., Вертегел В.В., Савинов В.В., Симонов И.А. Особенности разработки аппаратной части полетного контроллера БПЛА // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. 2019. № 2. С. 53.

4. ПРИМЕР СОЗДАНИЯ ПОЛЕТНОГО КОНТРОЛЛЕРА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГОГ АППАРАТА НА БАЗЕ МК STM32 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/primer-sozdaniya-poletnogo-kontrollera-bespilotnogo-letatelnogo-apparata-na-baze-mk-stm32/viewer – дата обращения: 12.01.2024.

5. STM32.pdf – Яндекс Документы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://clck.ru/37qFAt – дата обращения: 12.01.2024.

6. GY-521 – MPU-6050 3x осевой гироскоп + акселерометр [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://tixer.ru/catalog/modules/sensor-modules/gy_521_mpu_6050_3kh_osevoy_giroskop_akselerometr/?yclid=6843653643477975039 – дата обращения: 12.01.2024.

7. Магнитометр GY-271 на чипе HMC5883L [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://umnaya-elektronika.ru/datchiki/prostranstvennye/magnitometrgy271nachipehmc5883l/?ysclid=lrdiyx7dnu642588997 – дата обращения: 12.01.2024.

8. Датчик атмосферного давления BMP280 (GY-BMP280-3.3) | купить [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://mcustore.ru/store/datchiki-i-sensory/datchik-atmosfernogo-davleniya-bmp280-gy-bmp280-3-3/?ysclid=lrdiwcn1u3262170465 – дата обращения: 12.01.2024.

9. Дрон своими руками: Урок 6. Проверка работоспособности. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://dronomania.ru/faq/dron-svoimi-rukami-urok-6-proverka-rabotosposobnosti.html?ysclid=lrdis43ndo387467509&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F – дата обращения: 12.01.2024.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ПРОГРАММЫ SIMINTECH

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

Данная программа позволяет продемонстрировать процесс работы водонагревательных котлов, работу насосов и блока управления котлом, позволяющего контролировать температуру нагрева воды.

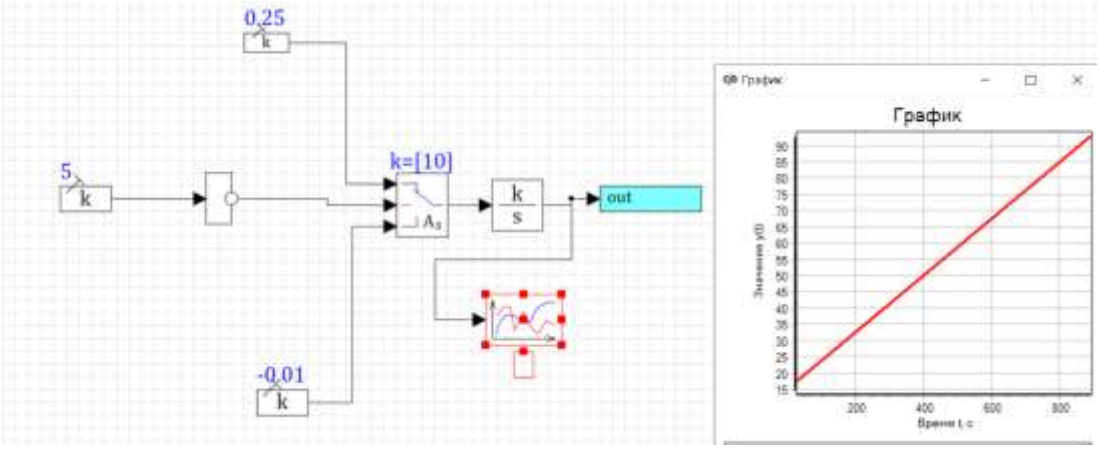
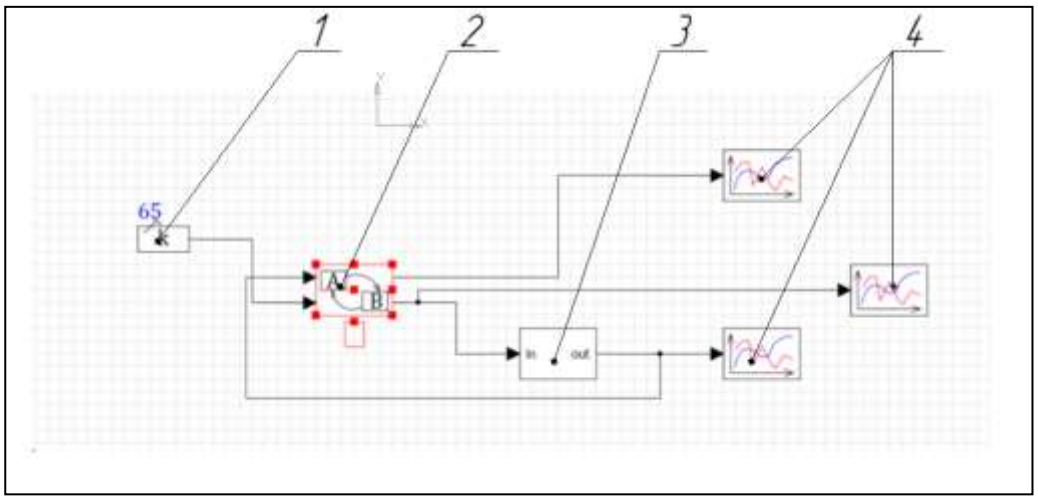


Рисунок 1 - Схема реализации водогрейного котла в программе SimlnTech

Для имитации работы котла используются 2 блока константы, верхний блок имитирует, нагрев на 1 градус за 1 секунду, а второй блок остывание на 0.1 градус. Во время работы констаты подают сигнал с заданной величиной на ключ, который попеременно берет, то с одного сигнала, то с другого, а интегратор складывает, вычитает, значения. Рисунок 2 отображает бесконтрольный нагрев котла, т.е необходимо присутствие человека, отключающий/включающий этот элемент отопительной системы. Да бы исключить человеческий фактор, на рисунке 3,5 показана имитационная модель автоматизированной системы контроля за температурой котла.

На рисунке 4 можно заметить, что с 530 секунды температура воды, нагреваемая котлом, перестает расти в верх, а только остывает и останавливается на отметке в 65 градусов. Это обуславливается работой блока управления котлом, который контролирует температуру в заданном интервале, имитационная модель представлена на рисунке 20.



1 - Блок константы; 2 - Карта состояний; 3 - Блок управления котлом; 4 - Графики

Рисунок 3 - Имитационная модель блока управления.

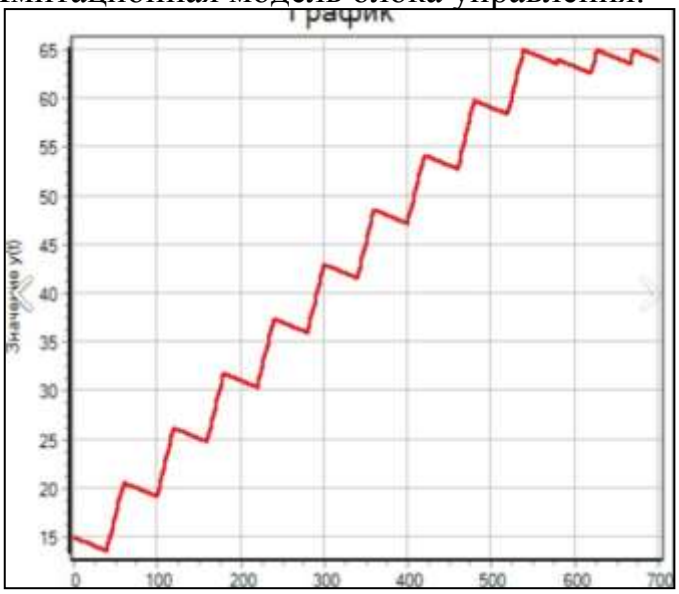


Рисунок 4 - Результат имитации работы водогрейного котла в программе SimlnTech.

При помощи блока 1 задается ограничение по температуре. По достижению температуры в 65 градусов блок 2 отключает расчет блока 3, до тех пор, пока значение температуры не опуститься.

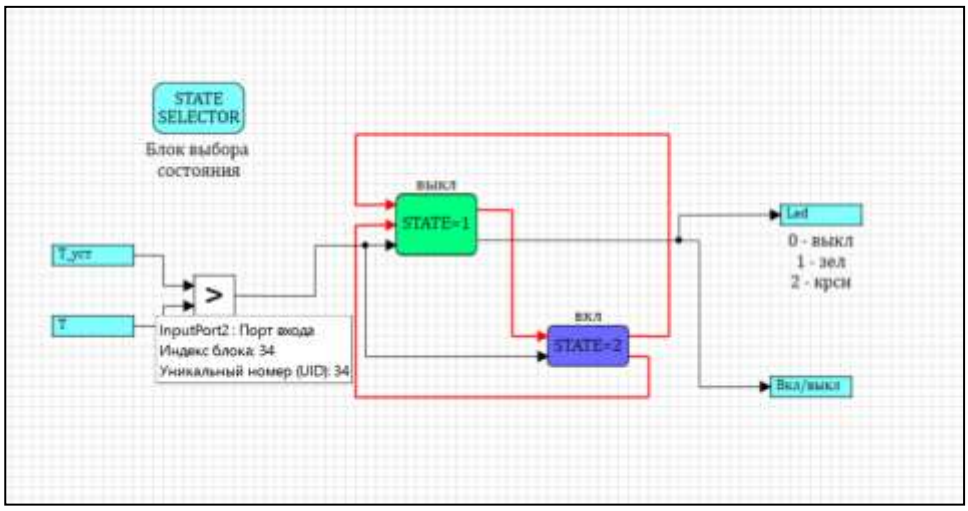


Рисунок 5 - Карта состояний

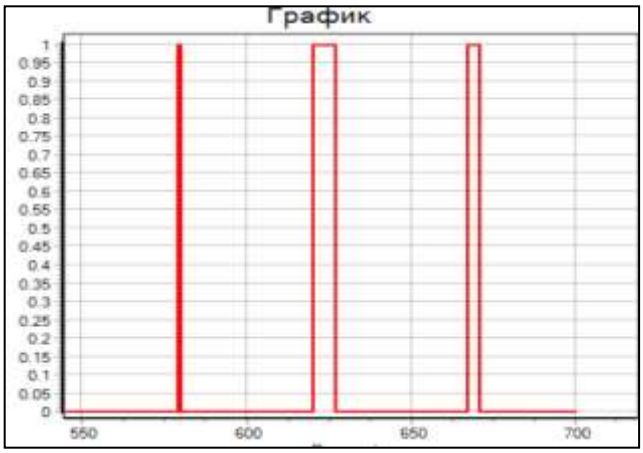


Рисунок 7 - Визуализация периодического отключения водогрейного котла блоком управления.

Аналогично работе котлов, составляется схема работы автоматики насосов. Как описывалось раннее, работа автоматики заключается в том, чтобы через определенное время переключались насосы. По такой логике работают все типы насосов: подпиточные насосы, насосы ГВС, сетевые насосы и насосы исходной воды (если имеется резервный). Схема моделирует 2 режима работы: ручной (принудительный) и автоматический. В автоматическом режиме насосы работают в зависимости от контроллера, который подает сигнал на пуск или остановку насосов, либо выполняет переключение работы с одного на другой и т.д. В принудительном режиме на щите ЩА выставляют автоматы насосов на ручную работу. Данное решение позволяет обойти автоматический режим работы и запустить работу насосов принудительно. Это необходимо при неисправности работы автоматики или при пусконаладочных работах и ТО.

Схема логики работы насосов представлена на рисунке 8.

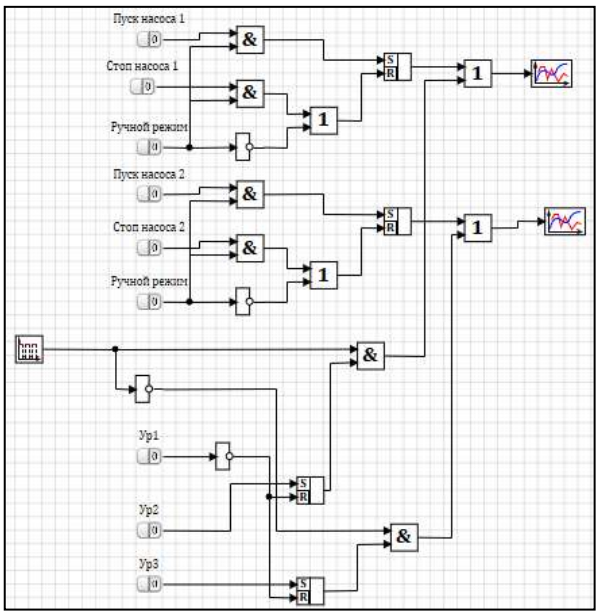


Рисунок 8 – Схема логики работы насосов

В принудительном режиме насосы работают от включенного автомата. Имитация ручного режима работы насосов представлена на рисунке 8.

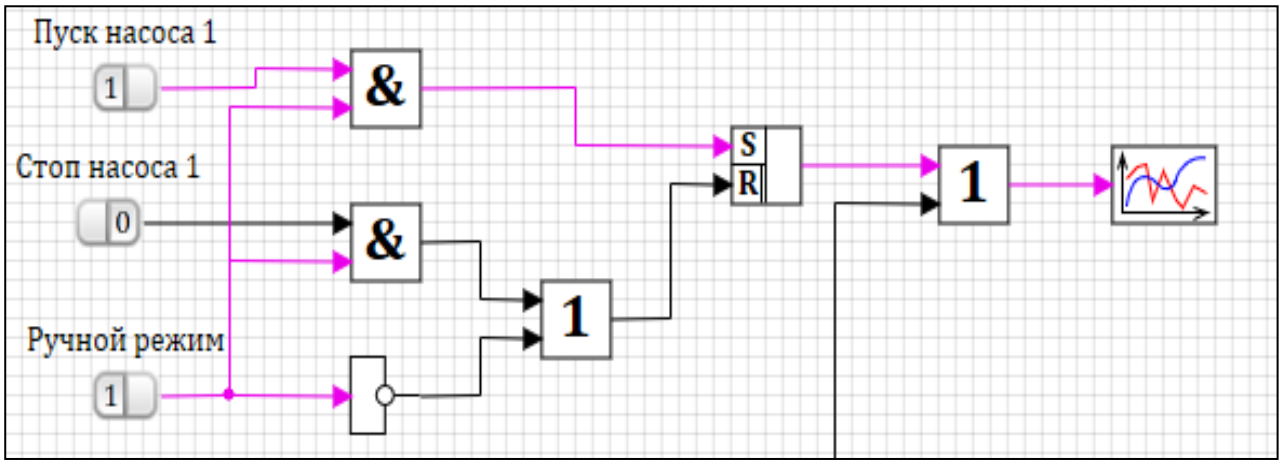


Рисунок 9 – Ручной режим работы насосов

При включении автомата остановки насоса, схема останавливает работающий насос и переходит в режим ожидания и отключения. График насоса при отключении показан на рисунке 26.

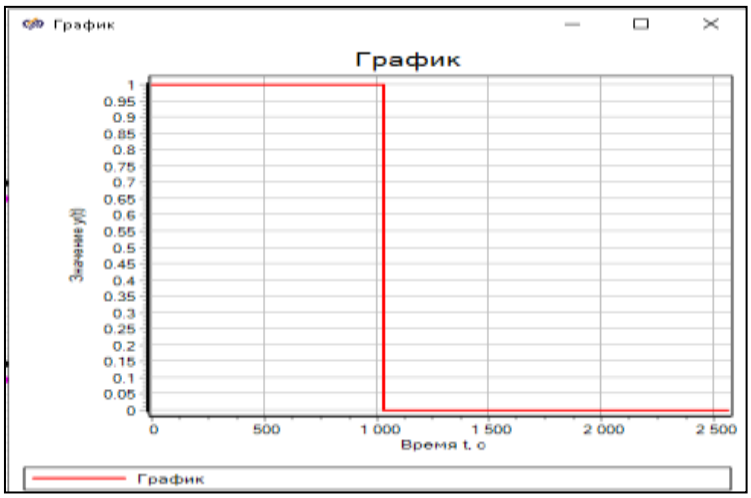


Рисунок 11 – Работа схемы при отключении насоса

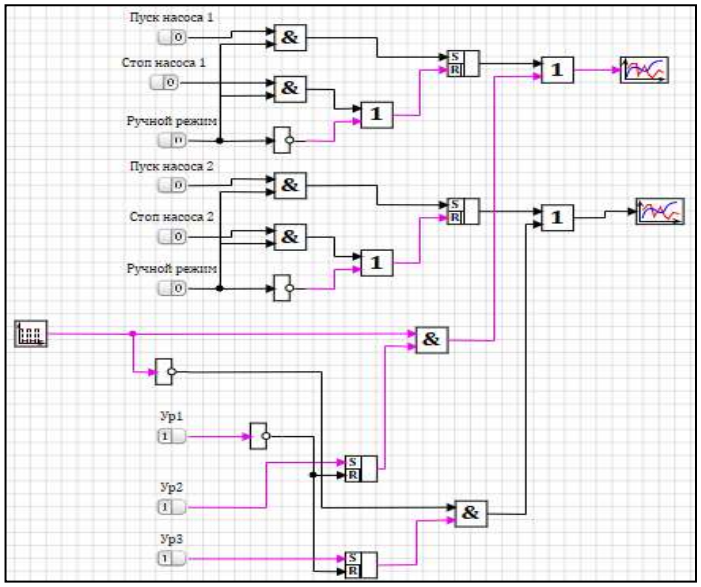


Рисунок 11 – Схема работы насосов в автоматическом режиме

Как описывалось раннее, схема автоматики переключает насосы в автоматическом режиме по установленному времени. График такого режима представлен на рисунке 28.

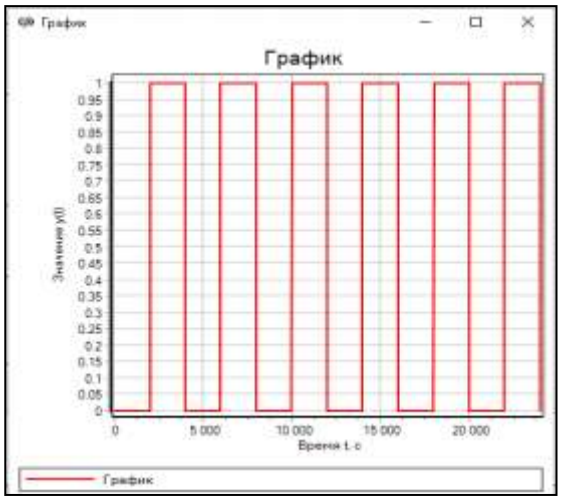


Рисунок 12 – График переключения насосов в автоматическом режиме

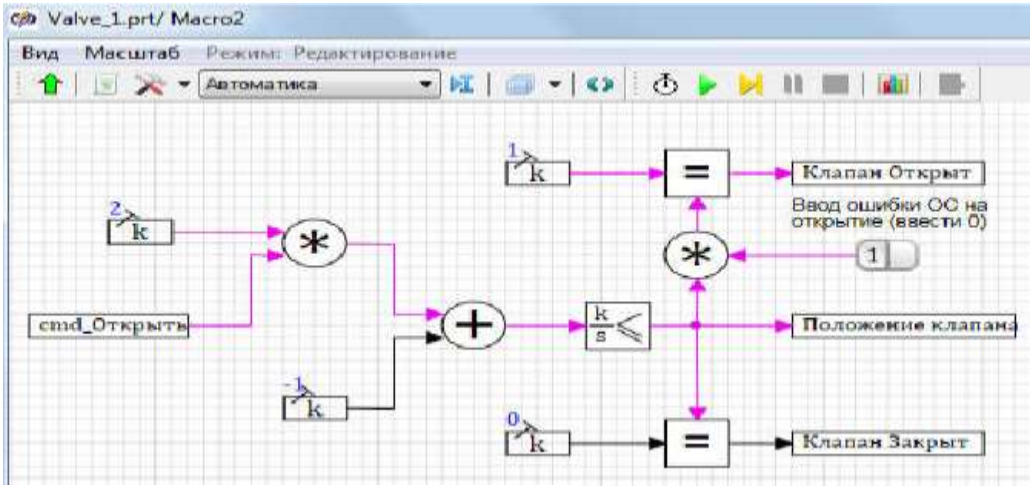


Рисунок 13 - Модель работы клапана

Перемещения клапана моделирует блок "Интегратор с ограничениями" из закладки "Динамические". В настройке его свойств должны быть определены параметры, характерные для конкретного клапана. В частности, параметры на рис. 6 определяют клапан, закрытое состояние которого характеризуется значением 0 (Ymin), а открытие на 100% определяется значением 1 (Ymax). Скорость перемещения клапана задает параметр k, который в данном примере (k=0.2) соответствует полному перемещению клапана за 5 сек.

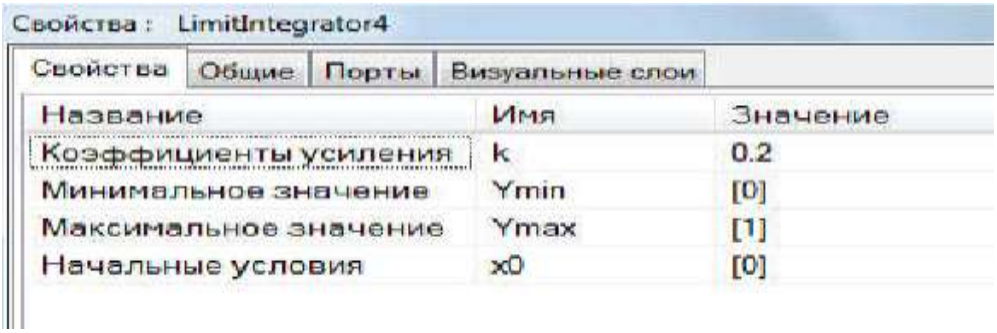


Рис.14 - Определение параметров работы клапана

Данная реализация предолагает, что сигнал от кнопки «Открыть/Закрыть» передается не только на субмодель клапана, но определяет работу алгоритма управления, который от этой субмодели также получает сигналы о конечных состояниях. Он формирует сигналы о том, что клапан находится в процессе закрытия или открытия, а так же сигналы неисправностей при невыполнении этих процессов за заданных промежуток времени.

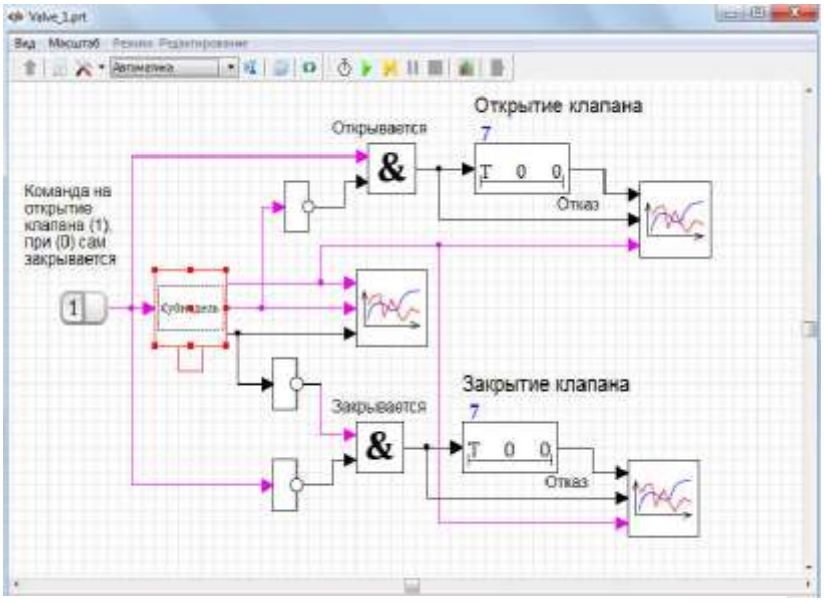


Рис.15 - Модель функционирования системы управления

Результаты моделирования приведены на рис. 8. На верхнем графике отображаются сигналы положения клапана, его работе и отказе при открытии и на оборот на нижнем.

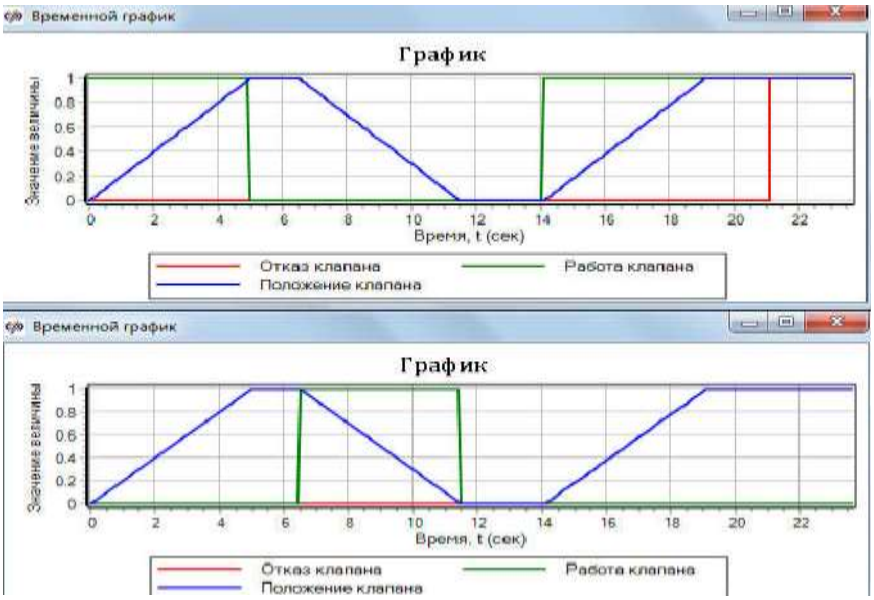


Рисунок 16 - Результаты моделирования

Таким образом, можно сделать вывод, что схемы, собранные при помощи среды динамического моделирования SimlnTech, отображают реальный процесс работы котельного оборудования с применением элементов автоматизации.

Список литературы

1. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech/ Карташов Б.А. и [др.] − Москва:ДМК Пресс, 2017. – 423 с.

2. Практикум по моделированию систем автоматизированного регулирования SimInTech/ Карташов Б.А. и [др.] − Москва:ДМК Пресс, 2017. – 423 с.

О РАЗРАБОТКЕ КУРСОВ В MOODLE ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

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»

Курс на цифровую трансформацию образования ведет к изменению методик, методов и организационных форм учебной работы, а также оценивания достигнутых результатов в быстроразвивающейся цифровой среде. С целью повышения эффективности учебного процесса и качества полученных знаний обучающимися в настоящее время активно используются различные системы дистанционного обучения. В Оренбургском государственном университете (ОГУ) на протяжении многих лет используется одна из наиболее распространенных в мире систем для учебного процесса - обучающая среда Moodle. Возможности системы дистанционного обучения Moodle широко известны [1, 2], за годы использования в университете наряду с достоинствами системы были выявлены недостатки и проблемы, о которых будет указано далее. В ОГУ требования к наполнению курса за последние годы непрерывно возрастают. В связи с этим возникает вопрос о том, какие элементы курсов по электротехническим дисциплинам являются необходимыми и могут заинтересовать обучающихся. Насколько успешно дистанционные ресурсы могут быть интегрированы с традиционными формами обучения?

Целью статьи является обмен опытом использования и формирования курсов по электротехническим дисциплинам в Moodle.

Самостоятельная работа студентов с курсом в системах дистанционного обучения будет эффективной, если выполняются условия, описанные в [3]:

1) обеспечение правильного сочетания объемов аудиторной и самостоятельной работы;
2) методически правильная организация работы студента в аудитории и вне ее, правильное понимание студентами необходимости самостоятельной работы;
3) обеспечение студентов методическими материалами с целью превращения самостоятельной работы в творческий процесс;
4) контроль за ходом самостоятельной работы и наличие мер, поощряющих студентов за ее качественное выполнение.

По окончанию изучения курсов электротехники и основ электроники и теоретических основ электротехники (ТОЭ) студентами Аэрокосмического института (АКИ) и Института энергетики, электроники и связи (ИЭЭС) ОГУ был проведен опрос об их опыте обучения в среде Moodle, в частности, курсов «Электротехника и основы электроники», «Теоретические основы электротехники». Всего было опрошено 94 человека (100 %) [4].

Результаты опроса показали следующее:

1) Два студента (2,1 %) ответили, что не используют Moodle для самостоятельной работы. Соответственно использование компьютерных сред для обучения и реализация самостоятельной работы в них возможны только по инициативе самих обучающихся. По нашим собственным наблюдениям вход в курсы чаще всего осуществляется накануне промежуточной и итоговой аттестаций.
2) Четыре студента (4,2 %) считают систему Moodle бесполезной и используют только для выполнения контрольных заданий и тестирования по требованию преподавателя. В то же время, оставшиеся 95,8 % опрошенных отметили такие положительные моменты использования системы Moodle, как возможность удаленного доступа к учебным ресурсам в любое время, гибкий график учебного процесса, удобные формы тестирования и возможность дистанционного общения с преподавателями через форум или сообщения.
3) Среди ресурсов курсов, по итогам опроса, наиболее используемым оказались тексты лекций, их читают 67,7 % студентов; на втором месте оказались примеры расчетов электрических цепей и устройств - 58,3 %; на третьем - презентации лабораторных работ, 56,4 %; на четвертом – презентации лекций, 47 %. Дополнительными материалами, то есть ссылками на профессиональные ресурсы, электронные учебники и пользуются только 39,5 %. Таким образом, тексты лекций являются самыми востребованными ресурсами.

Согласно требованиям, предъявляемым при регистрации электронных курсов в Moodle в УФЭР ОГУ, в контенте курса лекции должны быть представлены в трех видах: видео лекция (из расчета 1 ролик на 1 час лекций из РП), презентация, лекция в формате HTML (элемент курса лекция или страница из расчета 1 лекция/страница на 1 час лекций из РП). Опрос студентов показал, что текст лекции они предпочитают использовать в форматах pdf или doc, так ответили 67,7 % студентов, то есть все, кто использует при самостоятельной работе текстовый вариант. Формат HTML выбрали 0%. Пожелания по видео контенту у студентов также различаются и не соответствуют требованиям УФЭР ОГУ. Так 33,8 % опрошенных студентов хотят, чтобы видео лекции были представлены в формате записи он лайн трансляции лекционных занятий, проходящих в аудитории, 15 % студентов устраивают лекции в формате скринкаст. В тоже время оставшиеся 51,2 % не считают видео лекции обязательным компонентом курса при наличии в контенте текста лекции.

К практическим заданиям в УФЭР также предъявляются значительные требования, в том числе видео инструкция по выполнению задания. Это требование вызывает большую поддержку у обучающихся, за него проголосовали 62 %. Получение пошагового выполнения практического задания с видео демонстрацией однозначно приведет к снижению результатов обучения, так как в этом случае обучающийся выполняет задание по образцу из видео, не принимая самостоятельных решений. На лабораторных работах по

электротехнике обучающиеся получают практический навык по сборке электрических схем, процесс должен быть осознанным. Ошибки сборки на учебных стендах не вызывают, как правило, серьезных проблем, но помогают студентам приобрести опыт. При повторении сборки электрической схемы за видео демонстрацией студент механически соединяет элементы.

Тестирование при изучении курсов электротехники и ТОЭ на сегодняшний день является неотъемлемой частью учебного процесса и является обязательным компонентом электронных курсов обучения. Опрос показал, что 8% студентов выступают против тестирования, 45% студентов считают, что тестирование не объективно оценивает их знание, 47% студентов положительно относятся к тестированию и согласны с его результатами. Наиболее негативное отношение у обучающихся вызывают тестовые задания открытого типа, против таких вопросов выступают 20,7% опрошенных студентов. При пояснении своей позиции обучающиеся ссылались на непонимание того, в какой форме должен быть ответ, несмотря на инструкции. Так как даже формулировки законов в различных источниках толкуется по-разному. Открытые вопросы (эссе), предусматривают свободное изложение какой-либо проблемы и её интерпретации, обоснования авторской позиции. Изложение авторской позиции или интерпретация проблемного вопроса в электротехнике – это отдельное научное исследование или научный проект. Объем такой работы не соответствует времени ответа на тестовое задание. Закрытый тип вопросов предпочитают 88,4% студентов. Такие вопросы уже содержат варианты ответов и являются для студентов наиболее понятными. Тем не менее, тестирование, предусмотренное по каждой теме в курсах Moodle по электротехнике, студенты проходят успешно.

В процессе работы с курсами в среде Moodle и в качестве преподавателей, и в качестве обучающихся был выявлен ряд проблем, часть из них относится ко всем системам электронного обучения: качество электронных курсов, правовые проблемы, связанные с защитой интеллектуальной собственности, затраты на подготовку электронных курсов и их обновление, отсутствие обратной связи при изучении материала, при наличии которой преподаватель может мгновенно отреагировать и перестроить учебный материал, сделать его более доступным для обучающихся.

Форумы и личные сообщения в Moodle могут быть использованы для рассылки рекламы и информации, не имеющей отношения к учебному процессу.

В организационном плане в ОГУ очень сложный процесс откреплення отчисленных и завершивших обучение студентов с курсов, поэтому на ОПД дисциплинах количество зачисленных студентов измеряется сотнями.

На основании вышеизложенного, делаем вывод, что интеграция традиционных и современных дистанционных технологий в организации учебного процесса в высшей школе позволяет добиться более эффективного качества учебного процесса. Созданные на базе Moodle электронные курсы по электротехнике и ТОЭ способствуют совершенствованию образовательных

технологий ИЭЭС ОГУ путем внедрения современных интернет- и информационно-коммуникационных технологий в образовательную среду и направлено на повышение степени престижности и конкурентоспособности ИЭЭС ОГУ на рынке образовательных услуг.

Список литературы

1. Лаврентьев Г. В. Дистанционное обучение: теоретико-методологические основы // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2012. — Вып. 2 (25).

2. Цапко Е. А., Камал М. Н. Moodle – современная интернет-среда в образовательных технологиях вуза // Векторы благополучия: экономика и социум. 2013. №4 (10). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/moodle-sovremennaya-internet-sreda-v-obrazovatelnyh-tehnologiyah-vuza (дата обращения: 21.12.2023).

3. Коржуев А.В., Полков В.А. Традиции и инновации в профессиональном образовании. – М.: Издательство Московского университета, 2003. — 300 с.

4. Долженко Ю.Ю., Позднякова А.С. Онлайн анкетирование как современный и эффективный способ исследования // Транспортное дело России. 2015. №1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/onlayn-anketirovanie-kak-sovremennyy-i-effektivnyy-sposob-issledovaniya (дата обращения: 15.10.2023).

5. . Быковская, Л. В. О разработке и применении тестовых заданий при изучении электротехники [Электронный ресурс] / Л. В. Быковская, Н. Ю. Ушакова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 26-27 янв. 2023 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Пыхтин. - Оренбург : ОГУ,2023. - . - С. 1053-1057. . - 5 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»

Ушакова Н.Ю., канд. техн. наук, доцент,
Быковская Л.В., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Дисциплина «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) традиционно относилась к дисциплинам, без изучения которых нельзя приступать к изучению специальных электротехнических дисциплин. Это дисциплина, в которой всегда давались фундаментальные знания по основным законам и методам расчета электротехники, формировались навыки анализа электрических цепей любой сложности в различных режимах работы, экспериментальных исследований и работы с электроизмерительными приборами.

В последние годы преподаватели, ведущие эту дисциплину, отмечают существенное снижений знаний обучающихся на выходе, несмотря на предпринимаемые усилия со стороны преподавательского состава. Значительное число студентов неспособно выйти за рамки репродуктивного уровня, малейшие отклонения от типовых задач вызывают затруднения в выполнении заданий, несмотря на многочисленные методические разработки и пособия [1].

Этому, конечно, есть и общие причины, к которым можно отнести:

– снижение общего уровня подготовки выпускников школ по математике и физике после введения ЕГЭ;

– увеличение доли студентов со средним профессиональным образованием, причем выпускников не только колледжей, но и техникумов после получения рабочих специальностей;

– отсутствие умения самостоятельной работы у значительного числа обучающихся;

– сложности применения со стороны вуза жестких мер дисциплинарного воздействия к неуспевающим и.т.д.

Однако, одной из основных причин, все-таки является неуклонное снижение аудиторной работы, нерациональное распределение часов по видам занятий, нарушение логики изучения дисциплин в учебном плане, введение таких нетрадиционных для ТОЭ видов самостоятельной работы как курсовая работа

В этой связи интересно проследить исторические и современные тенденции изменения содержания и объема дисциплины ТОЭ на примере одной из основных электроэнергетических специальностей «Электроснабжение» (код и точное название специальности отличались в разные годы).

В СССР содержание высшего образования было строго регламентировано и унифицировано. Министерством были разработаны типовые учебные планы по всем имеющимся на тот момент специальностям ВПО, по которым все вузы страны осуществляли обучение. На портале Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования [2] есть специальный раздел «Исторические методические документы», в котором выложены типовые учебные планы, утвержденные Министерством высшего и среднего специального образования СССР в 1975 и в 1984 году. На том же портале выложены архивы утвержденных в разные годы образовательных стандартов ГОС ВПО, ФГОС ВПО, ФГОС ВО, действующие в настоящее время ФГОС ВО 3++ и проекты ФГОС 4.

В таблице приведены часы на дисциплину ТОЭ из всех перечисленных выше документов и их разбиение по видам занятий и семестрам.

Таблица 1

Документ, год	**Всего часов**	**Лекции, часов**	**Лабораторные занятия, часов**	**Практические занятия, часов**	**Примечание**
Типовой уч. план 1975 г.	269 ауд.	170	68	51	Семестры 3, 4, 5
Типовой уч. план 1984 г.	289 ауд.	136	68	85	Семестры 3, 4, 5
ГОС ВПО 1993, 2000 г.	340= =204 ауд.+ 136 сам.	не регламентировано			Семестры 3, 4, 5
Остальные ФГОС	не регламентировано				
Примерная ООП 2018 г.	360 (ауд+сам)	не регламентировано			Семестры 3, 4 Курсовая работа
Проект ФГОС 4	не регламентировано				

Из таблицы хорошо видно, что с каждым последующим стандартом усиливался его так называемый «рамочный характер». Если в старых планах были четкие рекомендации по часам, видам занятий, семестрам, то начиная с первых ФГОС, отсутствуют рекомендации по перечню дисциплин, по часам на каждую из них. Ожидалось, что УМО разработают примерные образовательные программы, но из-за реорганизации сети УМО и лишения их ряда полномочий этого сделано не было.

Все вышеперечисленные факты в конечном итоге привели к полному разнобою в самостоятельно разработанных вузами учебных планах. В таблице 2 приведены выдержки для ТОЭ из размещенных на официальных сайтах действующих учебных планов двух ведущих электроэнергетических

российских вузов: Национальный исследовательский университет «МЭИ» [3] и Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ) [4]. Для сравнения там же приведены часы из учебного плана ОГУ для направления «Электроснабжение».

Таблица 2

ВУЗ	**Всего часов/з.е.**	**Лекции, часов**	**Лабораторные занятия, часов**	**Практические занятия, часов**	**Примечание**
МЭИ	720 (311 контакт.) 20з.е.	32 32 32	32 32 32	48 32 32	Семестры 3, 4, 5
КГЭУ	324 (157 контакт.) 9 з.е.	16 0	16 0	50 34	Семестры 3, 4
ОГУ	396 (135 контакт.) 11 з.е.	34 34	18 18	18 18	Семестры 2, 3

Из таблицы видно, что МЭИ придерживается традиционного объема нагрузки, дисциплина ведется три семестра, все виды занятий распределены по семестрам равномерно. У КГЭУ количество зачетных единиц меньше более чем в два раза, занятия рассчитаны на два семестра, причем во втором семестре предусмотрены только практические занятия по курсовой работе, лекций и лабораторных работ нет.

ОГУ придерживается золотой середины. Занятия ведутся 2 семестра. Но существенным недостатком, что начинаются они во втором семестре, когда еще не пройден раздел «Электричество» по физике и основные необходимые разделы по математике. Это тоже существенно влияет на качество подготовки по ТОЭ.

Аналогичная тенденция прослеживается исторически и в содержании дисциплины ТОЭ. В СССР были подробнейшие типовые рабочие программы. Первые образовательные стандарты ГОС ВПО содержали перечень так называемых дидактических единиц, освоение которых обучающимися и проверялось при аккредитации. Переход к компетентностному подходу во ФГОС все требования к содержанию дисциплин свел к нескольким компетенциям, к которым можно привязать дисциплину ТОЭ. Это в свою очередь привело к разнообразию разделов, рассматриваемых в ТОЭ в различных вузах, последовательности их освоения.

Естественно, подобная ситуация в электротехническом образовании является недопустимой. Остается надеяться, что начатый сейчас Минобрнауки

постепенный переход к программам специалитета приведет к разработке типовых документов и в целом повысит качество подготовки выпускников.

Список литературы

1. Ушакова, Н. Ю. Курс электротехники в условиях перехода к цифровой трансформации [Электронный ресурс] / Н. Ю. Ушакова, Л. В. Быковская // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 26-27 янв. 2023 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Пыхтин. - Оренбург : ОГУ,2023. - . - С. 1050-1052. . - 3 с.

2. Портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования : [сайт]. URL: https://fgosvo.ru/support/index/46

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» : [сайт]. URL: https://mpei.ru/Pages/default.aspx

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» » : [сайт]. URL: https://kgeu.ru/

5. Быковская, Л. В. Об оценке курсовых работ по теоретическим основам электротехники [Электронный ресурс] / Л. В. Быковская, Н. Ю. Ушакова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 25-27 янв. 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. 2901-2904. . - 4 с.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВЕННЫХ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ

Вагапов Д.Д., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Промышленность остро нуждается в контроле выпускаемой продукции, в частности: в выявлении дефектов, инспекции целостности, поиске несоответствий, в определении угловых и линейных размеров, расстояний между элементами и т.д.

Значительную помощь в этом может оказывать использование технологии машинного зрения.

В 2012 году, ООО «Совтест АТЕ» был выпущен первый промышленный образец системы машинного зрения **FT-Vision**. Его назначение - автоматизированный входной контроль на предприятиях, а также обнаружение и распознавание различных дефектов, например, отклонение от геометрических параметров или неправильность маркировки.

Входной контроль, согласно ГОСТ, выполняется с целью выявления бракованных изделий, их изоляции и ведения статистического анализа [1]. Входной контроль включает 2 этапа. На первом осуществляется внешний осмотр продукции и наличие сопроводительных документов. На втором - проверка качественных характеристик продукции. При выполнении внешнего осмотра особое внимание уделяется наружному виду, геометрическим параметрам, маркировке компонентов. Нередко все эти операции выполняет целый штат сотрудников при визуальном контроле. Применение системы FT-VISION позволяет минимизировать использование человеческих ресурсов и исключить человеческий фактор в принятии решения о качестве продукции.

Наряду с многофункциональностью, система FT-Vision обладает такими преимуществами, как гибкость и простота в использовании. Немаловажно и то, что спецификация системы определяется исходя из требований и производственных задач конкретного заказчика, что обеспечивает индивидуальный подход и максимальную точность контроля.

Основные функции программного обеспечения FT-Vision [1]:

- Контроль геометрических параметров объекта
- Контроль выводов
- Контроль дефектов корпуса
- Контроль маркировки
- Отслеживание контура объекта
- Сбор статистики
- Анализ цветного изображения

- Создание библиотеки компонентов
- Распознавание штрих-кодов, QR-кодов, матричных кодов, символов.

Технология машинного зрения дает промышленному оборудованию способность «видеть» то, что оно делает, и быстро принимать решения на основе полученных данных. Чаще всего машинное зрение используется для визуальной инспекции и обнаружения дефектов, позиционирования и измерения деталей и для идентификации, сортировки и отслеживания продукции.

Машинное зрение — это одна из основополагающих технологий промышленной автоматизации. Оно помогает повышать качество продукции, оптимизировать логистику и ускорять производство уже не одно десятилетие. Сейчас эта испытанная технология объединяется с искусственным интеллектом и становится двигателем четвертой промышленной революции [1].

В промышленности данная технология используется в системе видеонаблюдения для поддержания безопасности на производстве, рисунок 1.

Рисунок 1- Система видеонаблюдения на промышленном объекте

Например, если сотрудник нарушил правила безопасности, то умная камера это увидит — и сразу же сообщит в ситуационный центр. То же самое произойдет, если будет нарушен периметр безопасности, то есть на территории появится человек, которого там быть не должно.

Видеонаблюдение – важная часть физической безопасности. Видеонаблюдение с участием человека, по большей части, сводится к длительным периодам ожидания чего-то необычного на видеомониторе. Это очень важная работа, но очень утомительная. По оценкам психологов, среднее время удержания внимания человека на одном объекте не превышает 14 минут.

Поэтому были созданы системы интеллектуального видеонаблюдения IVS (intelligent video surveillance) на основе глубокого обучения, задачей

которых является распознавание необычных событий или предметов на кадрах видеонаблюдения. В настоящее время распределение рынка компьютерного зрения по областям применения в РФ, в процентном соотношении выглядит так, как представлено на диаграмме, рисунок 2.

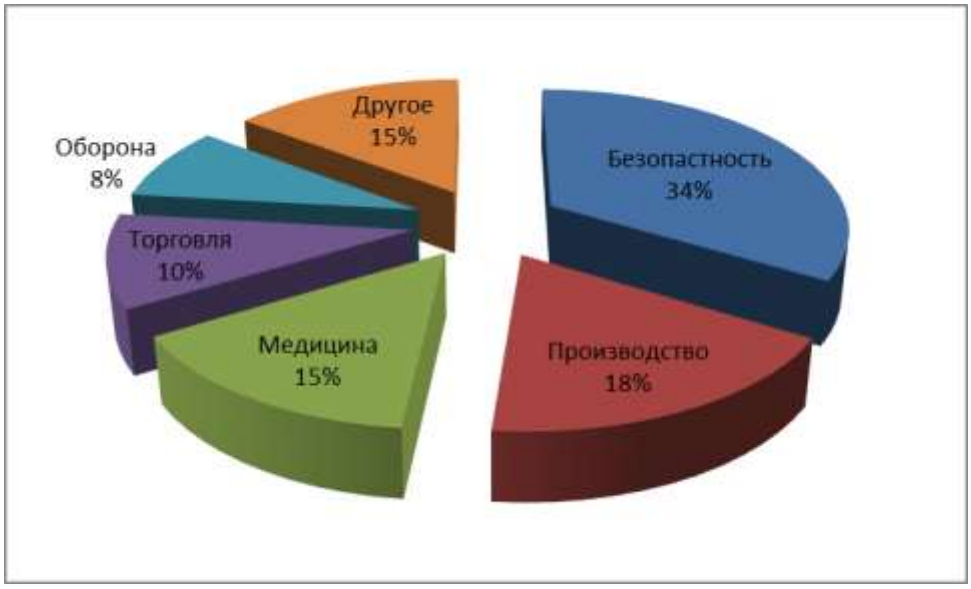


Рисунок 2- Распределение рынка компьютерного зрения по областям применения в РФ

Естественно, что на первом месте система безопасности. Достаточно большую процентную долю занимает промышленное производство.

Рассматривая производственные процессы, следует отметить, что системы машинного зрения позволяют: выполнять измерения геометрических размеров деталей с высокой точностью до 0,01 мм (практически без погрешностей); определять размеры независимо от трансформации положения детали; измерять размеры независимо от условий окружающей среды, в частности, освещения, угла падения и отражения света [2].

Геометрические параметры с чертежей, часто переносятся на технологический объект с определенными допусками и посадками, поэтому точность изготовления изделий (толщина, длина, ширина, отклонения от симметричности, концентричности и смещения), достигается путем использования машинного зрения [3].

Скорость инспекции ответственных деталей, в десятки раз выше профессиональных, человеческих возможностей (например, измерение до 400 деталей в минуту, при 100% точности).

Анализируя возможности применения машинного зрения в медицине, целесообразно оценить геометрическую точность в несколько тысячных миллиметра, особенно при изготовлении имплантов.

Достоинством машинного зрения является бесконтактное определение геометрических размеров, как готовых деталей, так и заготовок для них при

непрерывном технологическом процессе. При этом происходит идентификация не только геометрической формы и размеров, но и внешнего вида, текстуры, цвета и т.д.

Для выполнения необходимых алгоритмических функций, основанных на технологиях машинного зрения, используется система инспекции поверхностей. Соответственно, появляется возможность обнаружения дефектов, посторонних включений, пятен, царапин, морщин на различных материалах, таких как пластмассы, бумага, полимерные пленки, фольга, стекло. Эти функции гарантируют 100% качество поверхности, устраняют ошибки сотрудников и сокращают их ручной труд, проводят автоматическую отбраковку дефектной продукции с внесением результатов в статистическую базу данных.

Достаточно широкий спектр применения технологии машинного зрения в торговле. Сюда следует отнести возможности проверки неограниченного количества показателей, таких как: наличие и положение продукции, определение срока годности, идентификация продукции по этикеткам, целостность упаковки, соответствие этикеток, распознавание маркировок и др.

Для повышения эффективности работы предприятия, контроля протекания производственных процессов, автоматизированного подсчета изделий и наличия заготовок к ним, фото фиксация любой технологической операции, незаменимым помощником считается машинное зрение. Его системы могут быть запрограммированы на решение различных проблем, как широкомасштабных, так и узкоспециализированных, включающих вышеперечисленные факторы.

Платформа обработки изображений осуществляет распознавание лиц, обнаружение движения, выявление статических объектов, защиту приватности, отслеживание маршрута перемещения людей, вскрытие аномалий, оценку силуэта человека. При обнаружении каких-либо необычных явлений, выдаются предупреждения, объект выделяется на экране рамкой и пр.

Машинное зрение используется для анализа изображений и сравнения их с существующим набором данных с целью обнаружения аномалий и предотвращения опасных ситуаций на производственных площадках, производственных линиях.

В случае аварии система машинного зрения может предупредить менеджеров и персонал о том, где произошла нестандартная ситуация, и о степени ее напряженности, чтобы можно было остановить производственный процесс на отдельном участке и обеспечить безопасность сотрудников.

Применение машинного зрения в системе видеонаблюдения позволяет значительно сократить риск ЧС на производстве и повышает эффективность рабочего процесса [4].

В 2019 году российский оператор IoT-решений «Центр2М» представил комплексную систему машинного зрения CenterVision с точностью распознавания до 98%. Работа платформы основана на подключаемых модулях.

Модуль состоит из нейросети и настраиваемой логики. Количество подключаемых к платформе модулей неограниченно. Модули являются совместимыми друг с другом и позволяют отрабатывать разные сценарии распознавания одновременно.

Таким образом, использование системы интеллектуального видеонаблюдения (IVS) на предприятии имеет свои положительные и отрицательные стороны [5]. Отрицательные:

- Может быть затратной из-за необходимости покупки специального оборудования и программного обеспечения
- Длительное обучение и настройка системы.
- Может иногда срабатывать ложно из-за различных факторов, таких как особенности освещения, движения предметов и других переменных, что может привести к чрезмерным тревогам.

Такие компании, как Hikvision, Dahua Technology, Bosch, Axis Communications и многие другие уже используют умные камеры на предприятиях: они применяют системы интеллектуального видеонаблюдения для обеспечения безопасности на своих объектах, предлагают IVS-решения и поставляют умные камеры для различных предприятий и организаций.

Данная система видеонаблюдения имеет многообещающие перспективы внедрения на все большее количество предприятий. Учитывая стремительное развитие нейросетей (искусственного интеллекта), некоторые отрицательные стороны данной системы могут исчезнуть, что сделает внедрение умных камер более доступным и менее затратным.

Список литературы

1. FT-Vision – машинное зрение для входного контроля ЭРИ на производстве «Совтест АТЕ» (Россия) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sovtest-ate.com/news/company-news/ft_vision-_-mashinnoe-zrenie-dlya-vkhodnogo-kontrolya-eri-na-proizvodstve-_sovtest-ate_-_rossiya/ - 23.10.2014 г.

2. Иванова А.П. Оценка отклонений в интервалах времени обслуживания и эксплуатации технической системы. Иванова А.П., Пискарёва Т.И., Межуева Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2017662438, 07.11.2017. Заявка № 2017619026 от 07.09.2017.

3. Дорохин А.М. Элементы геометрии в проектировании «умной» тротуарной плитки /Дорохин А.М., Иванова А.П. В сборнике: Молодежная наука в xxi веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы VI Международной научно-исследовательской конференции, посвященной 50-летию Самарского государственного университета путей сообщения. Самара-Оренбург, 2023. С. 80-84.

4. Компьютерное зрение: технологии, рынок, перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://surl.li/pfiex – 26.06.2019 г.

5. Center 2M CenterVision [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://surl.li/pfifj – 05.03.2019 г.

РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В MATLAB

Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Денисов Т.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

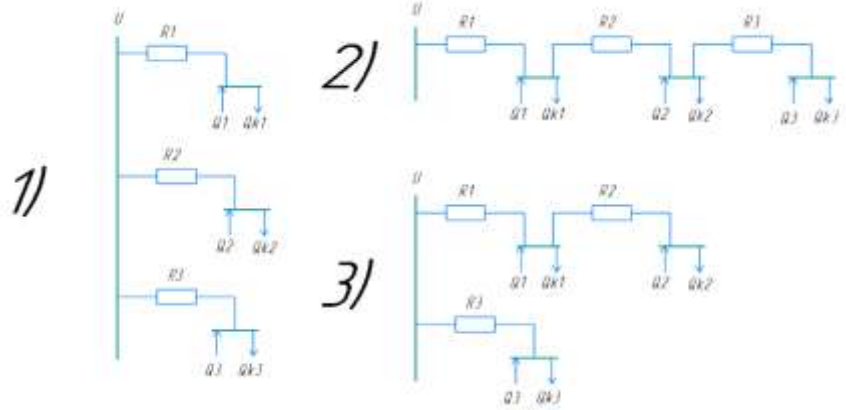
Любая система электроснабжения является потребителем как активной, так и реактивной мощности. Составляющая реактивной мощности напрямую ухудшает эффективность работы энергосистем со временем. В соответствии с приказом Министерства Энергетики № 380 от 23.06.2015 г. «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии» [1] значение коэффициента реактивной мощности должно лежать в допустимых значениях диапазона за счет соблюдения режимов потребления мощности или использования устройств компенсации реактивной мощности (КРМ).

Для компенсации реактивной мощности наилучшим вариантом на сегодняшний день является применение конденсаторных батарей и комплектных компенсирующих установок, так как отношение затрат на их приобретение, установку и эксплуатацию к стоимостному выражению уменьшения потерь мощности за счет установки КРМ минимально по сравнению с иными способами компенсации реактивной мощности.

В работе [2] отмечено, что наиболее целесообразным для выбора оптимальной мощности компенсирующих устройств и мест их расположения представляется использование искусственной нейронной сети (НС).

В качестве среды разработки искусственной НС выбран пакет расширения Neural Network Toolbox Matlab [2].

Рассмотрим этапы разработки нейронной сети в указанном пакете на примере выбора мощности и мест установки устройств КРМ в различных трехузловых схемах системы электроснабжения, представленных на рисунке 1.



1 – радиальная схема, 2 – магистральная схема, 3 – смешанная схема

Рисунок 1 – Простейшие трехузловые схемы электроснабжения

Этап 1. Подготовка данных.

Для корректного машинного обучения необходимо использовать два набора данных, полученных ранее. Первый из них будет подаваться на вход (inputs) создаваемой НС, а второй (targets) – на выход, чтобы указать, какие результаты необходимо получить.

В нашем случае входными данными являются: реактивная мощность каждого из 3-х узлов исследуемой системы электроснабжения и необходимая к компенсации реактивная мощность. Выходные данные – необходимая к компенсации реактивная мощность в каждом из узлов.

Входные данные для обучения НС получены посредством реализации в среде Mathcad алгоритма метода полного перебора (МПП) [3], так как именно этот алгоритм позволяет найти оптимальный результат по критерию минимальных потерь активной мощности.

На рисунке 2 представлен фрагмент интерфейса программы МПП для ввода исходных данных в среде Mathcad.

Рисунок 2 – Интерфейс ввода данных в Mathcad

На рисунке 3 представлены результаты работы программы.

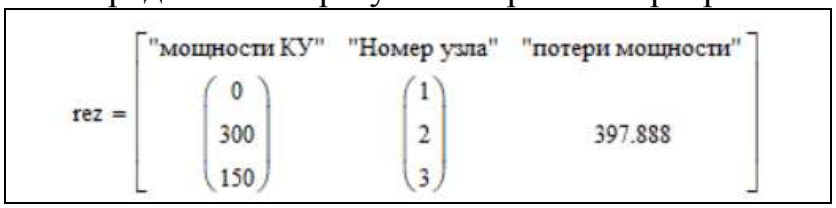
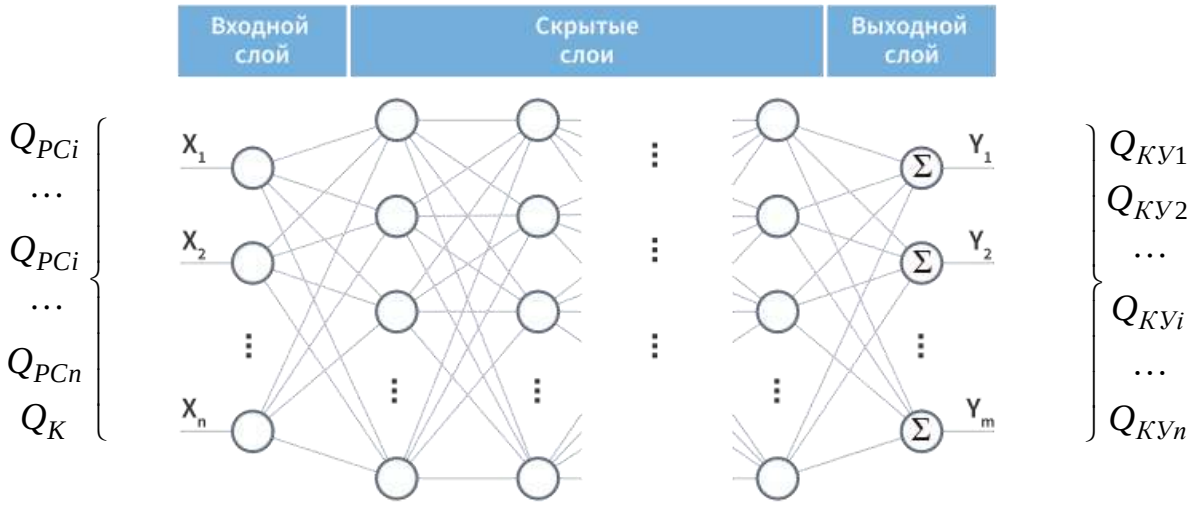


Рисунок 3 – Результат работы программы метода полного перебора

Этап 2. Выбор архитектура нейронной сети.

В работе выбрана архитектура многослойного персептрона, представленная на рисунке 4 [4].

Определены: количество слоев – 3; типы слоев – входные, скрытые и выходные и их параметры (количество нейронов – 40, функция активации – линейная).



Q_{PCi} – реактивная мощность i -го узла, кВА; Q_K – необходимая к компенсации полная реактивная мощность, кВА; Q_{KY_i} – реактивная мощность, подлежащая компенсации в i –м узле, кВА.

Рисунок 4 – Архитектура многослойного персептрона

Этап 3. Обучение нейронной сети.

Входные данные разбиты на:

– обучающую выборку (training), для которой выбрано использование 60% исходных данных;

– валидационную выборку (validation), для которой выбрано 30%;

– тестовую выборку (testing), для которой выбрано использование 10%.

На рисунке 5 представлено соотношение данных для обучения искусственной НС в Neural Network Toolbox.

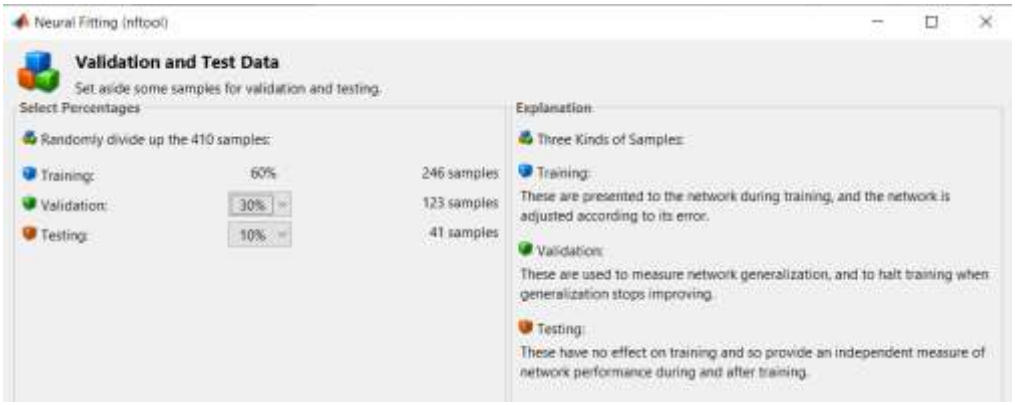


Рисунок 5 – Соотношение данных для обучения НС в Neural Network Toolbox

Определен алгоритм обучения НС – Байесовская регуляризация (Bayesian Regularization). Определена функцию потерь – среднеквадратичная (Mean Squared Error), используемая, когда необходимо предсказать непрерывные числовые значения.

Этап 4. Настройка гиперпараметров обучения, оптимизирующих процесс обучения нейронной сети.

Гиперпараметры обучения включают параметры, которые не могут быть изучены во время обучения нейронной сети, такие как скорость обучения (learning rate), количество эпох (epochs), размер пакета (batch size) и другие. Все эти параметры настраиваются исходя из заданных данных НС, их настройка может потребовать проведения нескольких экспериментов и проверки результатов на валидационной выборке [5].

Этап 5. Оценка производительности нейронной сети.

После завершения обучения осуществляется оценка производительности нейронной сети на валидационной выборке.

Для оценки результата обучения НС используются метрики, соответствующие задаче такие как: производительность (performance), обучение (training state), гистограмма ошибок (error histogram), регресс (regression), соответствие (fit). На рисунке 6 представлено обучение НС в Neural Network Toolbox.

Рисунок 6 – Обучение НС в Neural Network Toolbox

Этап 6. Тестирование нейронной сети.

Этот этап следует после окончания обучения и оценки производительности нейронной сети на валидационной выборке.

Выполнена оценка производительности нейронной сети на тестовой выборке, используя те же метрики, которые были использованы на валидационной выборке. Это позволяет оценить, насколько хорошо сформированная нейронная сеть справляется с новыми, незнакомыми данными.

Важно отметить, что на этом этапе не следует вносить изменений в нейронную сеть или гиперпараметры, чтобы избежать переобучения модели на тестовых данных.

Сравнение результатов, полученных методом полного перебора в Mathcad и реализованной в Matlab нейронной сети, для трех рассмотренных схем электроснабжения приведено в таблице 1. При сравнении, данные полученные

с помощью метода полного перебора, учитываются как эталонные. Погрешность определяется по формуле:

$$\Delta Q_i = \left| \frac{Q_{iHC} - Q_{iMПП}}{Q_{iMПП}} \right| \cdot 100, \% \qquad (1)$$

Таблица 1 – Сравнительная таблица результатов

	схема № 1 параметры сети: $Q_1 = 1500$ квар; $Q_2 = 1400$ квар; $Q_3 = 1400$ квар; $Q_K = 1400$ квар		ΔQ, %	схема № 2 параметры сети: $Q_1 = 550$ квар; $Q_2 = 550$ квар; $Q_3 = 750$ квар; $Q_K = 400$ квар		ΔQ, %	схема № 3 параметры сети: $Q_1 = 500$ квар; $Q_2 = 400$ квар; $Q_3 = 300$ квар; $Q_K = 400$ квар		ΔQ, %
	МПП	НС	-	МПП	НС	-	МПП	НС	-
Q_{k1}	800	897.51	12,18	225	229.85	2,15	300	283.14	5,62
Q_{k2}	400	329.34	17,66	25	25.37	1,48	100	122.6	22,6
Q_{k3}	200	157.42	21,29	150	149.68	0,21	0	-2.09	0

Этап 7. Доработка и улучшение разработанной нейронной сети.

Если полученные результаты неудовлетворительны, то необходима доработка НС. В таком случае следует провести дополнительные эксперименты, изменить гиперпараметры или пересмотреть архитектуру нейронной сети. Итеративное повторение процесса обучения, оценки и улучшения, будет способствовать достижению желаемого уровня производительности или результатов.

Выводы:

1. Выбраны среды программирования: MathCad – для реализации метода полного перебора и Matlab для реализации нейронной сети.

2. Реализован в MathCad метод полного перебора, результаты которого использованы в обучающей выборке нейронной сети.

3. Разработан алгоритм создания и обучения НС в Matlab и представлена его реализация для задачи выбора оптимальной мощности и мест размещения компенсирующих устройств в 3-х узловых схемах электроснабжения.

4. Выполнен сравнительный анализ результатов, полученных с использованием разработанной нейронной сети и метода полного перебора. Результаты являются удовлетворительными с учетом заданных условий.

Список литературы

1. Приказ Минэнерго РФ от 23.06.2015 № 380 «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих

устройств) потребителей электрической энергии» : зарегистрировано в Минюсте РФ 22.07.2015 № 38151. – Режим доступа: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=256534 – дата обращения 06.01.24.

2. Влацкая, Л.А. К вопросу выбора метода для оптимизации размещения устройств компенсации реактивной мощности / Л.А. Влацкая, Т.А. Денисов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры [Электронный ресурс] : сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2023. – С. 1079-1085.

3. Влацкая, Л. А. Метод полного перебора для оптимального размещения компенсирующих устройств в узлах электрической сети [Электронный ресурс] : прикладная программа / Л. А. Влацкая, Д. Р. Шамсутдинов; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». - Оренбург : ОГУ. - 2020. - 7 с- Загл. с тит. экрана.

4. Влацкая, Л. А. К вопросу применения искусственных нейронных сетей для оптимизации размещения устройств компенсации реактивной мощности в распределительных сетях [Электронный ресурс] / Л. А. Влацкая, Т. А. Денисов // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2023. – С. 223-226. – 4 с.

5. Николаева С.Г. 62 Нейронные сети. Реализация в Matlab: учебное пособие / С.Г. Николаева. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. – 92 с.

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

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

В работе [1] оценку состояния устройств релейной защиты и автоматики (РЗиА), элементами которой являются, в том числе, трансформаторы тока и напряжения, предложено проводить на основе нечеткого вывода. Это позволит свести к минимуму влияния человеческого фактора при анализе результатов испытаний оборудования и формировании заключения об их техническом состоянии и работоспособности.

В качестве критериев комплексной оценки состояния устройств РЗиА авторами в работе [2] предложено использовать результаты таких испытаний как:

– для трансформаторов тока:

1) измерение сопротивления изоляции обмоток;
2) измерение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции;
3) расхождение характеристик намагничивания магнитопровода;
4) время выдержки повышенным напряжением;

– для трансформаторов напряжения:

1) измерение сопротивления изоляции обмоток;
2) время выдержки повышенным напряжением;
3) измерение сопротивления обмоток постоянному току.

Разработанные функциональные схемы алгоритмов нечеткого вывода для оценки состояния устройств РЗиА представлены на рисунке 1.

а)

б)

Рисунок 1 – Функциональные схемы алгоритмов оценки состояния трансформаторов тока (а) и трансформаторов напряжения (б)

Для реализации алгоритма нечеткого вывода оценки технического состояния и работоспособности устройств релейной защиты и автоматики предложено использовать программу реализатор FuzzyLogic «Программная система нечеткого вывода» [3]. Выбор в пользу этой программы обусловлен, во-первых, свободным доступом к ней, т.к. она разработана для не коммерческого использования, а, во-вторых, применение готового программного продукта, позволит исключить возможные ошибки при самостоятельной реализации алгоритма нечеткого вывода на каком-либо языке программирования.

Таким образом, при использовании программы-реализатора Fuzzy Logic для разработки системы нечеткого вывода оценки состояния устройств РЗиА необходимо выполнить следующие этапы:

1. Сформировать входные и выходные лингвистические переменные.
2. Определить для каждой переменной терм-множества.
3. Выбрать и сформировать для каждого терма лингвистической переменной соответствующие функции принадлежности.
4. Разработать базу нечетких правил.
5. Реализовать пп. 1-4 в программе-реализаторе.

Рассмотрим эти этапы подробнее.

Этап 1. В соответствии с представленными на рисунке 1 моделями нечеткого вывода входными лингвистическими переменными являются выбранные критерии оценки состояния устройств РЗиА: четыре для трансформатора тока и три для трансформатора напряжения. Выходная переменная в каждой модели одна – это состояние устройства.

Этапы 2 и 3. На основании экспертных оценок специалистов электротехнической лаборатории, выносящих заключения о состоянии испытываемых устройств, составлены таблицы 1-9 с формированными терм-множествами, типами и параметрами функций принадлежности $\mu(x)$.

Таблица 1 – Параметры лингвистической переменной трансформатора тока «Сопротивление изоляции»

Терм	Тип функции	Параметры функции, Мом
Допустимое	Z-линейная	0 - 1
Критическое	Трапециевидная	1 - 2
Высокое	S-линейная	2 - 3

Таблица 2 – Параметры лингвистической переменной трансформатора тока «Значение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции»

Терм	Тип функции	Параметры функции, %
Малое	Z-линейная	0 - 200
Критическое	Трапециевидная	195 - 430
Среднее	Трапециевидная	430 - 620

Высокое	S-линейная	600 - 1000

Таблица 3 – Параметры лингвистической переменной трансформатора тока «Расхождение характеристик намагничивания магнитопровода»

Терм	Тип функции	Параметры функции, %
Низкое	Z-линейная	0 - 3
Допустимое	Трапециевидная	3 - 4,4
Среднее	Трапециевидная	4,4 - 6,6
Высокое	S-линейная	6,6 - 10

Таблица 4 – Параметры лингвистической переменной трансформатора тока «Время выдержки повышенным напряжением»

Терм	Тип функции	Параметры функции, Сек
Нулевое	Z-линейная	0 - 5
Очень малое	Трапециевидная	5 - 20
Малое	Трапециевидная	20 - 30
Среднее	Трапециевидная	30 - 40
Выше среднего	Трапециевидная	40 - 50
Большое	S-линейная	50 - 60

Таблица 5 – Параметры лингвистической переменной «Состояние трансформатора тока»

Терм	Тип функции	Параметры функции, о.е
Не исправный	Z-сплайн	0 - 20
Требует дополнительных испытаний	Трапециевидная	20 - 35
Удовлетворительное	Трапециевидная	35 - 54
Проходит по нормам проверки	Трапециевидная	54 - 70
Отличное	S-линейная	70 - 100

Таблица 6 – Параметры лингвистической переменной трансформатора напряжения «Сопротивление изоляции»

Терм	Тип функции	Параметры функции, Мом
Малое	Z-линейная	0 - 625
Критическое	Трапециевидная	565 - 1033
Среднее	Трапециевидная	1000 - 1750
Высокое	S-линейная	1650 - 2500

Таблица 7– Параметры лингвистической переменной трансформатора напряжения «Время выдержки повышенным напряжением»

Терм	Тип функции	Параметры функции, Сек
Нулевое	Z-линейная	0 - 5
Очень малое	Трапециевидная	5 - 20
Малое	Трапециевидная	20 - 30
Среднее	Трапециевидная	30 - 40
Выше среднего	Трапециевидная	40 - 50
Большое	S-линейная	50 - 60

Таблица 8 – Параметры лингвистической переменной трансформатора напряжения «Сопротивление обмотки постоянному току»

Терм	Тип функции	Параметры функции, Мом
Нулевое	Z-линейная	0 - 0,3
Очень малое	Трапециевидная	0,3 - 0,9
Среднее	Трапециевидная	0,9 - 1,6
Отличное	S-линейная	1,6 - 2

Таблица 9 – Параметры лингвистической переменной «Состояние трансформатора напряжения»

Терм	Тип функции	Параметры функции, о.е
Не исправный	Z-сплайн	0 - 20
Требует дополнительных испытаний	Трапециевидная	20 - 35
Удовлетворительное	Трапециевидная	35 - 54
Проходит по нормам проверки	Трапециевидная	54 - 70
Отличное	S-линейная	70 - 100

Этап 4. В соответствии с предложенными моделями нечеткого вывода (рисунок 1) и сформированными терм множествами (таблицы 1-9) разработаны 1440 нечетких правил для оценки состояния трансформатора тока и 480 нечетких правил для оценки состояния трансформатора напряжения.

Примеры разработанных нечетких правил, записанных в форме высказываний для оценки состояния трансформатора тока, представлены ниже:

R1: ЕСЛИ «измерение сопротивления изоляции обмоток» «малое» И «значение тангенса диэлектрических потерь изоляции» «допустимое» И «расхождение характеристик намагничивания магнитопровода» «низкое» И «время выдержки повышенным напряжением» «нулевое», ТОГДА «состояние трансформатора тока» «не исправный»;

…

R698: ЕСЛИ «измерение сопротивления изоляции обмоток» «среднее» И «значение тангенса диэлектрических потерь изоляции» «высокое» И

«расхождение характеристик намагничивания магнитопровода» «допустимое» И «время выдержки повышенным напряжением» «малое», ТОГДА «состояние трансформатора тока» «проходит по нормам проверки»;

…

R1064: ЕСЛИ «измерение сопротивления изоляции обмоток» «высокое» И «значение тангенса диэлектрических потерь изоляции» «высокое» И «расхождение характеристики намагничивания магнитопровода» «допустимое» И «время выдержки повышенным напряжением» «большое», ТОГДА «состояние трансформатора тока» «отличное».

Этап 5. Графическая интерпретация сформированных функций принадлежности в программе FuzzyLogic для входных переменных разработанной модели нечеткого вывода оценки состояния трансформаторов тока приведена на рисунке 2.

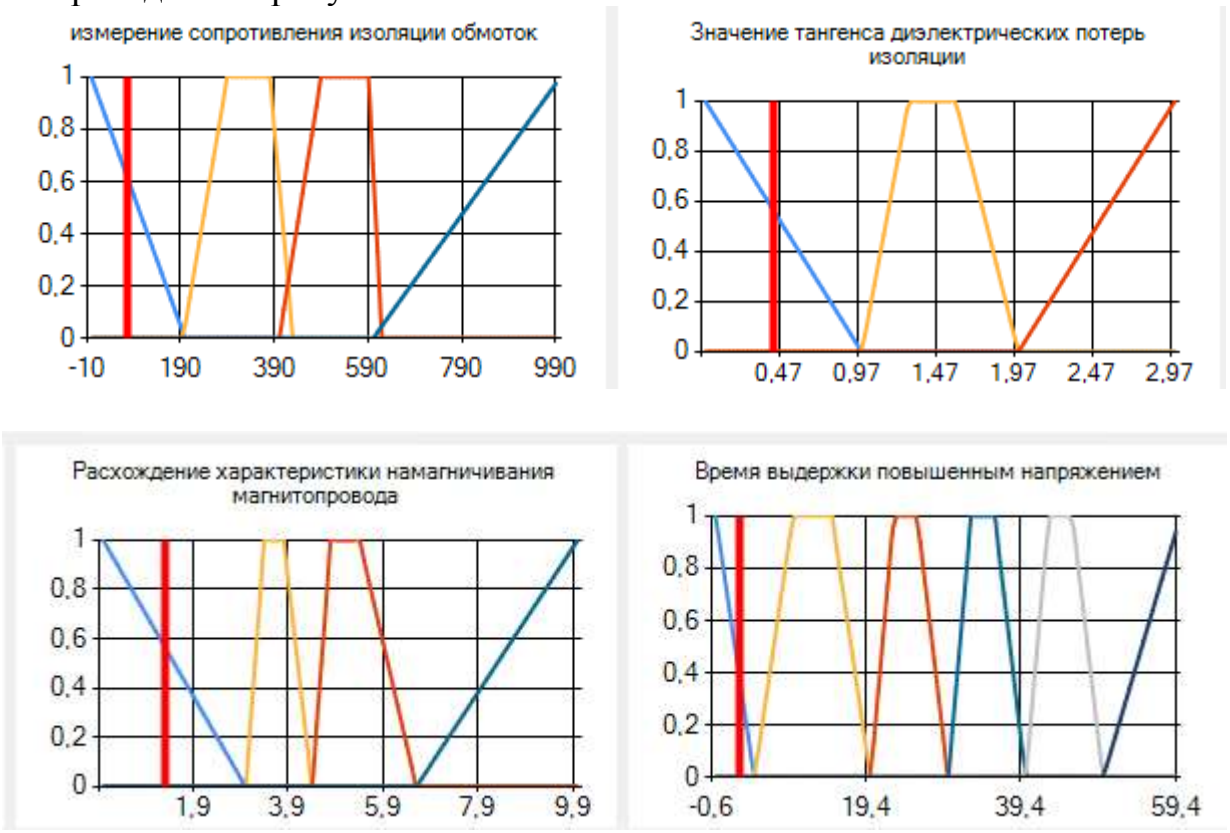


Рисунок 2 – Сформированные функции принадлежности в программе FuzzyLogic

В настоящее время продолжается выполнение пятого этапа, связанного с реализацией разработанных моделей нечеткого вывода оценки состояния трансформаторов тока и напряжения в программе FuzzyLogic. По завершению этого этапа будет выполнено тестирование нечетких моделей.

Список литературы

1. Гильдебрандт, А. А. Анализ методов искусственного интеллекта для диагностики состояния устройств релейной защиты и автоматики

электроэнергетических объектов / А. А. Гильдебрандт // Наука молодых – наука будущего : сборник статей IV Международной научно-практической конференции. – Петрозаводск : МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2023. – С. 229-235.

2. Влацкая, Л.А. Выбор критериев оценки состояния устройств релейной защиты и автоматики / Л.А. Влацкая, А. А. Гильдебрандт // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : труды XIV Всероссийской научно-технической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2023. – С. 270-273.

3. Св-во о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программная система нечеткого вывода» / А.М. Семенов, Н.А. Соловьев, А.С. Цыганков; РОСПАТЕНТ. – № 2011613402 ; заявл. 29.02.11 ; опубл. 29.04.2011.

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЗАДВИЖКИ

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

При централизованном отоплении многоквартирных домов регулирование температуры батарей осуществляется с помощью задвижек, кранов, часто регулируемых вручную. Регулирование при этом крайне неэффективное, так как требует постоянной подстройки в зависимости от температуры теплоносителя и воздуха.

С точки зрения энергоэффективности наиболее перспективным способом регулирования является установка автоматизированной задвижки [1]. Контур регулирования может быть замкнутым по температуре теплоносителя в обратной трубе, или по температуре в обогреваемом помещении.

В ОГУ разработали промышленный образец автоматизированной задвижки с микропроцессорным управлением с доступом к облачному сервису. В качестве электропривода используется однофазный асинхронный двигатель, вращающий задвижку через червячный редуктор [3].

В данной статье рассматривается алгоритмическое обеспечение системы управления. Используемый контроллер – STM32F103 [2].

Блок-схема основного цикла программы приведена на рисунке 1.

Бесконечный цикл работает в синхронизации с работой аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) микроконтроллера, который преобразует два входных сигнала (температура воды и ток статора двигателя) в код. АЦП формирует массив данных глубиной 32 точки за период сетевого напряжения. В конце заполнения массива выставляется бит синхронизации ADCsinhr.

Далее в функции GiveTemp происходит усреднение температуры за этот период, что обеспечивает удаление помехи сетевой частоты 50 Гц. По массиву данных тока статора вычисляется среднеквадратичное значение (функция GiveCurrent).

В функции ErrorFlags выявляются ошибки в работе устройства:

- ErrorMTZ – максимально-токовая защита от превышения тока статора максимально допустимого значения;
- ErrorOver – перегрузка по току, усредненного за определенный период. Аналог тепловой защиты двигателя;
- ErrorCurr – наличие тока двигателя при отсутствии заданий вперед или назад (пробой силовых симисторов);
- ErrorPos – при наличии задания вперед или назад, достаточно длительное время не было изменения состояния датчиков (заклинивание,

неисправность двигателя, неисправность пускового конденсатора, неисправность датчиков);

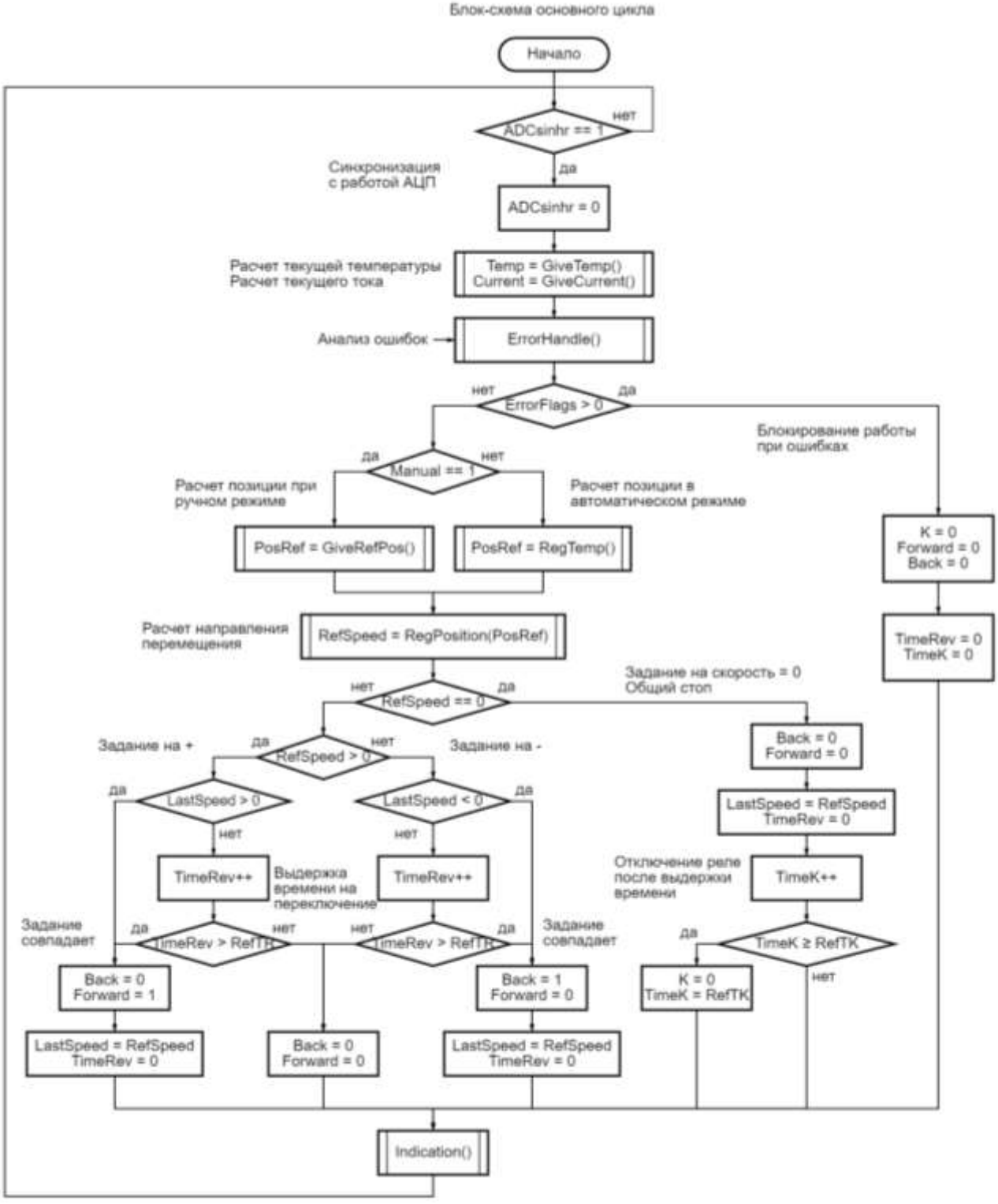


Рисунок 1 – Блок-схема основной программы

- ErrorKV – срабатывания механического датчика предельного положения;

- ErrorTemp – неисправность датчика температуры (короткое замыкание или обрыв);

- ErrorValve – нетипичное изменение температуры воды при регулировании положения задвижки. Например, при полном закрытии температура повышается. Это может быть вследствие неправильной синхронизации положения привода с самой задвижкой при монтаже.

При наличии хотя-бы одной ошибки устройство блокирует перемещение задвижки и выдает сигнал ошибки.

В нормальном режиме работы в зависимости от типа управления (ручное или автоматическое) по разным алгоритмам вычисляется необходимая позиция PosRef. В ручном режиме с это положение выставляется удаленно с помощью программного обеспечения, установленного на сотовый телефон. Значение этого положения сохраняется в энергонезависимой памяти микроконтроллера при выключении питания устройства.

В автоматическом режиме вызывается функция регулятора температуры RegTemp().

По текущему заданию на положение задвижки рассчитывается направление движение (RefSpeed), которое может принимать три значения : плюс, минус 1 и ноль.

При нулевой скорости выключаются сигналы управления симисторами в обе стороны, а с течением времени 30 минут выключается механическое реле (TimeK).

В зависимости от знака задания скорости включаются соответствующий симистор и двигатель вращает задвижку. С целью устранения частых переключений и предотвращения одновременной работы силовых ключей вводится задержка времени на переключение (TimeRev). В этот период оба симистора выключены. Выдержка времени подбирается экспериментально, по умолчанию составляет 5 секунд. В течение этого времени анализируется ток статора и при его наличии выставляется ошибка ErrorCurr.

В конце основного цикла вызывается подпрограмма индикации, которая управляет двухцветным светодиодом (зеленый, красный). В зависимости от текущего состояния устройства состояния светодиодов показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Индикация состояния устройства

Зеленый светодиод	Красный светодиод	Состояние
Не горит	Не горит	Устройство не работает. Нет питания
Горит	Не горит	Заданная температура достигнута
Мигает	Не горит	Заданная температура не достигнута
Не горит	Мигает	Ошибка в работе устройства
Не горит	Горит	Датчик температуры неисправен

Более подробно о состоянии задвижки, а также расшифровка ошибок показано в приложении в смартфоне.

Блок-схема подпрограммы определения направления движения электропривода приведена на рисунке 2. По сигналам от 5 оптических датчиков, работающих по коду Грея, рассчитывается текущее положение задвижки. С целью исключения помех и асинхронности работы датчиков при изменении уровня затемнения областей на диске вводится задержка времени с помощью таймера TimeOS. Если текущее положение отличается от последнего сохраненного RosLast, происходит инкремент таймера и сравнение с уставкой. Длительность выдержки выставляется исходя из скорости вращения диска из расчета, чтобы за это время он прошел расстояние примерно равное половине младшего бита кода Грея.

Затем в зависимости от нового положения диска и задания на положение выставляется три значения скорости вращения плюс, минус один и ноль.

Блок-схема регулятора температуры приведена на рисунке 3.

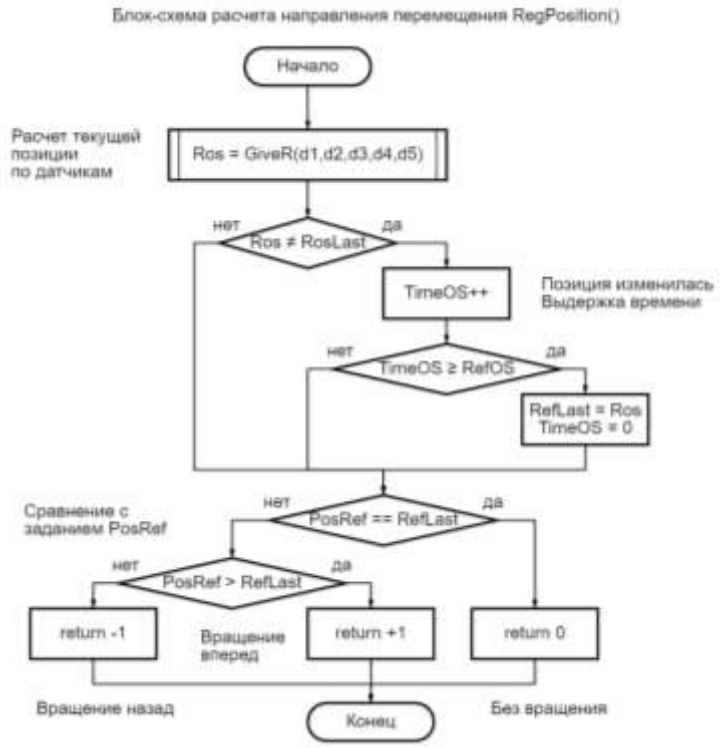


Рисунок 2 – Блок-схема п/подпрограммы RegPosition()

Регулятор температуры по умолчанию представляет собой релейно-интегрирующий регулятор с переменной постоянной времени. Принцип действия регулятора основан на постепенном увеличении или уменьшении задания на положение задвижки PosRef в зависимости от знака ошибки регулирования E. При положительной ошибке (задание на температуру больше, чем обратная связь), регулятор увеличивает открытие задвижки, а при отрицательном – уменьшает.

Для исключения автоколебательности системы управления с интегральным регулятором:

- вводится зона нечувствительности по температуре плюс, минус Delta0 (2-5 градусов), при которой задание на положение задвижки не меняется;
- в зависимости от уровня ошибки изменяется постоянная времени интегрирования. Имеется три уровня диапазона ошибки, установленные параметрами Delta1, Delta2:
- 1 диапазон Delta0 < E < Delta1;
- 2 диапазон Delta1 < E < Delta2;
- 3 диапазон E > Delta2.

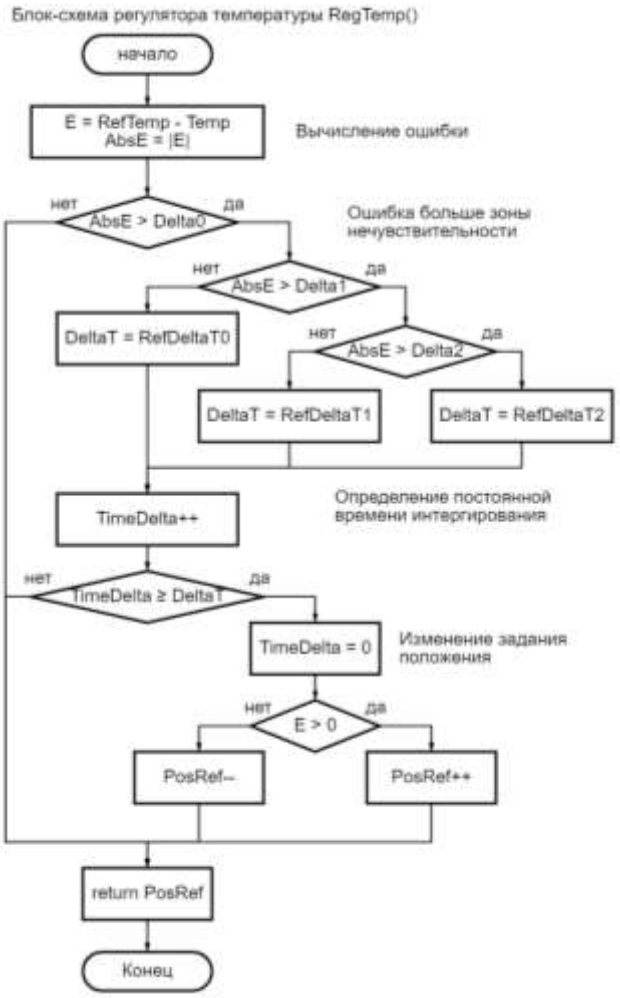


Рисунок 3 – Блок-схема регулятора температуры

Чем больше ошибка регулирования, тем быстрее изменяется положение задвижки.

По алгоритмам составлена программа на языке С. На данный момент задвижка установлена в корпусе ОГУ и проходит лабораторные испытания. На рисунке 4 показан график температуры теплоносителя за сутки, сохраненный в облаке.

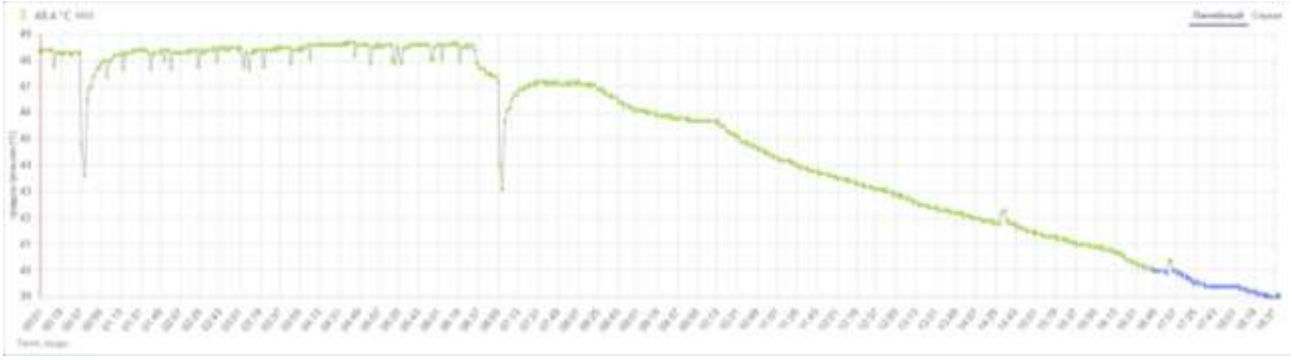


Рисунок 4 – Суточный график изменения температуры

Список литературы

1. Умный дом. Система управления отоплением SALUS iT600 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://termogorod.ru/stati/salus-it600-kak-rabotaet – 05.12.2022 г

2. Datasheet STM32F103C8T6 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://static.chipdip.ru/lib/663/DOC012663096.pdf – 08.12.2022 г.

3. Электропривод поворотный для кранов эпр1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kipspb.ru/catalog/6595/element1085660.php – 05.12.2022 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАТФОРМЫ RIGHTECH IOT CLOUD ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМ ТРЕКЕРОМ

Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент ,
Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

К современным системам управления практически любого электрооборудования и электропривода предъявляют требования, которые не так давно были им не свойственны. Это возможность подключения к локальной информационной сети и подключения к Интернету. Это значительно облегчает диагностику работы устройства, позволяет автоматически заполнять базы данных, а также дает возможность дистанционного управления.

В настоящее время активно развиваются облачные технологии, позволяющие быстро с минимальными затратами обеспечить удаленный доступ к устройству, так называемый интернет вещей (internet of things, IoT).

На примере российской облачной платформы Rightech IoT Cloud [1] покажем технологию подключения системы управления солнечным трекером.

Разработанный макет трекера представляет собой двухприводную электромеханическую систему с шаговыми мотор-редукторами. Один электродвигатель обеспечивает изменение положения солнечной батареи по азимуту, другой – по склонению [2].

Функциями системы управления являются:

- формирование необходимых сигналов Enable, Step, Dir для драйверов шаговых двигателей;
- измерение тока и напряжения питающей сети 220В;
- измерение тока и напряжения солнечной батареи;
- отсчет реального времени для расчета углов позиционирования трекера;
- доступ к локальной сети через Ethernet интерфейс.

Структурная схема подключения к облачному серверу отображена на рисунке 1. Солнечный трекер (1) с системой управления (2) обменивается информацией по локальной сети с компьютером (3), где установлено специальное программное обеспечение для подключения к облачному серверу (5) через роутер (4). Информация с системы управления поступает в облако посредством её публикации (Publish) [3]. В обратную сторону команды управления поступают через механизм подписки (Subscribe). Через аналогичные механизмы подписки/публикации к облачному серверу могут имеют доступ зарегистрированные мобильные устройства (6) и компьютеры (7).

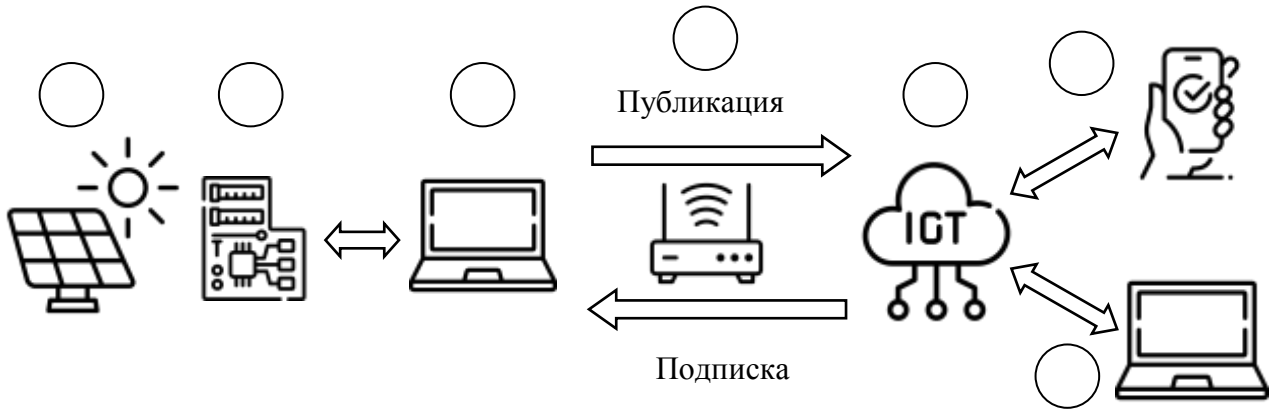


Рисунок 1 – Структура подключения солнечного трекера к облачному сервису

Публикация параметров работы системы управления происходит путем отсылки текста устройством в формате JSON:

{ “p0”:”XXX”, “p1”:”XXX”, … }

где “p0” – имя параметра p0, p1, p2 и т.д.;
“XXX” - значение параметра, в зависимости от типа сигнала.

Что конкретно и в каком виде передается определяется свойствами модели объектов на платформе Rightech (рисунок 2) и программным обеспечением компьютера в локальной сети.

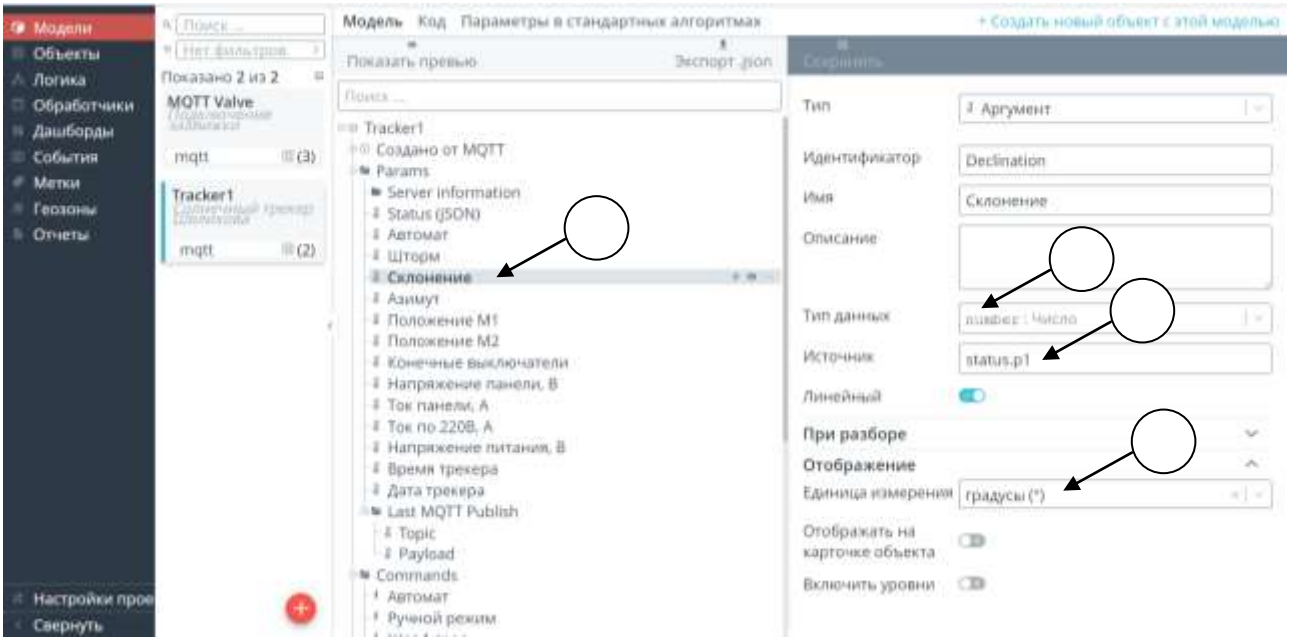


Рисунок 2 – Структура модели на платформе Rightech

На рисунке 2 показаны список параметров, например, «Склонение» (1). Источником является topic status с полем p1 «status.p1» (2). Там же указывается

тип данных (3) и единица измерения (4). Все параметры системы публикуются в одном topic. Но принципиально можно разделить по группам и публиковать в разных topic.

Имя topic указывается в списке параметров (рисунок 3). Указывается идентификатор «status» (2) и источник (3).

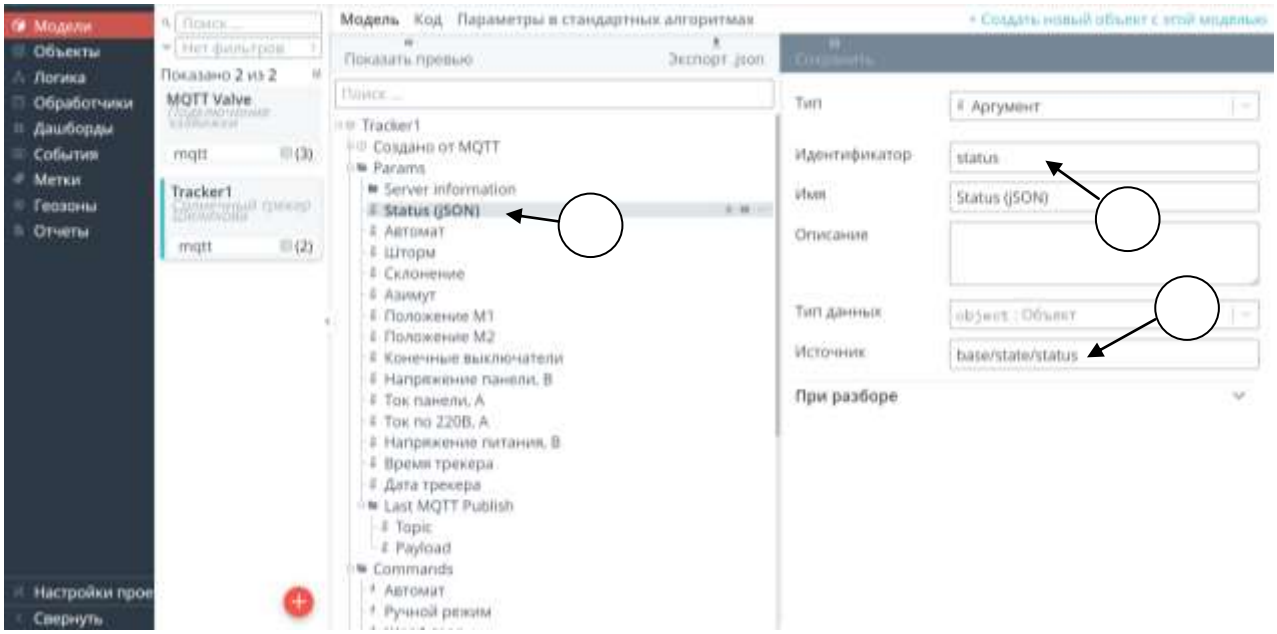


Рисунок 3 – Определение topic публикации

Команды в модели служат для отправки данных в устройство. Для этого устройство должно быть подписано на соответствующий topic. Пример оформления команды (1) приведен на рисунке 4. Указывается уникальный идентификатор (2), topic (3) и сама команда в JSON формате.

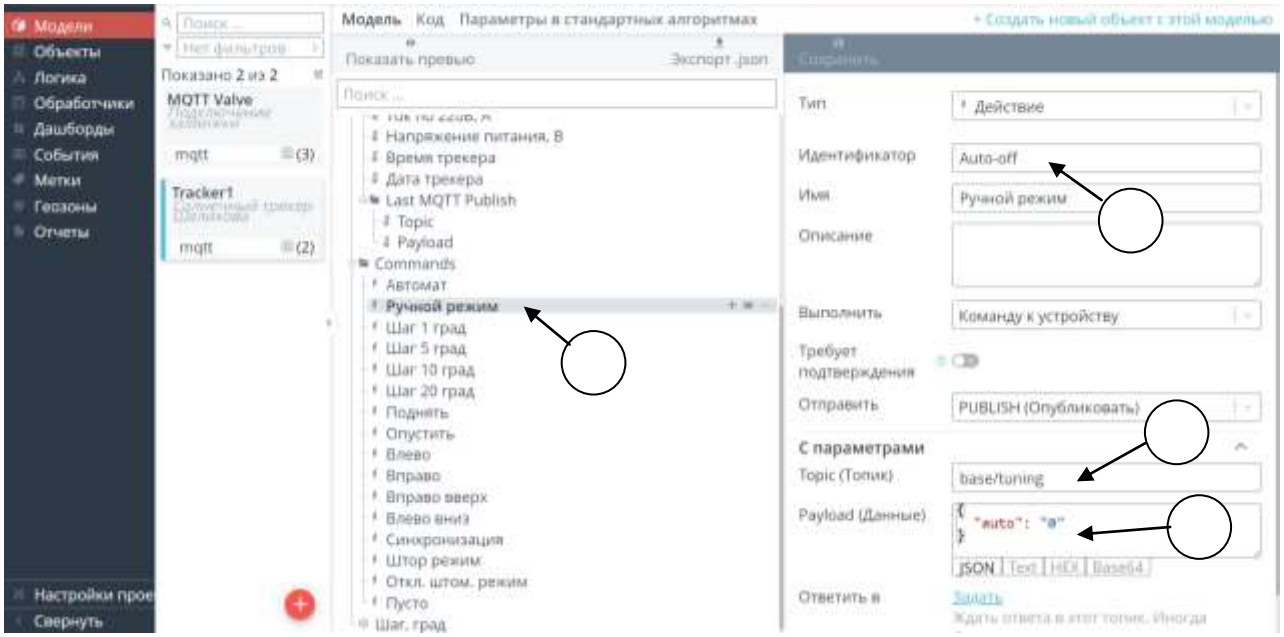


Рисунок 4 – Оформление команды

На основании модели создаем новый объект «Трекер 1» (рисунки 5, 6). Указываем наименование модели (1), уникальный идентификатор (2), имя (3), логин (4) и пароль (5) для удаленного подключения системы управления трекером. Указываем координаты нахождения устройства (6).

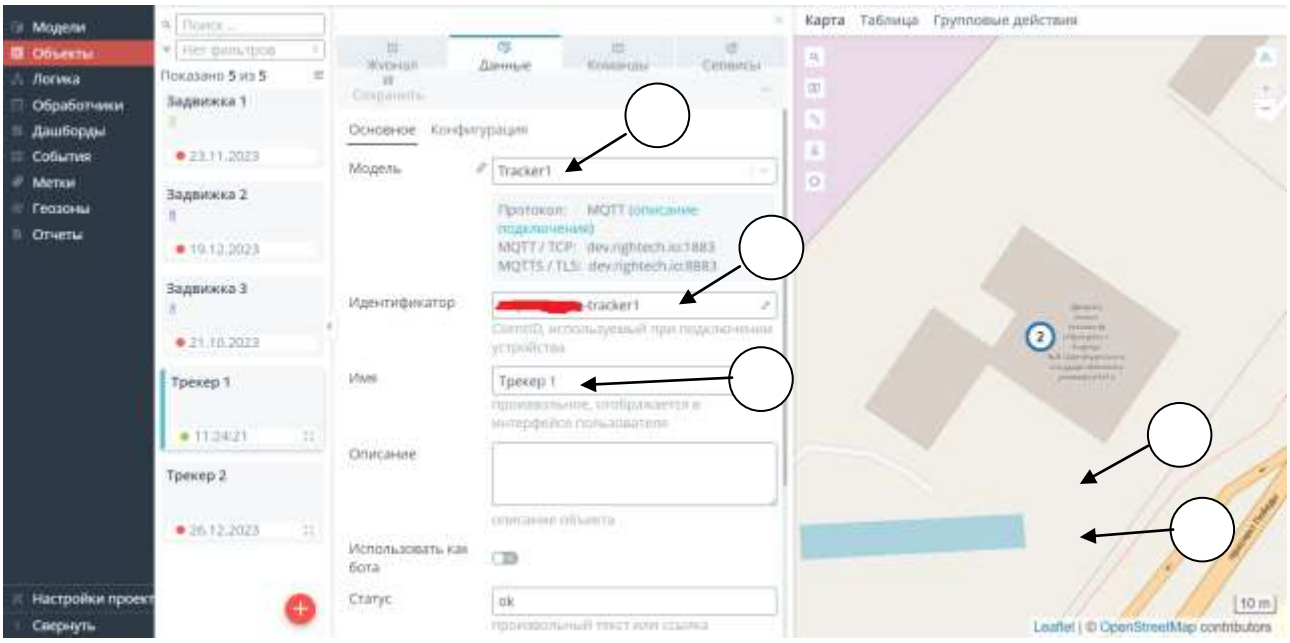


Рисунок 5 – Создание объекта интернета вещей

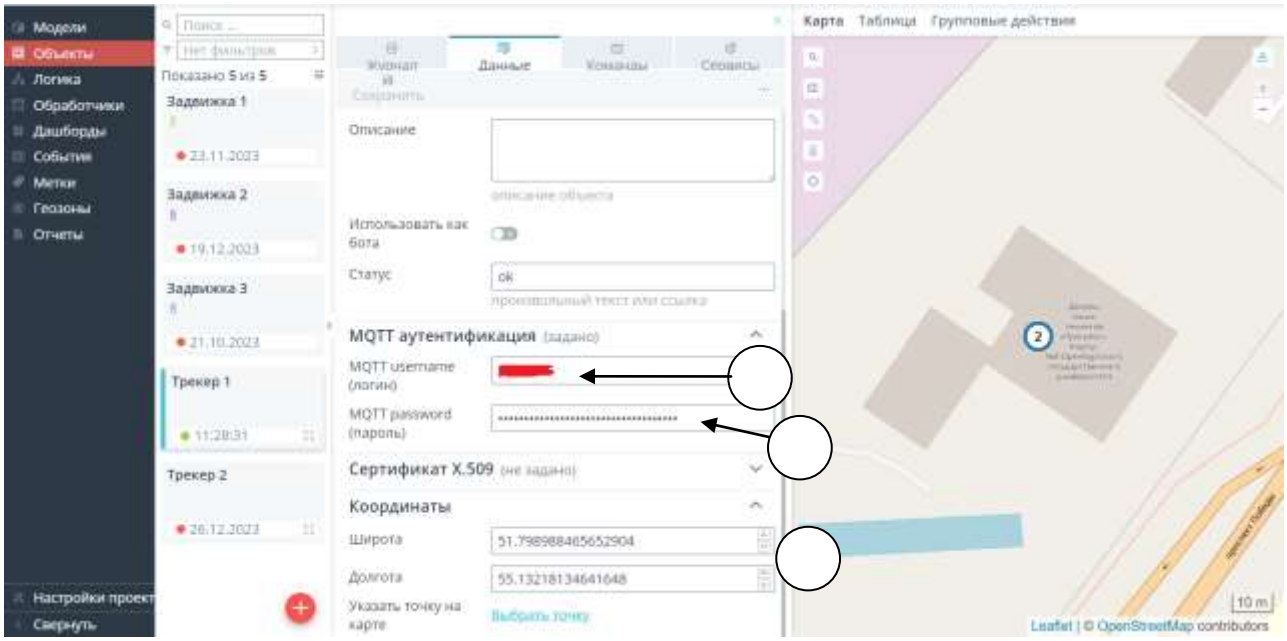


Рисунок 6 – Создание объекта интернета вещей

Данные с системы управления трекером выводятся во вкладке «Журнал» в соответствии с моделью в цифровом и/или графическом виде (рисунок 7).

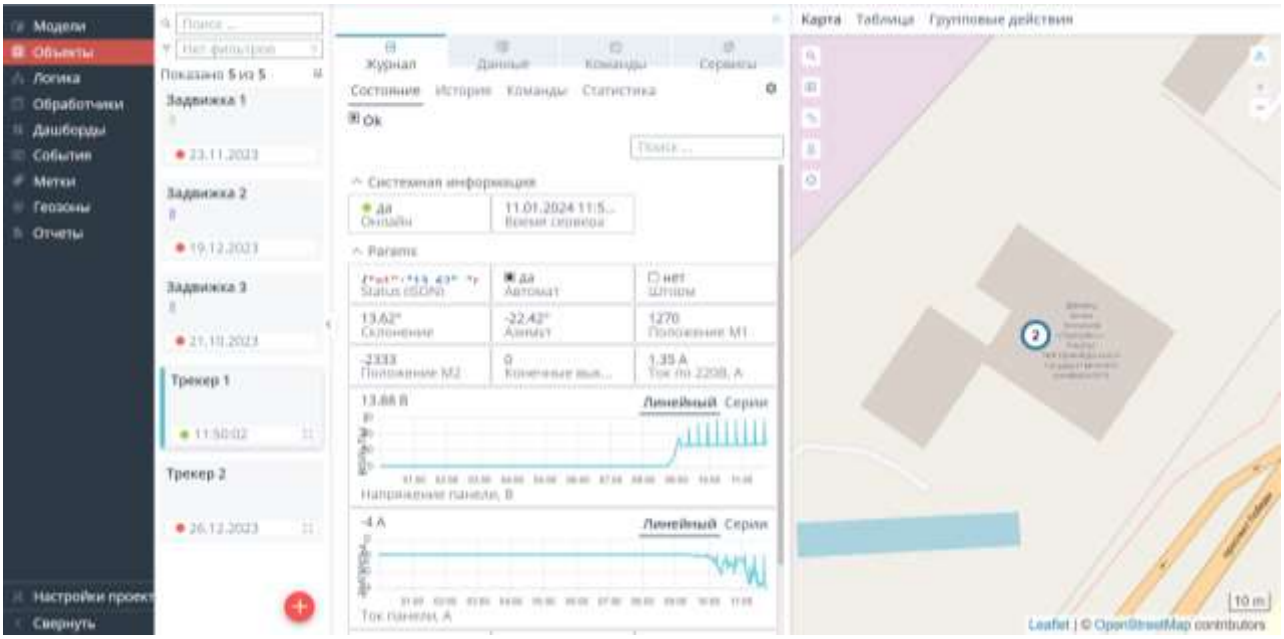


Рисунок 7 – Параметры системы управления трекером

Приведенные выше действия являются минимальными для создания и подключения объекта в облачном сервисе Rightech IoT Cloud. Сам сервис предоставляет достаточно расширенный список возможностей по расширению функционала подключенных объектов. Также имеется возможность просмотр сохраненных в предыдущих сутках данных во вкладке «История».

Список литературы

1. Платформа Rightech IoT Cloud (RIC) — облачная платформа для разработчиков и интеграторов IoT-решений. – Режим доступа : https://rightech.io/blog/ric/mqtt-broker/

2. Модельно-алгоритмическое обеспечение для автоматизированного электропривода системы слежения за Солнцем / Э. Л. Греков, Е. С. Шелихов // Электротехника, 2023. - № 4. - С. 8-14. . - 7 с.

3. Основы интернета вещей : учебно-методическое пособие / Н.В. Папуловская ; М-во науки и высшего образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022.— 104 с/

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ГИБРИДНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент ,
Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент, Малышев Р.О.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Гибридный шаговый двигатель работает за счёт электронно-коммутируемого магнитного поля, которое обеспечивает вращение ротора. Обмотки возбуждения расположены на статоре. Ротор двигателя изготовлен из постоянного магнита или магнитомягкого материала. На рисунке 1 представлена структурная схема имитационной модели двигателя, которая построена из трех основных блоков: контроллера, драйвера и двигателя.

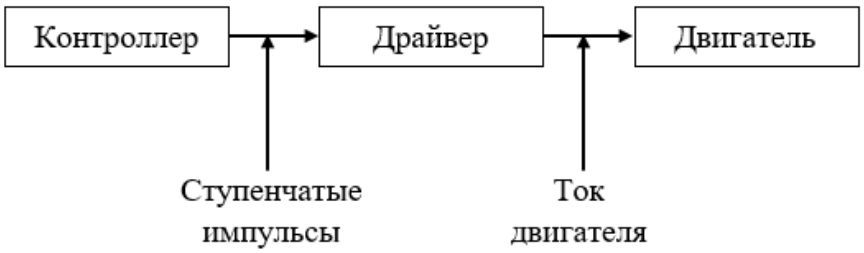


Рисунок 1 – Блок схема управления шаговым двигателем

Модель из библиотеки Simulink представлена на рисунке 2 и состоит из двух частей: электрической и механической. В модели входными параметрами двигателя являются: фазное напряжение (A+, A-, B+ и B-) и механическая нагрузка – TL [1].

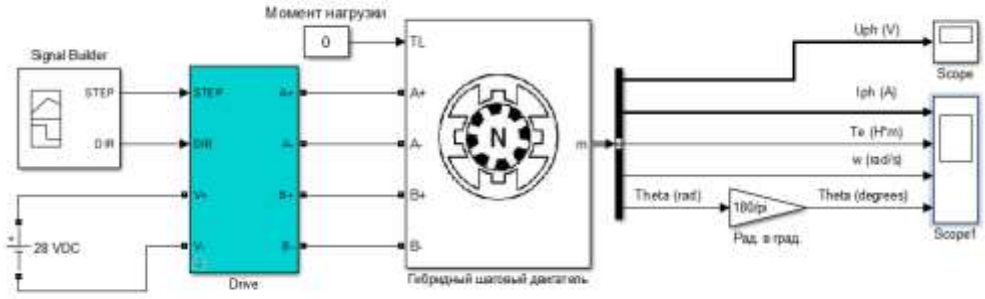


Рисунок 2 – Имитационная модель

Также в модели выходными параметрами являются: фазное напряжение – Vph, фазный ток – Iph, электромагнитный крутящий момент – Te, скорость

ротора – w и положение ротора – Theta. Электрическая часть состоит из трех функциональных объектов: блока управления, гистерезисного компаратора и ШИМ-преобразователя MOSFET (рисунок 3).

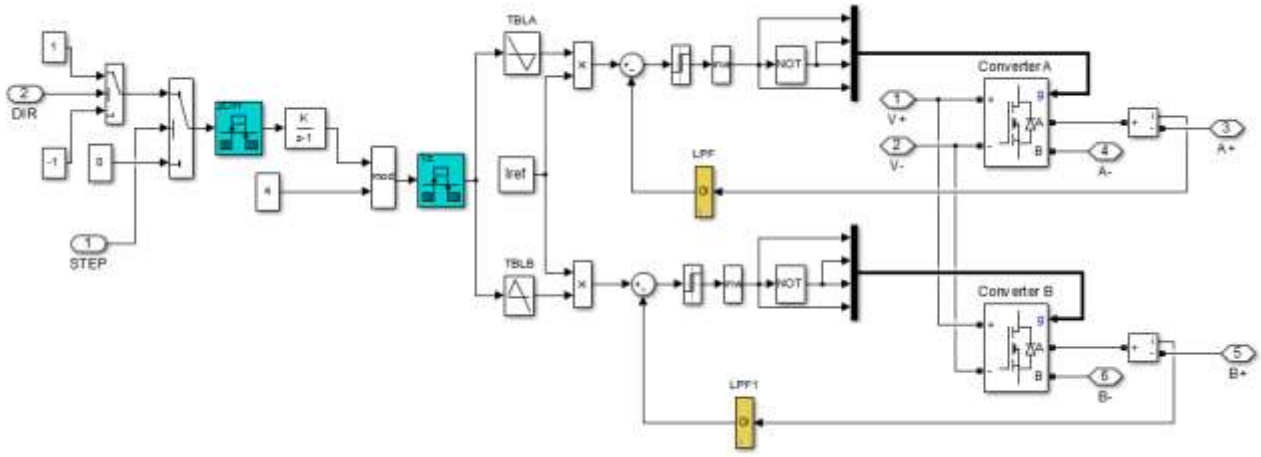


Рисунок 3 – Модель схемы управления

Движение двигателя осуществляется двумя сигналами: STEP и DIR, которые являются выходными для блока Signal Builder [2] (рисунок 4). Положительное значение (1) сигнала STEP осуществляет вращение, (0) останавливает вращение двигателя. DIR отвечает за направление вращения двигателя. Положительное значение (1) включает вращение в одном направлении, а (0) меняет его в обратную сторону. Настройка блоков в программе моделирование представлены на рисунке 5.

Преобразовательные мосты «А» и «В» относятся к типу Н, состоящие из четырех MOSFET-транзисторов. К ним подается напряжение 28 В постоянного тока (рисунок 6), а на выходы подаётся ток возбуждения обмоток.

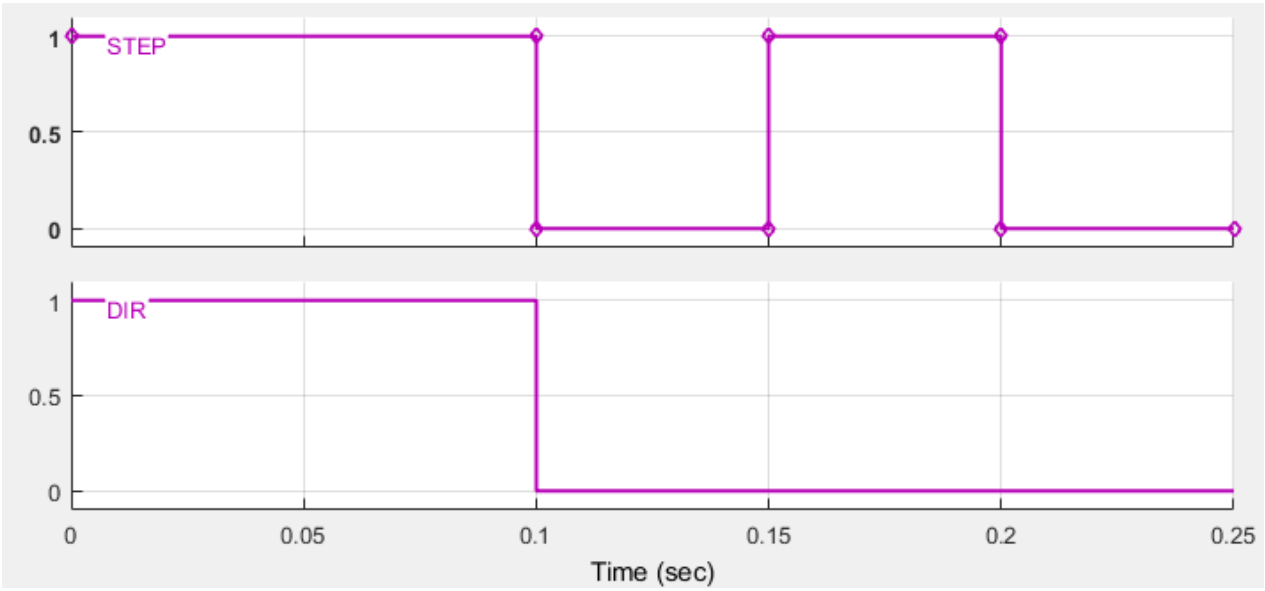


Рисунок 4 – Выходные сигналы из блока построения сигналов

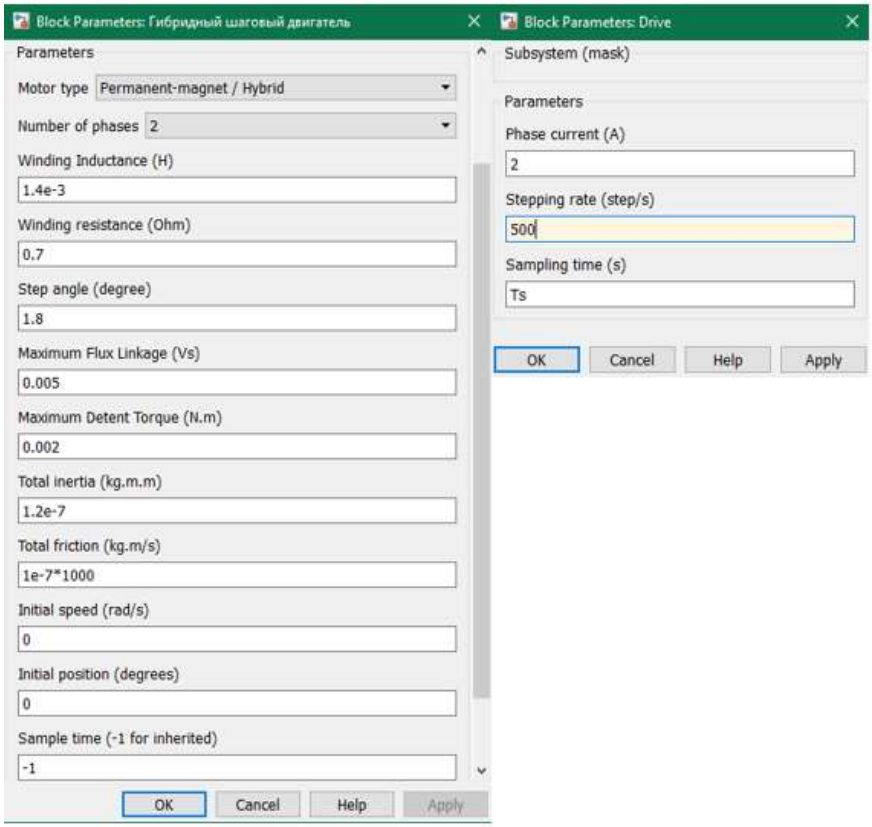


Рисунок 5 – Настройка блоков гибридного шагового двигателя и блока схемы управления соответственно

Время выполнения моделирования составляет 0,25 секунд в соответствии со значением, заданным в блоке Signal Builder и времени модели. Первое моделирование выполнено в режиме холостого хода, когда двигатель работает без нагрузки. Из результатов моделирования можно сделать вывод, что двигатель движется в одном направлении в течение 0,1 секунды (STEP = 1 и DIR = 1), останавливается через период от 0,1 до 0,15 с (STEP = 0, DIR = 0), 0,05 с вращается в противоположном направлении (STEP = 1, DIR = 0) и снова останавливается на 0,05 секунды (STEP = 0 и DIR = 0). Переходные характеристики двигателя представлены на рисунке 7.

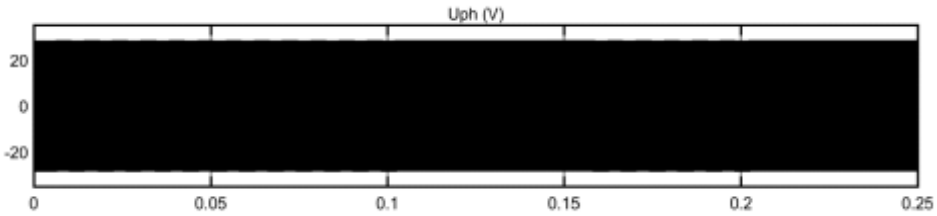


Рисунок 6 – Осциллограмма напряжения

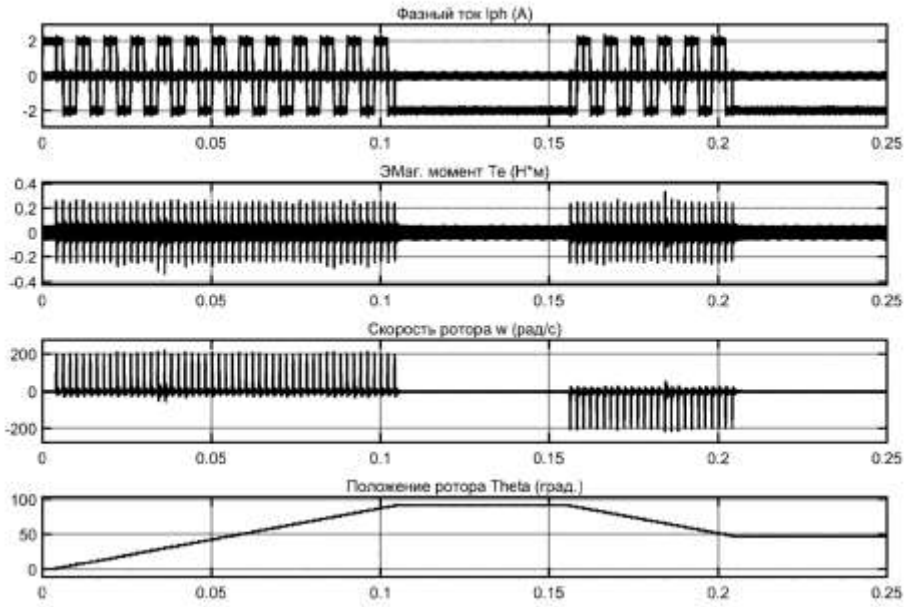


Рисунок 7 – Переходные характеристики двигателя на холостом ходу

Из рисунка 7 следует, что двигатель достиг скорости 200 рад/с и переместился от положения 0 до 98 градусов. Он остается в этом положении в течение 0,052 секунды, прежде чем на время 0,156 начнет двигаться в противоположном направлении и остановится на время 0,204 секунды в положении 47°.

Для случая увеличения момента нагрузки до значения 0,1 Н·м переходные характеристики двигателя представлены на рисунке 8. При этом перемещение двигателя меняется путем изменения значений шагового сигнала до 1 на 0-0,15 с и от 0,2 до 0,25 с.

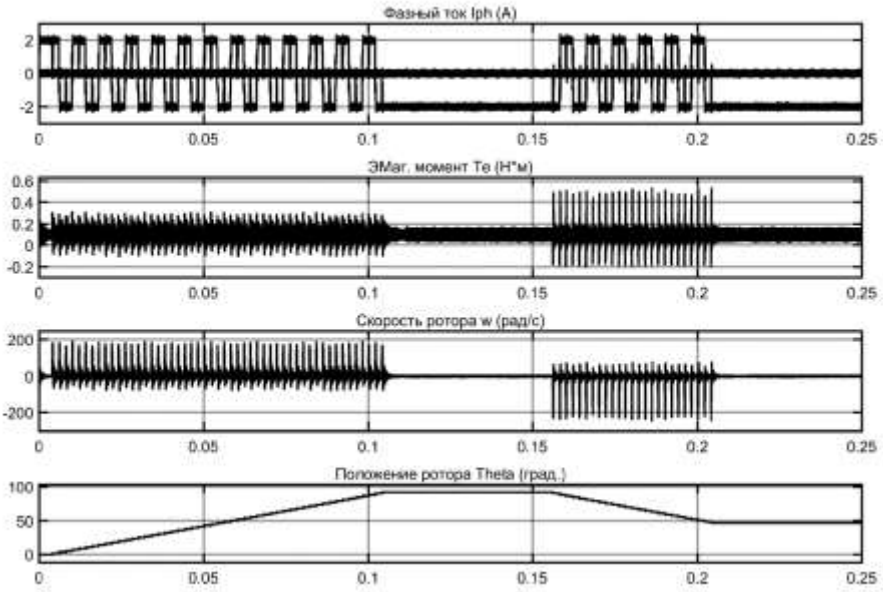


Рисунок 8 – Переходные характеристики двигателя при нагрузке 0,1 Н·м

Из представленных результатов на рисунке 8 ожидаемо происходит изменение переходной характеристики электродвигателя по электромагнитному моменту. Его значение увеличено почти до 0,1 Н·м для того, чтобы обеспечить возможность управления крутящим моментом нагрузки. Следующее моделирование исследуется для нагрузки 0,4 Н·м, результаты представлены на рисунке 9.

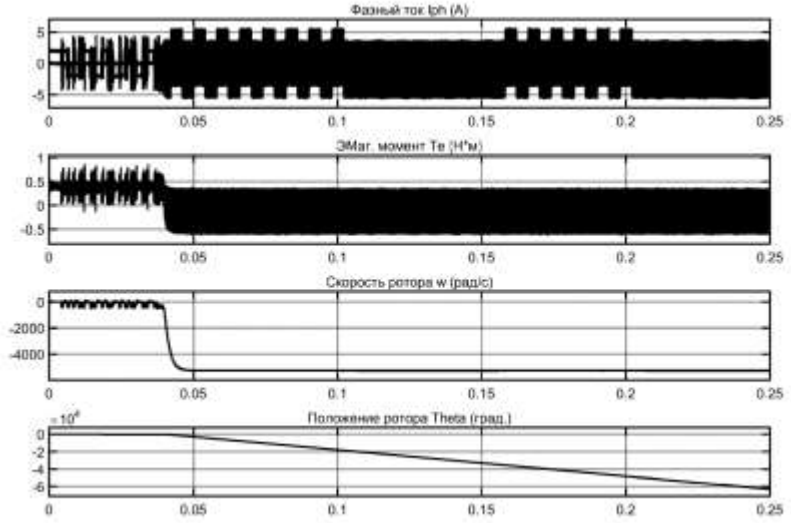


Рисунок 9 – Переходные характеристики двигателя при перегрузке 0,4 Н·м

Двигатель не осиливает приложенную внешнюю нагрузку, поэтому его скорость после запуска становится нулевой (0,05 с) и угол движения равен нулю.

Далее приводится моделирование в случае, когда количество шагов двигателя изменяется с 500 ш/с до 150 ш/с при работе без нагрузки. Результаты представлены на рисунке 10.

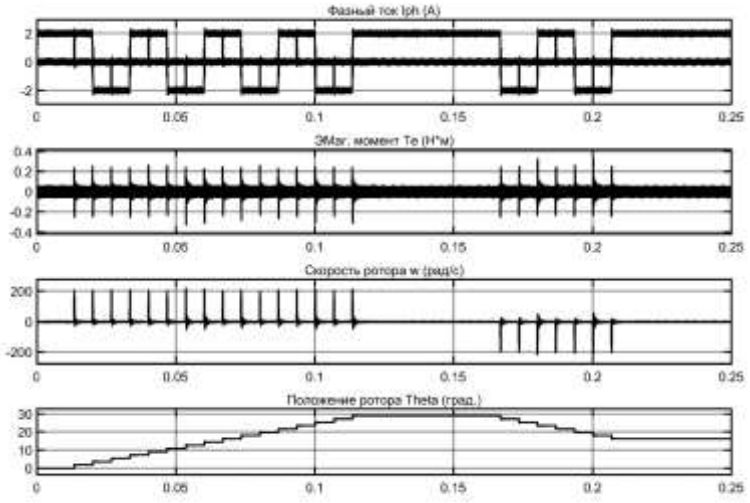


Рисунок 10 – Переходные характеристики двигателя для скорости 150 шагов в секунду

Полученные результаты позволяют разобраться с основами моделирования гибридных шаговых двигателей и могут быть полезными для бакалавров, магистров и аспирантов при проектировании и анализе работы подобного оборудования в процессе обучения.

Список литературы

1. Документация Matlab Simulink – Режим доступа: https://www.mathworks.com/help/sps/index.html?s_tid=CRUX_topnav

2. Азнагулов А. И. Модель электропривода шагового двигателя в программном комплексе Matlab Simulink / Азнагулов, А. И., // Башкирский государственный аграрный университет. – 2018. – 4 С.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА (АЛГОРИТМА МАМДАНИ) В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

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

Система вентиляции играет большую роль при создании комфортных условий в жилых и промышленных объектах. При строительстве новых объектов важно создать в них устойчивый микроклимат, а также обеспечить естественный или искусственный приток чистого воздуха. Поэтому необходимо правильно спроектировать конструкцию притока и удаления воздуха.

В предыдущей статье [1] описывались климатические характеристики расположения объекта подлежащего модернизации системы вентиляции. Особенностью является то, что здание расположен в северной зоне России и создан на базе учебного корпуса №8. Основной проблемой рассматриваемого объекта является отсутствие функционирования вентиляции в некоторых аудиториях. Модернизация представляет собой создание системы, позволяющей поддерживать стабильную циркуляцию воздуха в помещениях. Основная идея заключается в применении технологии избыточного давления, создаваемого в помещениях при помощи вентиляционных установок.

Избыточное давление в помещении – это давление, которое создается за счет использования вентиляционных установок, необходимое для создания разности между расходами наружного воздуха, подаваемого в помещение, и внутреннего воздуха, удаляемого из помещения. Данный способ позволяет повысить энергоэффективность вентиляционных установок, снижая теплоэнергетические затраты на вентилирование воздуха, и обеспечить необходимый микроклимат внутри зданий, т.к. поддерживает его равномерные параметры.

Применение технологии избыточного давления.

Как и говорилось выше, применение избыточного давления в жилых и промышленных предприятиях является энергоэффективным и важным техническим решением. Принцип работы данной технологии заключается в следующем: устройства вентилирования устанавливаются перед приточным проемом, образуя направленный конус воздуха в помещение; приточный поток подмешивается с воздухом, находящимся внутри здания, а избытки теплого воздуха удаляется через вытяжную вентиляцию. Пример работы такой схемы представлен на рисунке 1 [2].

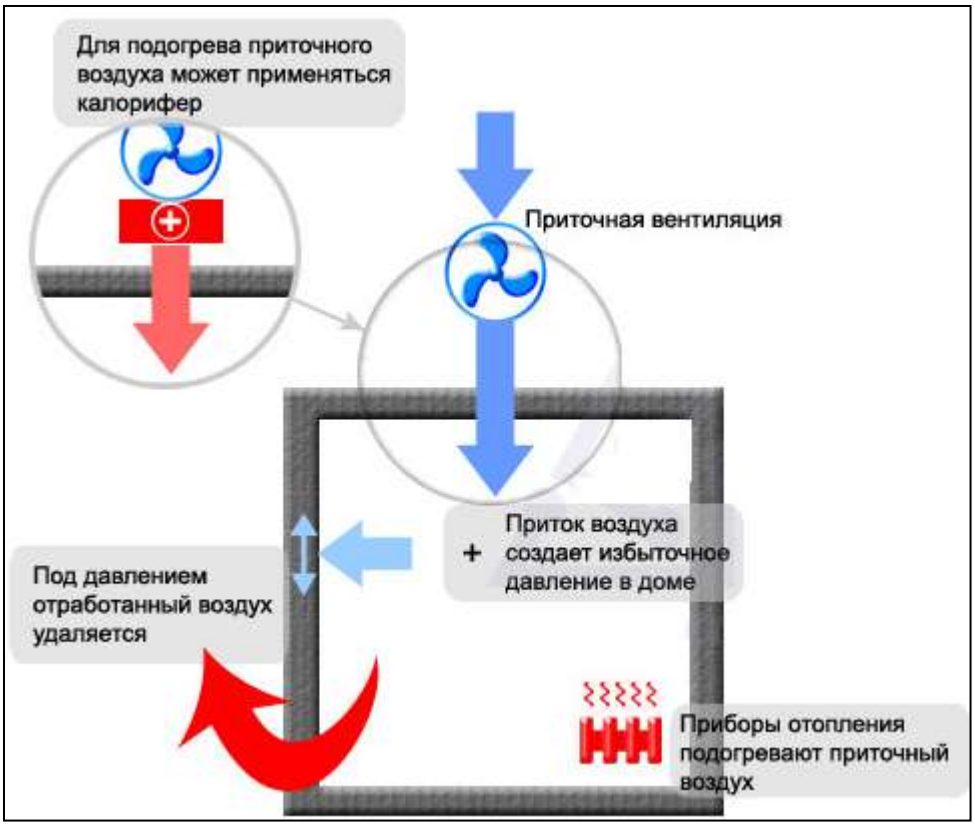


Рисунок 1 – Схема работы системы вентиляции избыточного давления

Особенность работы данной системы заключается в том, что для зимнего времени года, подогрев приточного воздуха осуществляется за счет использования отопительных систем (калорифера на входе или теплоизлучения от радиаторов), а в летнее время подмешивается к отработанному.

Алгоритм Мамдани в системах вентиляции избыточного давления.

Алгоритм Мамдани описывает последовательные процессы из нескольких этапов, представленных на рисунке 2. Он примечателен тем, что внешне похож на «черный ящик», т.к. на вход поступают количественные значения, на выходе они же, а на промежуточных этапах нечеткие множества [3].

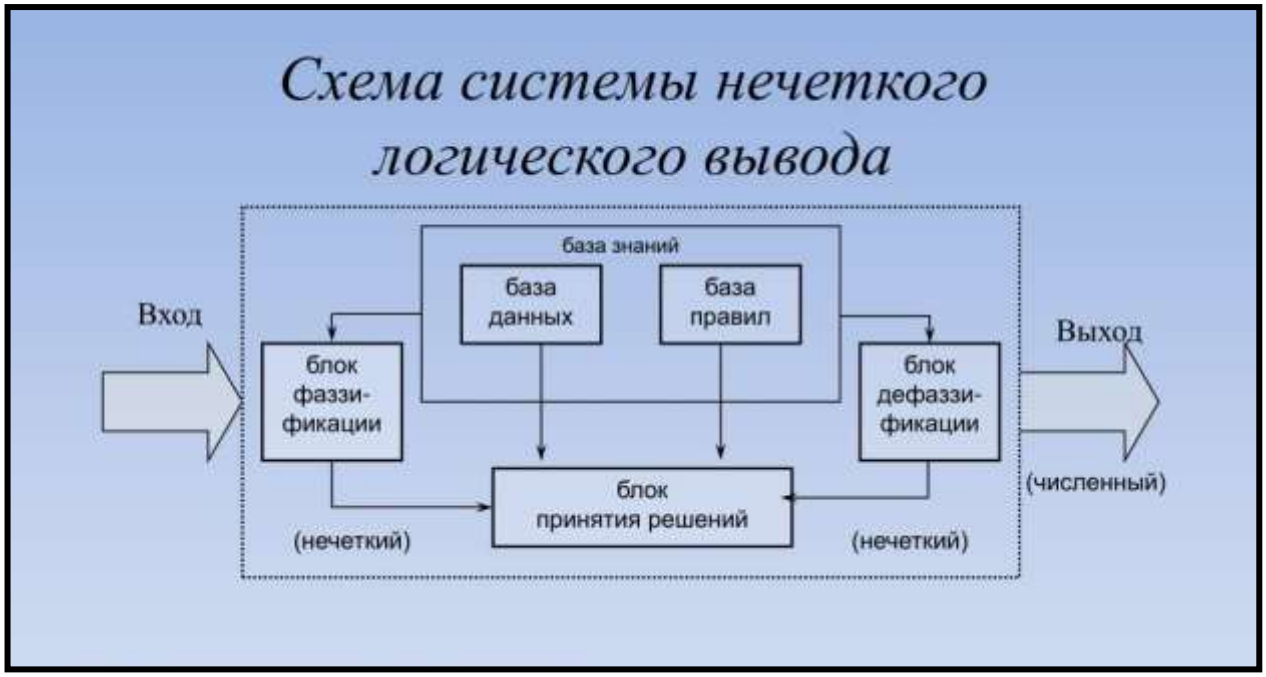


Рисунок 2 – Алгоритм Мамдани

Для рассматриваемой технологии вентиляции избыточного давления алгоритм Мамдани выполнен в программе Fuzzy Logic [4]. Для ее реализации создан блок структуры рассматриваемой задачи. Такой блок представлен на рисунке 3.

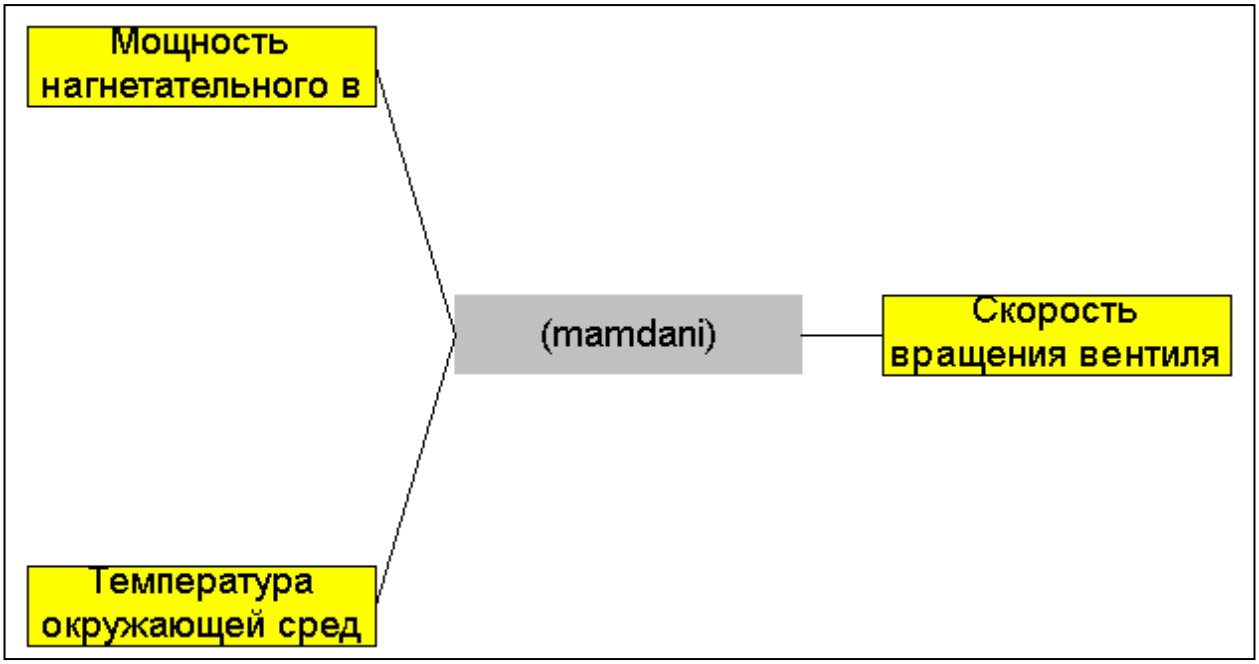


Рисунок 3 – Структура задачи по алгоритму Мамдани

В качестве входных переменных используются мощность нагнетательного вентилятора и окружающая среда. Выходной переменной является скорость вращения вентилятора. Идея заключается в том, что при теплой погоде

вентилятор работает в более интенсивном режиме, чтобы в помещении было комфортно находится, а в холодное время года, наоборот, скорость вращения ниже, однако температура в помещении выше, а циркуляция воздуха сохраняется и поддерживается. Для работы данной структуры и вывода данных создается специальная база правил, необходимая для связки входных переменных, их термов и выходной переменной. База правил с типом логических связи «И» и «ИЛИ» представлена на рисунке 4.

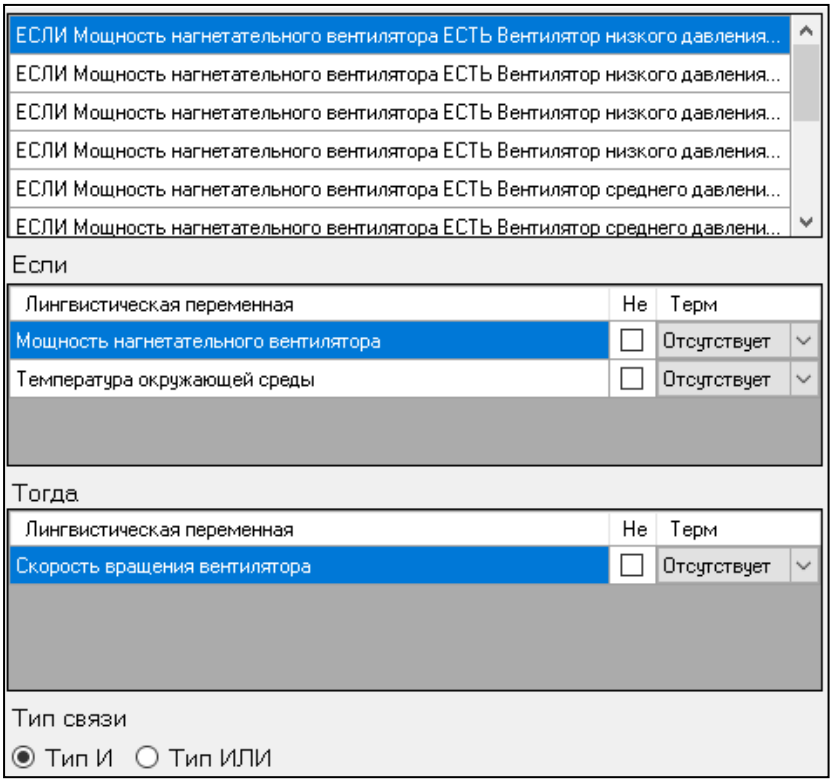


Рисунок 4 – База правил для структуры рассматриваемой задачи

По представленным блокам, приводится результат на итоговом экране программы Fuzzy Logic. При помощи выведенных графиков можно наглядно наблюдать процесс работы программы для вентиляции избыточного давления. Он представлен на рисунке 5.

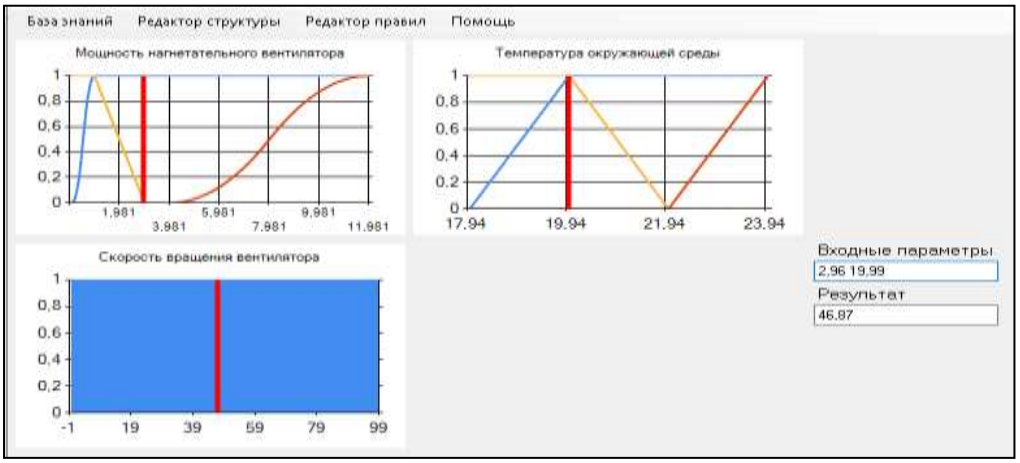


Рисунок 5 – Результат работы с программой Fuzzy Logic

Как видно из работы программы, мощность работы вентилятор составляет ~47% от общей мощности, чтобы создать в помещении 20°C. Таким образом, разработанная структура представляет работу вентиляции избыточного давления по методу нечеткого вывода (алгоритма Мамдани) на основе программы Fuzzy Logic.

Список литературы

1. Даныш, А.В. Применение установки промывки теплообменников для повышения энергоэффективности системы вентиляции / А. В. Даныш, В. Ю. Соколов // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2023. – 32-36 с.;

2. Иванов, А.С. Использование избыточного давления в системах централизованного теплоснабжения для производства электрической энергии / А.С. Иванов, Н.Ф. Котеленец. – Режим доступа: http://www.combienergy.ru/stat/1052-Ispolzovanie-izbytochnogo-davleniya-v-sistemah-centralizovannogo - дата обращения 13.01.2024.;

3. Бурмистрова, О.Н. Нечеткие подстановки и принцип Мамдани / О.Н. Бурмистрова, А.И. Кобрунов, П.В. Кожевникова. – Режим доступа: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35749&ysclid=lrdzw2pn0547599729 – дата обращения 13.01.2024.;

4. Что такое нечеткая логика: принцип работы, примеры, применение / Режим доступа: http://digitrode.ru/articles/1242-chto-takoe-nechetkaya-logika-fuzzy-logic-princip-raboty-primery-primenenie.html - дата обращения 13.01.2024.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ БОЛТОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

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

Эксплуатация электрических сетей различного уровня и назначения не обходится без применения болтовых электрических соединений токоведущих частей. В случае выхода из рабочего состояния болтового электрического соединения неизбежны прямые материальные потери, нарушение технологического процесса промышленных предприятий, недоотпуск электроэнергии в городских сетях бытового потребления. Во избежание критических ситуаций, необходима своевременная качественная диагностика электрических соединений, для раннего обнаружения проблемных элементов и своевременного планирования обслуживания и ремонта.

В настоящее время диагностика электрических контактных соединений, в частности болтовых разъемных соединений, осуществляется различными методами: как с применением органов чувств человека, так и измерительных приборов и развивающихся комплексных методов. В данной работе был проведен анализ научно-технической литературы в области существующих методов и средств диагностики электрических контактных соединений. Условно методы распределены на 4 группы.

К первой группе отнесен метод визуального контроля [1]. При использовании данного метода зрительным органом человека оценивается механическая целостность электрического соединения, отсутствие или наличие трещин, деформаций, загрязнений, видимых признаков окислений: все это влияет на переходное сопротивление контактного соединения. Основные достоинства данного метода, следующие:

- Не требует специальных устройств;
- не требует больших трудовых и временных затрат;
- возможность проведения оценки в процессе эксплуатации, без вывода элемента из рабочей схемы.

К недостаткам следует отнести:

- Применим в случае открытого доступа к диагностируемому элементу;
- метод является субъективным, в результате применения не дает четких электротехнических параметров и причин возникновения дефектов;
- нет возможности получения промежуточных результатов исследования;
- не дает возможности прогнозирования выхода из строя контактного элемента;

- негативный результат диагностики вероятно является показателем критического или близкого к нему состояния;

- сниженный уровень безопасности человека при проведении оценки состояния из-за непосредственной близости к токоведущим частям электроустановки.

Ко второй группе отнесен метод, который включает в себя принцип измерения переходного сопротивления контактного элемента [2]. Этот метод направлен на получение объективной числовой электротехнической характеристики. Для измерения переходного сопротивления необходимы приборы, предназначенные для замера малых сопротивлений с высокой точностью – микроомметры. Выполнение замеров необходимо проводить при соблюдении правил охраны труда и ориентируясь на нормативную документацию. Согласно нормативному документу [3], а именно главе 1.8.25 регламентированы допустимые значения переходного сопротивления болтовых контактных соединений первичных цепей при различных уровнях протекающих токов и цепей заземления.

К достоинствам данного метода оценки состояния контактных соединений можно отнести:

- Наличие объективного параметра в результате оценки состояния-омическое сопротивление;

- возможность сбора информации по изменению состояния с течением времени.

К недостаткам метода можно отнести следующие факторы:

- Необходимость наличия высокоточных приборов измерения;

- необходимость вывода оцениваемого элемента из работы.

К третьей группе относится метод тепловизионного контроля. При использовании данного метода используется просмотр «тепловой» фотографии исследуемого объекта или их множества [4].

Применяемое в данном методе устройство – тепловизор, через объектив улавливает инфракрасные волны, которые излучает любой предмет, имеющий температуру выше абсолютного нуля. Внутри прибора происходит преобразование полученного сигнала в электрический и на экран выводится тепловая фотография, визуальная составляющая которой напоминает обычную, но с измененным цветовым профилем. Градиент цвета от белого до тёмно-синего/черного соответствует градиенту наблюдаемого диапазона температуры исследуемых тел. Применение тепловизора на объектах из металла требует учета погрешностей из-за высокой отражающей способности.

Данный метод также называют тепловизионной дефектометрией, и его можно применять для некоторого множества элементов сразу, проводя сравнение находящихся рядом контактных соединений. Это позволяет выявлять дефектный элемент на фоне идентичных ему по конструкции и нагрузочным параметрам. Применение данного метода не требует вывода обследуемых элементов из работы, а напротив используется оборудование в состоянии «под нагрузкой».

Итак, к достоинствам данного метода можно отнести:

- Возможность прямого сравнения элементов нескольких элементов;
- проверка выполняется в процессе эксплуатации исследуемых элементов;
- применение метода дистанцировано от токоведущих частей, находящихся под напряжением;
- нахождение точного места дефекта при приближенном изучении элемента.

К недостаткам данного метода можно отнести следующее:

- Необходимость дорогостоящего качественного оборудования;
- наличие погрешностей измерения возникающих из-за высокой отражающей способности металлов;
- на эффективность исследования влияют погодные условия, в случае их проведения на открытом воздухе;
- особенности применения устройства с определенным объективом, в зависимости от доступного пространства и расстояния до объектов.

К четвертой группе отнесены автоматизированные способы диагностики [5], разработанные на основе методов имитационного моделирования и прогнозирования. Данные методы используют совокупность данных исследований и математические функции для моделирования и прогнозирования состояния контактных соединений.

В дальнейшем планируется разработка автоматизированной системы оценки состояния контактных соединений, предполагается, что разработанная система сможет повысить достоверность и объективность в выявлении функциональных неисправностей исследуемых объектов, а также проводить достоверное моделирование и прогнозирование состояния контактных соединений.

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

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа методов и средств диагностики электрических контактных соединений

№	Метод оценки	Ф.И.О. ученых	Достоинства	Недостатки
1	Визуальный контроль	Бигус Г.А. Быстрова Н.А.	- Не требует специальных устройств - не требует больших трудовых и временных затрат - возможность проведения оценки	- Не дает полной картины реального технического состояния (объективных электротехнических параметров) - результаты оценки

			в процессе эксплуатации, без вывода элемента из рабочей схемы -сниженный уровень безопасности человека при проведении оценки состояния из-за непосредственной близости к токоведущим частям электроустановки.	не дают промежуточных вариантов состояний элемента - не дает возможности прогнозирования выхода из строя контактного элемента - получение негативных результатов оценки состояния говорит лишь о невозможности дальнейшего использования контактного элемента, без возможности оперативного исправления ситуации
2	Измерение переходного сопротивления	Игнатенко И.В. Власенко С.А. Кавлак Р.С.	- Наличие объективных параметров в результате оценки - возможность прослеживания изменения состояния с течением времени	- Необходимость применения набора измерительных приборов -необходимость вывода оцениваемого элемента из работы;
3	Тепловизионный контроль	Будадин О.Н. Потапов А.И. Колганов В.И. Троцкий-Марков Т.Е.	- Возможность нахождения причин снижения уровня проводимости элемента - объективность получаемых данных оценки -нахождение	- Необходимость дорогостоящего оборудования - наличие погрешностей, возникающих из-за наличия высокого уровня отражающей и излучающей

			точного места дефекта при приближенном изучении элемента.	способности металлов -на эффективность исследования влияют погодные условия, в случае их проведения на открытом воздухе
4	Комплексный метод оценивания состояния	Каликсанов Н.Т. Сарсенбаев Е.А. Хальясмаа А.И. Горобец В.Л.	- Возможность автоматизации вычислительных процессов, что снижает вероятность наличия ошибок и погрешностей в результатах - возможность прогнозирования состояния контактного элемента в связи с изменением нагрузочных параметров на основе расчётных моделей и статистических данных - возможность повышения уровня надежности элемента, а следовательно, и системы в целом на стадии проектирования с учетом минимизации затрат на материалы и обслуживание большого количества	- Необходимость разработки соответствующих автоматизированных систем оценки - необходимость наличия навыков обращения с подобными системами -необходимость высокого уровня материально-технического оснащения

			однотипных элементов	

В 2020 году была утверждена энергетическая стратегия России до 2035 года [6], одним из главных направлений которой является цифровая трансформация и интеллектуализация электроэнергетики, в контексте которого разработка интеллектуальных автоматизированных систем для управления, контроля, диагностики электроэнергетических объектов, комплексов является приоритетной.

Однако, в настоящее время научно-технической литературы по разработке автоматизированных алгоритмов оценки состояния контактных электрических соединений, в т.ч. и болтовых - недостаточно.

Подводя итог можно сказать, что тема исследования, а именно «Система оценки состояния болтовых электрических соединений» является актуальной и значимой для стабильной работы электрических сетей.

Список литературы

1. Бигус Г.А., Быстрова Н.А. Визуальный и измерительный контроль-Учебное пособие. — Москва: Сертинк, 2008, - 58 с.
2. Бондаренко И.Б., Гатчин Ю.А., Соединители и коммутационные устройства: Учебное пособие. – Санкт- Петербург: Изд-во ИТМО, 2007, - 149 с.
3. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7 – Новосибирск: Норматика, 2015 – 464 с.,ил. – (Кодексы. Законы. Нормы.).
4. Бажанов С.А, Тепловизионный контроль электрооборудования в эксплуатации // Приложение к журналу «Энергетик»— Москва: НТФ «Энергопрогресс» - №3.
5. Д.К. Елтышев, Интеллектуальные модели комплексной оценки технического состояния высоковольтных выключателей, Пермь, 2016.
6. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года»
7. Свистунов Н.А. Диагностика электрооборудования и электротехнических устройств силовых подстанций под нагрузкой для повышения эффективности их функционирования: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.09.03 / Свистунов Н.А. – Тула, 2020.- 132 с.

ПРОВЕРКА ТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ КАБЕЛЕЙ 0,4 КВ С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ СРАБАТЫВАНИЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

Валиуллин К.Р., канд.техн.наук, доцент, Ефремова С.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Термическое действие токов короткого замыкания заключается в значительном нагреве токоведущих частей электрооборудования, который может привести к увеличению потерь электроэнергии, деформации и плавлению контактов, а также к ускорению процесса деградации свойств изоляции вплоть до ее пробоя. Соотношения уровней токов КЗ в сетях электроснабжения 0,4 кВ с длительно допустимыми токами кабелей и отсутствие в п. 1.4.3 ПУЭ [1] требования о необходимости проверки по термической стойкости кабелей до 1 кВ вызывают возрастание рисков нарушения бесперебойности работы электроприемников, а также существенно повышают вероятность возникновения пожаров в сети 0,4 кВ

К основным нормативным документам, определяющим условия проверки термической стойкости кабелей, помимо ПУЭ [1], относят ГОСТ Р 52736—2007 [2] и противопожарный циркуляр №Ц-02-098 [3]. Существующие методики по проверке термической стойкости кабелей основаны на сравнении предельных температур токопроводящих жил с температурами их нагрева токами КЗ.

Для проверки термической стойкости по методике, изложенной в [2], требуется проведение большого количества дополнительных расчетов, что не всегда удобно при выполнении практических расчетов. В основе же алгоритма проверки, указанного в [3] и носящего рекомендательный характер, лежит использование номограмм выбора силовых кабелей, что может привести к существенному снижению точности расчетов. Эти особенности, а также некоторые противоречия существующих алгоритмов расчета [4] обуславливают актуальность вопроса уточнения методики по проверке термической стойкости кабелей в сети 0,4 кВ.

Как правило, для количественной оценки термического воздействия тока КЗ используют понятие термического импульса B_K [2]. При выполнении практических расчетов в цепях, значительно удаленных от источников питания, B_K определяется следующим образом:

$$B_K \geq I_{K3}{}^2 \cdot t_{откл}, \qquad (1)$$

где I_{K3} - ток короткого замыкания, термическое действие которого необходимо проверить, А;

$t_{откл}$ - время отключения КЗ, с.

Условие термической стойкости проводников и кабелей также может принимать вид [5]:

$$q_{станд} \geq q_{мин}, \tag{2}$$

где $q_{станд}$ - стандартное сечение токопроводящего элемента, мм^2;

$q_{мин}$ - минимальное сечение проводника, при котором заданный ток КЗ вызывает нагрев проводника до кратковременно допустимой температуры, мм^2. Данная величина определяется по формуле:

$$q_{мин} = \frac{\sqrt{B_K}}{C}, \tag{3}$$

где C - параметр, определяемый по таблицам 3.16-3.18 [5] и зависящий от типа токопроводящего элемента.

На основании выражений (1)-(3) можно вывести зависимость изменения предельного по условию термической стойкости времени отключения КЗ $t_{пред.откл.}$, с, которая принимает следующий вид:

$$t_{пред.откл.}(I_{КЗ}) = \frac{B_K}{{I_{КЗ}}^2} = \left(\frac{C \cdot q_{станд}}{I_{КЗ}}\right)^2, \tag{4}$$

Как видно из выражения (4), предельное время отключения КЗ зависит от значения токов короткого замыкания, которые в свою очередь изменяются при смещении места повреждения на кабельной линии.

Сравнивая график функции (4) с времятоковой характеристикой аппаратов защиты, можно оценить выполнения условия термической стойкости для рассматриваемого кабеля. Если характеристика срабатывания лежит ниже и левее зависимости изменения предельного времени отключения КЗ от тока, то условие проверки термической стойкости считается выполненным, так как величина термического импульса тока КЗ не превышает запас термической стойкости кабеля. При положении же характеристики срабатывания аппаратов защиты выше и правее характеристики термической стойкости кабеля, проверяемое условие не выполняется.

В качестве примера использования предложенной методики оценки термической стойкости кабелей предлагается использовать типовую схему электроснабжения 0,4 кВ, участок которой приведен на рисунке 1.

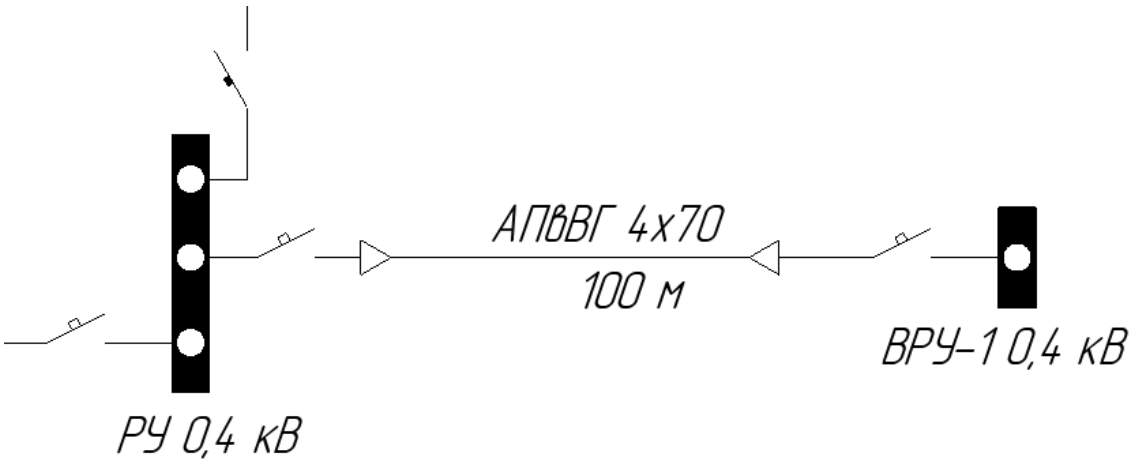


Рисунок 1 – Рассматриваемый участок типовой схемы электроснабжения 0,4 кВ

Рассматриваемый участок содержит кабель АПвВГ 4х70 – 0,6кВ длиной 100 м. Графическая зависимость распределения трехфазных и двухфазных металлических и дуговых токов КЗ от локализации места повреждения на кабельной линии приведена на рисунке 2.

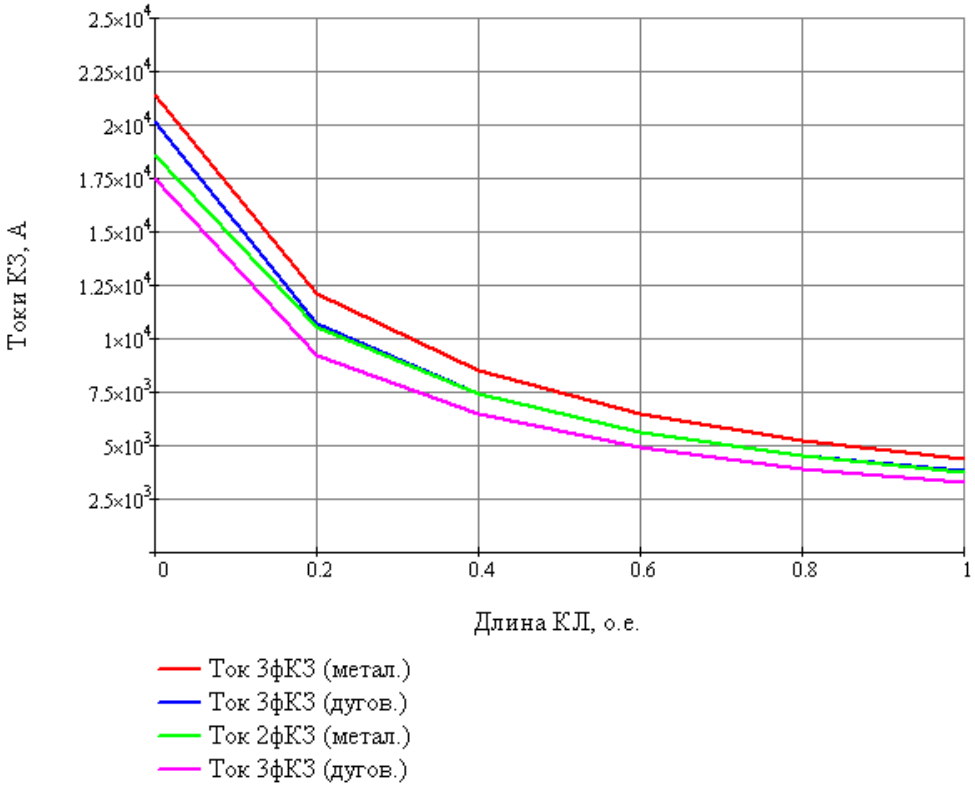


Рисунок 2 – Зависимость распределения токов КЗ от места повреждения на КЛ

Для проверки условия термической стойкости кабеля необходимо сравнить времятоковые характеристики (ВТХ) срабатывания автоматического выключателя отходящей линии, являющегося основной защитой КЛ, и автоматического выключателя, установленного на вводе РУ 0,4 кВ и выполняющего функцию дальнего резервирования, с описанной аналитически с использованием формулы (4) зависимостью изменения предельного времени отключения КЗ. Уставки срабатывания рассмотренных ВА, выбранные на основании условий обеспечения чувствительности и селективности, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уставки срабатывания ВА

Характеристика	Уставка ВА отходящей ВЛ	Уставка вводного ВА
Номинальный ток автомата	1000 А	1600 А
Ток срабатывания защиты от перегрузки	800 А	1600 А
Время срабатывания защиты от перегрузки	4 с при I_r	4 с при I_r
Ток срабатывания МТЗ	2400 А	4800 А
Время срабатывания МТЗ	0,25 с	0,75 с
Ток срабатывания ТО	6240 А	12480 А

Сравнения ВТХ автоматических выключателей с характеристиками термической стойкости рассмотренного кабеля приведено на рисунке 3.

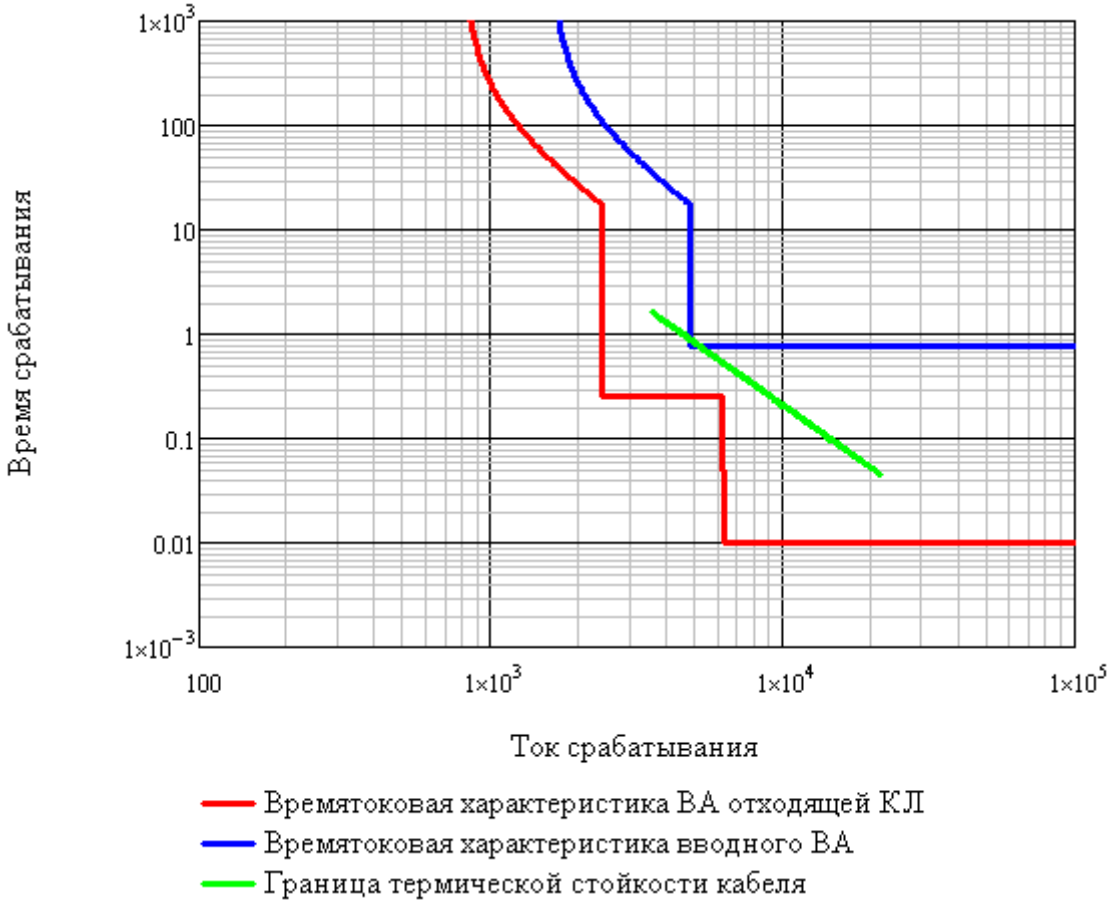


Рисунок 3 – Сравнение ВТХ ВА с характеристикой термической стойкости КЛ

По рисунку 3 можно сделать вывод, что при времени отключения токов короткого замыкания основной защитой, функцию которой выполняет автоматический выключатель отходящей КЛ, рассматриваемый кабель остается термически устойчив во всём диапазоне возможных токов КЗ. Наличие же точек пересечения сравниваемых характеристик при отказе основных защит сообщает о риске необратимого повреждения КЛ при некоторых величинах токов короткого замыкания. В таком случае необходимо либо пересмотреть уставки срабатывания автоматического выключателя, либо заменить кабель.

Таким образом, предложена новая методика проверки термической стойкости кабелей 0,4 кВ, основными достоинствами которой является удобство использование в практических расчетах в связи с отсутствием масштабных дополнительных расчетов и наглядность.

Список литературы

1. Правила устройства электроустановок [Текст] : все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2012 г. – Москва : КноРус, 2012. – 488 с.

2. ГОСТ Р 52736—2007. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. – Введ 2007-07-12 –Москва : Стандартинформ, 2007. – 40 с.

3. Циркуляр №Ц-02-098. О проверке кабелей на невозгорание при воздействии тока КЗ. – Введ. 1998-03-16 – РАН «ЕЭС России», 1998. – 14 с.

4. Лапидус А.А. Анализ термического действия токов короткого замыкания в кабельных линиях напряжением 0,4 кВ в зависимости от места повреждения / А. А. Лапидус, С. Н. Соловьева // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование, № 3, 2011, с.46 – 50. – 5 с.

5. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 448 с.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Дербенева В.А., Иванова А. П., д-р техн. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Проектирование приборов и систем в электротехнике - это сложный и разносторонний процесс, который включает в себя разработку и создание различных устройств, от электроники и микроэлектроники до электроэнергетических систем. Это один из немаловжных этапов в производстве любых электротехнических устройств, включая электронные приборы, электромеханические устройства, силовые системы, автоматизированные системы управления и прочее.

Проектирование приборов и систем в электротехнике подразумевает в себя несколько этапов, начиная от концептуализации и исследования до проектирования, моделирования, создания аналогов и тестирования устройства. Важно учитывать тот факт, что в процессе проектирования приборов и систем необходимо соблюдать все стандарты электробезопасности, а также технические и качественные требования, установленные для конкретной отрасли.

Рисунок 1- Система проектирования приборов

Проектирование приборов и систем в электронике начинается с определения конкретных требований к конечному продукту, рисунок 1. Этот этап включает в себя изучение потребностей пользователей, функциональных и эксплуатационных требований, а также бизнес-критериев. На этом этапе проводится анализ рынка и конкурентов, чтобы определить уникальные особенности и преимущества проектируемого устройства.

Следующий важный этап - это проектирование аппаратной части системы. Оно включает в себя выбор компонентов, разработку схемы и

печатной платы, а также проведение необходимых расчетов и моделирований. На этом этапе инженерам электроники требуются глубокие знания в таких областях, как области электронных компонентов, программирование микроконтроллеров, схемотехника и дизайн печатных плат.

Проектирование аппаратной части сопровождается разработкой программного обеспечения. Программное обеспечение играет решающую роль в функционировании и управлении приборами и системами в электронике. Здесь требуется опыт в программировании микроконтроллеров, алгоритмическом мышлении и тестировании программного обеспечения.

После окончания разработки аппаратной и программной частей, приходит время для создания прототипа. Прототипирование дает возможность проверить работу прибора или системы в реальных условиях и внести необходимые поправки. Данный этап также может включать проведение тестирований с целью проверки соответствия требованиям и надежности работы проектируемого устройства. Как только прототип прошел все обязательные проверки и тесты, следующий этап - это производство и выпуск конечных изделий. Здесь важно обеспечить высокое качество производства, эффективность и стабильность работоспособности прибора или системы.

Одним из ключевых аспектов проектирования приборов и систем в электротехнике является выбор правильных элементов и материалов. Это включает в себя выбор электронных компонентов, силовых полупроводников, разъемов, печатных плат, корпусов и других компонентов, которые обеспечат надежную и долгосрочную работу устройства.

Еще одним важным аспектом проектирования приборов и систем является анализ и моделирование работы устройства. Современные программные средства, такие как CAD (компьютерное проектирование) и CAE (компьютерное инженерное проектирование), позволяют инженерам создавать виртуальные модели устройств, проводить различные анализы, такие как анализ напряженности полей, динамических характеристик и других параметров, что обеспечивает еще более точное и надежное проектирование.

Также важным аспектом при проектировании приборов и систем в электротехнике является обеспечение эффективной работы устройства. Это включает в себя оптимизацию расхода энергии, повышение коэффициента мощности, обеспечение безопасности при эксплуатации, что в свою очередь требует не только глубоких знаний в электротехнике, но и использование современных технологий и инструментов для эффективного управления энергией и ресурсами.

Проектирование приборов и систем в электротехнике также требует учета конкретных требований качества и стандартов, установленных для данной отрасли или рынка. Это включает в себя соответствие нормам электробезопасности, стандартам качества, требованиям по маркировке и сертификации, а также многим другим нормативным документам, необходимым для успешного внедрения продукта на рынок.

Таким образом, проектирование приборов и систем в электротехнике требует не только широких знаний в области электротехники, но и инженерной интуиции, творческого подхода, глубоких знаний в таких областях, как материаловедение, механика, и другие инженерные науки.

Благодаря современным технологиям и программным средствам, процесс проектирования становится более эффективным и безошибочным, что позволяет создавать более надежные, безопасные и энергоэффективные приборы и системы в электротехнике, способные удовлетворить самые строгие требования современной промышленности и потребителей.

В зависимости от конкретной области применения, проектирование приборов и систем в электротехнике может включать в себя такие специфические требования, как минимизация энергопотребления, защита от электромагнитных помех, высокая степень защиты от влаги и пыли и другие.

Таким образом, проектирование приборов и систем в электротехнике играет важную роль в наше время, обеспечивая создание новых технологий и развитие инноваций в различных отраслях промышленности и науки.

Список литературы

1. Щепетов А. Г. Основы проектирования приборов и систем : учебник — : Издательский центр «Академия», 2011. — 368 с

2. Щепетов А. Г.,.Строганов Д.А. Основы проектирования приборов и систем:– М.: МГУПИ, 2011. – 31 с.

3. Родионов М. Г. Проектирование приборов и систем: учебное пособие / М.Г. Родионов, А. В. Михайлов, К. Р. Сайфутдинов. — Омск: ОмГТУ, 2017. — 168 с. — ISBN 978-5-8149-0404-6.

4. Моделирование и проектирование приборов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://miem.hse.ru/edu/ee/council/mmdesign (дата обращения 07.01.2024) - Текст: электронный

5. 5. Электроника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.electronics.ru/journal/article/312/ - (дата обращения: 07.01.2024). - Текст: электронный

6. 6. Приборостроение и электроника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nto-journal.ru/catalog/priborostroenie-i-elektronika/ - (дата обращения 07.01.2024). - Текст: электронный

7. Дорохин А.М. Новые возможности генерации электроэнергии - живая энергетика //Дорохин А.М., Иванова А.П. В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции. Оренбург, 2023. С. 1086-1090.

8. Шипилова Е.С. Микропроцессорная система управления //ШипиловаЕ.С., Иванова А.П. В сборнике: Молодежная наука в xxi веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшеклассников: в 3 частях. 2017. С. 161-162.

ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Иов К.С., Фролов С.С., канд.техн.наук, доцент,
Шатилов Д.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На данный момент импульсные преобразовательные устройства заняли устойчивые позиции в сфере энергетики. Компактные размеры, небольшой вес, высокие эффективность и стабильность выходных характеристик, малое время перерегулирования, гибкость в настройке – все эти качества присущи современным системам питания.

Спектральный метода анализа при разработке подобных устройств позволяет с высокой точностью определить наличие и влияние паразитных гармоник, негативно влияющих на устройства, подключенные как со стороны входной, так и со стороны выходной цепи.

Для современных удалённых и замкнутых систем бесперебойного питания востребована процедура принудительного разряда аккумуляторных батарей. Указанный процесс принудительного разряда целесообразно осуществлять с рекуперацией в сеть. Такой способ приводит: во-первых, к уменьшению массы зарядно-разрядных устройств за счёт исключения из последних мощных резистивных нагрузок; во-вторых – к заметной экономии электроэнергии для замкнутых автономных объектов. При этом для тока рекуперации предъявляются повышенные требованиями к его синусоидальности, на коэффициент искажения которой существенно влияют соотношения между ЭДС аккумуляторной батареи и амплитудой напряжения сети, током разряда и максимальным током катушки активного выпрямителя. Также возможно влияние соотношения между частотой управляющего ШИМ-сигнала и частотой тока рекуперации (частотой сети). В бесперебойных системах применяются аккумуляторные батареи с различным суммарным ЭДС и ёмкостью, определяющей ток разряда. Кроме того, упомянутые величины изменяются в ходе эксплуатации и при принудительном разряде могут применятся различные методики, отличающиеся соотношением тока разряда с ёмкостью аккумуляторной батареи и законом его изменения. Поэтому в ходе разработки универсальной системы принудительного разряда батареи в сеть с широтно-импульсным управлением формой возвратного тока актуальна информация о зависимостях коэффициента искажения синусоидальности от указанных выше соотношений между напряжением аккумуляторной батареи и амплитудой напряжения сети, током разряда и максимальным током катушки активного выпрямителя, а также от количества импульсов на период тока рекуперации.

В статье представлены результаты работы по получению диаграмм указанных зависимостей. Для получения последних сформирована функция выходного тока активного выпрямителя – тока рекуперации, затем его спектральная функция. С использованием последней выполнена оценка искажений формы тока на основе спектрального подхода. Полученные результаты востребованы при разработке модулей программ для микроконтроллеров широтно-импульсных регуляторов тока рекуперации, реализующих алгоритмы формирования кривой тока с приемлемыми значениями коэффициента искажения синусоидальности при изменении параметров аккумуляторной батареи, сети и тока разряда.

Работа выполнена в рамках разработки системы управления принудительным (тренировочным и восстановительным) разрядом (ПР) аккумуляторных батарей (АКБ) в однофазную сеть (рис. 1) резервных (РСП) и бесперебойных систем питания (БСП) удалённых промышленных объектов.

В перечисленных РСП и БСП общее ЭДС АКБ варьируется от нескольких десятков [5, 6] до нескольких сотен вольт [1, 7], энергоёмкость также от нескольких десятков [8] до нескольких сотен киловатт-часов [9], ёмкость, определяющая тока принудительного разряда, изменяется от сотен до тысячи ампер-часов. Поэтому в обычных зарядно-разрядных устройствах (ЗРУ) применяются резистивные нагрузки мощностью от 1 до 20 кВт, что требует дополнительного теплоотвода и утяжеляет ЗРУ. Также в течении восстановительного цикла (до 10…20 часов) выделяется энергия, составляющая для замкнутых и удалённых систем значительную долю энергозатрат.

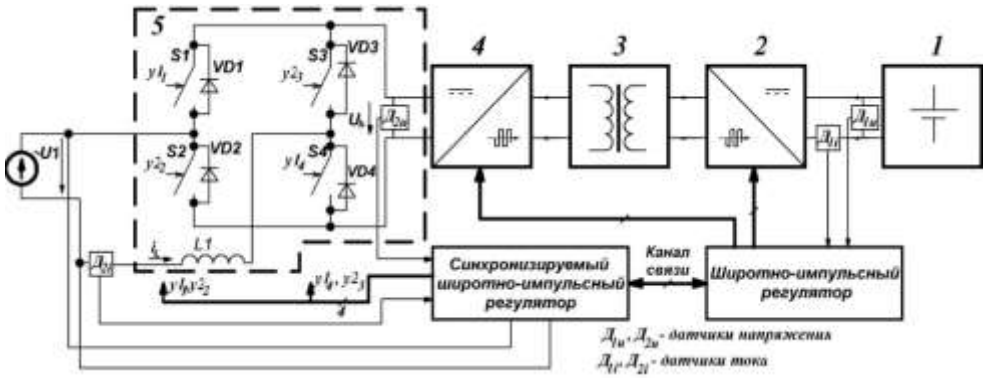


Рисунок 1 - Система принудительного разряда аккумулятора в сеть

Поэтому применение в РСП и БСП систем ПР в сеть целесообразно для относительно заметной экономии электроэнергии и уменьшения массы ЗРУ за счёт удаления мощных резистивных нагрузок для разряда [3, 4].

Применение в ЗРУ активного выпрямителя (АВ) с полностью управляемыми вентилями – транзисторами IGBT или MOSFET – позволяет с помощью сигнала управления с однотактной односторонней, либо двусторонней ШИМ сформировать ток рекуперации i_L с близкой к синусоидальной форме.

Согласно техническим требованиям к качеству электроэнергии в компании Schneider Electric, допустимый коэффициент искажений синусоидальности (КИС) тока статора синхронных машин – 1,3…1,5 %. Значения КИС зависят от ЭДС АКБ, амплитуды напряжения сети, тока разряда, индуктивности катушки $L1$ АВ и числа ШИМ-импульсов N на период сети. ЭДС АКБ и её ёмкость, определяющая ток разряда, со временем изменяются, в РСП и БСП различных объектов их значения отличаются на порядок. Поэтому при разработке универсальной системы ПР требуется информация о зависимости КИС от перечисленных параметров АКБ, сети, ШИМ-сигнала и индуктивности $L1$.

В настоящей работе решается задача графического исследования зависимостей КИС тока i_L:

- от отношения напряжения питания АВ U_b, пропорционального ЭДС АКБ, и амплитуды сети U_m

$$k_u = \frac{U_b}{U_m}; \tag{1}$$

- от отношения текущей амплитуды тока катушки $I_{m,0}$, пропорциональной току разряда АКБ, и максимальной амплитуды тока катушки $I_{m,max}$

$$k_I = \frac{I_{m,0}}{I_{m,\max}}, \tag{2}$$

где $I_{m,max}$ определяется выражением

$$I_{m,\max} = \frac{U_m \cdot T_{PWM}}{L1}; \tag{3}$$

T_{PWM} – период ШИМ-импульса;

- от числа ШИМ-импульсов N на период сети.

В этой статье рассматривается зависимости для однотактной односторонней ШИМ - ООШИМ-2, при которой длительность i-го импульса определяется значением синусоидальной функции в начале i-го периода.

В программе MathCad сформирована функция тока i_L суммированием его нарастаний и спадов на каждом i-м периоде ООШИМ-2 при положительной (i = 0, …0.5·N–1)

$$\Delta i_{L,i}^{+} = I_{m,\max} \cdot \left(k_u - \sin\left(i\tfrac{2\pi}{N}\right)\right) \cdot D_i, \quad \Delta i_{L,i}^{-} = -I_{m,\max} \cdot \sin\left(i\tfrac{2\pi}{N}\right) \cdot (1 - D_i) \tag{4}$$

и при отрицательной полуволне в сети (i = 0.5·N, ... , N–1)

$$\Delta i_{L,i}^{+} = -\Delta i_{L,i-0.5\cdot N}^{-}, \ \Delta i_{L,i}^{-} = -\Delta i_{L,i-0.5\cdot N}^{+}, \tag{5}$$

Выражения для коэффициентов заполнения для каждого i-го шага на основании (1) и (2) примут вид

$$D_i = \frac{1}{k_u}\left(k_I \cdot \frac{2\cdot\pi}{N} \cdot \cos\left(\frac{i\cdot 2\cdot\pi}{N}\right) + \sin\left(\frac{i\cdot 2\cdot\pi}{N}\right)\right) \text{ при } i = 0,\ldots,\frac{N}{2} - 1, \tag{6}$$

$$D_i = D_{i-\frac{N}{2}} \text{ при } i = \frac{N}{2},\ldots,N-1. \tag{7}$$

Результаты численного моделирования в программе MathCad подтверждают корректность формирования кривой тока i_L (рис. 2).

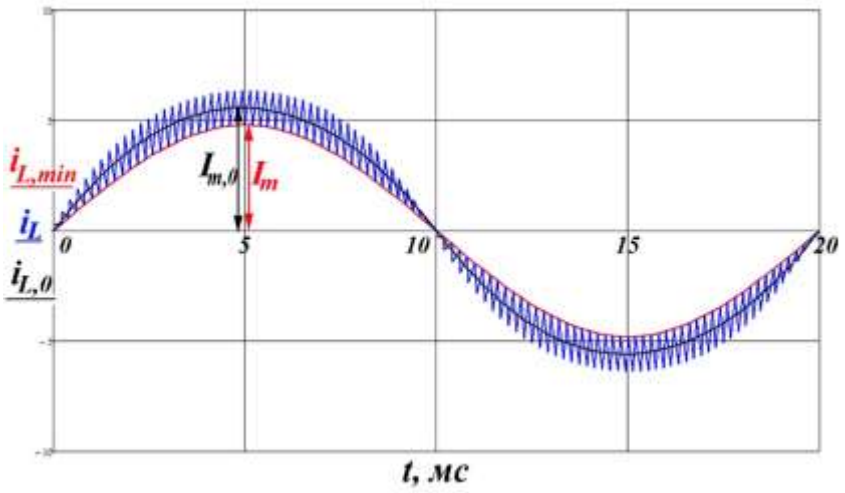


Рисунок 2 - Ток рекуперации при ООШИМ-2

При расчёте спектра тока i_L, формируемого на основе закономерностей (4) – (7) воспользовались свойствами интегрального преобразования Фурье – суперпозиции (линейности), смещения во времени, первообразной, а также соотношениями между спектрами непериодического и периодического сигналов.

Расчётный эксперимент в программе MathCad показал, что для всех точек положительной и отрицательной полуволн i_L выполняется равенство

$$i_L(x) = -i_L(x+\pi), x \in [0, \pi). \qquad (8)$$

Поэтому изначально получили выражение спектральной плотности $S^+(\omega)$ первой полуволны

$$S^+(\omega) = \frac{-I_{m,\max}}{\omega^2 \cdot T_M} \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} \left(k_u \left(1 - e^{-j \cdot \frac{\omega \cdot D_i}{N \cdot f_c}} \right) - \sin\left(i \frac{2\pi}{N} \right) \cdot \left(1 - e^{\frac{-j \cdot \omega}{N \cdot f_c}} \right) \right) e^{\frac{-j \cdot i \cdot \omega}{N \cdot f_c}}, \qquad (9)$$

где f_c = 50 Гц – частота сети.

Спектральную плотность для всего периода рис. 2 получим, просуммировав полученный результат (5) и его инверсию, смещенную на пол периода

$$S(\omega) = S^+(\omega) - S^+(\omega) \cdot e^{\frac{-j \cdot \omega}{2 \cdot f_c}}. \qquad (10)$$

Амплитуды и начальные фазы гармоник периодически повторяющейся волны $i_L(t)$ рис. 2 получим как выборки из амплитудной и фазовой спектральных плотностей на частотах, кратных частоте сети, то есть из модуля и аргумента соотношения (6)

$$I_{L,n} = 2 \cdot f_c \cdot \left| S(n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_c) \right|, \qquad (11)$$

$$\psi_n = \arg\{S(n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_c)\}. \qquad (12)$$

Корректность расчётов спектра (8) – (12) проверена сравнением диаграмм сформированного в программе MathCad сигнала тока i_L и функции суммы ряда Фурье $i_{L\sim}$

$$i_{L,\sim}(t) = \sum_{n=1}^{400} I_{L,n} \cdot \cos(n \cdot 2\pi \cdot f_c \cdot t + \psi_n). \qquad (13)$$

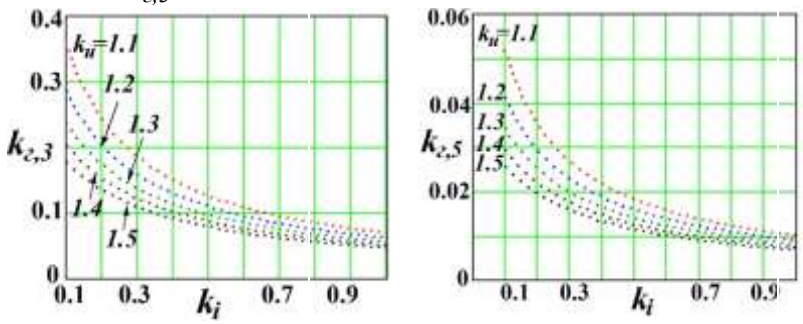
Известно, и исследованиями диаграмм амплитудного спектра в программе Mathcad подтверждено – последний группируется полосами в области низших частот и в окрестностях частот, кратных частоте ШИМ-сигнала $N \cdot f_c$. Полосы в окрестностях $k \cdot N \cdot f_c$ (k – целое число) *подавляются* сетевыми фильтрами приборов той же сети.

Поэтому в исследовании рассмотрены только низшие частоты с $n << N$. Анализ амплитуд (7) в указанной области показал – чётные составлявшие в спектре отсутствуют, а внимания заслуживают «вредные» составляющие с номерами n=3 и n=5.

Диаграммы зависимостей 3-й и 5-й гармоник, приведённые к 1-й

$$k_{г,3} = I_{L,3} / I_{L,1}, \; k_{г,5} = I_{L,5} / I_{L,1}$$

от приведённой амплитуды тока k_I (рис. 3, *а*, *б*) показывают – уровень 5-й гармоники на порядок меньше 3-й. Поэтому КИС достаточно оценить с помощью отношения $k_{г,3}$.

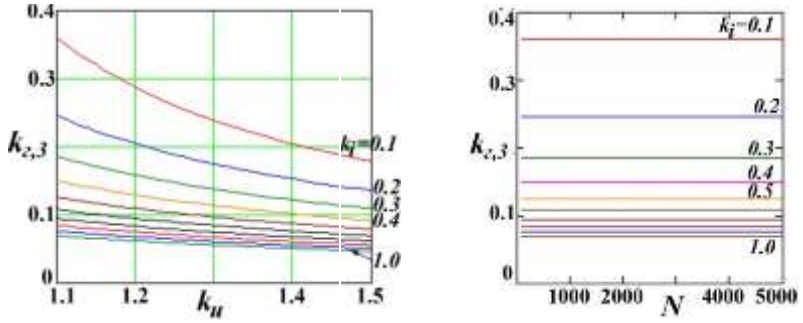


а) *б)*

Рисунок 3 - Зависимости приведённых амплитуд: 3-й (*а*) и 5-й (*б*) гармоник от приведённой амплитуды тока k_i

Исследованы зависимости коэффициента гармоник $k_{г,3}(k_i)$ при фиксированных значениях k_u (рис. 3, *а*) и $k_{г,3}(k_u)$ при фиксированных значениях k_i (рис. 4, *а*), обе при $N = 100$, а также зависимость $k_г(N)$ при $k_u = 1.1$ и $N = 100…5000$ (рис. 4, *б*).

Последняя диаграмма (рис. 4, *б*) показывает практическую независимость КИС от отношения N частоты ШИМ-сигнала к частоте сети.



а) *б)*

Рисунок 4 - Зависимости коэффициента искажений синусоидальности: от приведённого напряжения питания активного выпрямителя k_u (*а*) и от числа ШИМ-импульсов *N* на период сети (*б*)

Полученные зависимости $k_{г,3}(k_i)$ и $k_{г,3}(k_u)$ дают полезную информацию для разработчика программного обеспечения микроконтроллеров широтно-импульсных регуляторов рис. 1. В частности, потребуются при разработке подпрограмм подстройки тока разряда АКБ при заданных ограничениях на КИС $k_г$. Ток разряда связан с напряжением питания АВ U_b и амплитудой тока катушки $I_{m,0}$. В свою очередь, соотношения между напряжением питания U_b и амплитудой напряжения сети U_m, а также между амплитудой тока катушки $I_{m,0}$ и его максимальной амплитудой $I_{m,\max}$ (определяется индуктивностью *L1*), влияют на КИС тока рекуперация $k_г$.

На основе приведенных выше методов расчета возможно более эффективно проводить подготовку будущих специалистов, занимающимися проблемами энергетики.

Список литературы

1 Шичков Л.П., Людин В.П., Мохова О.П. Автоматизированный зарядно-разрядный тиристорный преобразователь для электротехнологий регенерации аккумуляторных батарей // Российский государственный аграрный заочный университет. Вестник Российского государственного аграрного заочного университета, 2013. – №14(19). – с. 105-109.

2 Пат. 2595267 РФ. Мобильный зарядно-разрядный комплекс для корабельных аккумуляторных батарей / Темирёв А.П., Цветков А.А., Киселёв В.И. и др., 2015.

3 Г.Г. Константинов Г.Г., Фам Конг Тао, Киселев В.И. Техническое совершенствование автономного зарядно-разрядного электротехнического комплекса аккумуляторных батарей подводных аппаратов // Иркутский национальный исследовательский технический университет (Иркутск). Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. – Т. 22, №3 (134). – с. 154-171.

4 П. м. 103427 РФ. Зарядно-разрядное устройство для аккумуляторных батарей / Мишин В.Н., Бубнов О.В., Ракитин Г.А. и др. 2010.

5 Петровичев М.А., Гуртов А.С. Система энергоснабжения бортового комплекса космических аппаратов: учебное пособие / Самара: Изд.-во Самарского гос. аэрокосмического университета, 2007. – 88 с.

6 Чёрная М.М. Системы электропитания космических аппаратов с модулем зарядно-разрядного устройства // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. Томский государственный университет управления и радиоэлектроники. – Томск., 2018. – Т.1, №2, с. 163-166.

7 Савченко, А.В. Разработка корабельной автоматизированной системы контроля и диагностики аккумуляторных батарей дизель-электрических подводных аппаратов: автореферат диссертации на соискание учёной степени

кандидата технических наук: 05.13.06 / Научно-производственное объединение «Аврора». – СПб., 2007 – 16 с.

8 Чёрная М.М. Исследование и разработка энергопреобразующей аппаратуры высоковольтных систем электропитания космических аппаратов: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / Томский государственный университет управления и радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск, 2017. – 142 с.

9 Каменев. Ю.Б., Лушина М. В., Яковлев В. А., Леонов В. Н. Новый свинцово-кислотный аккумулятор для морских подводных аппаратов / Электрохимическая энергетика, 2009. – Т.9, №3, с. 166 – 170.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

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

На основании распоряжения Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 года» приоритетом государственной энергетической политики является гарантированное обеспечение энергетической безопасности страны в целом и на уровне субъектов Российской Федерации.

Согласно статистике, в электроэнергетической области, от 15% до 40% аварий происходит из-за некорректных действий, принимаемых оперативно-диспетчерским персоналом. Как правило, ошибки, допускаемые оперативно-диспетчерским персоналом связаны со следующими факторами:

- необходимостью анализа большого объема исходных и текущих технических параметров электрических сетей;
- взаимосвязью оцениваемых параметров;
- увеличением числа возможных вариантов по ликвидации аварий;
- необходимостью многокритериального оценивания каждого варианта.

В связи с этим, одной из основных задач электроэнергетики является разработка и внедрение в Центры оперативно-диспетчерского управления автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР) по ликвидации аварийных режимов, возникающих в электрических сетях.

Анализ научно-технической литературы в области разработки СППР позволил выделить следующие математические методы, с помощью которых они реализуются:

Регрессионный анализ позволяет исследовать связь между одной или несколькими независимыми переменными и зависимой переменной. Этот метод основан на формировании заключения о том, насколько сильно одна или несколько входных переменных оказывают влияние на выход. С его помощью можно смоделировать существующие наблюдения [1]. К недостаткам регрессионного анализа можно отнести невозможность объяснения причинно-следственной связи. Соответственно, в данном методе отсутствует важный фактор для анализа информации для помощи в принятии решения.

Кластер-анализ – это способ группировки многомерных объектов, основанный на представлении результатов отдельных наблюдений. Позволяет вычислять фрактальную размерность и вероятностный анализ в целях

комплексного изучения распределения и влияния неоднородностей на поведенческие свойства электроэнергетической системы [2]. Основная задача данных методов – получить обоснованные выводы о параметрах, видах распределений и других свойствах случайных величин по конечной совокупности наблюдений над ними. Эти методы позволяют на основе структуризации исходной или эквивалентной схемы выявить статические и динамические свойства системы без проведения трудоемких расчетов режимов и переходных процессов. Среди недостатков можно выделить неоднозначность полученных результатов, возможные ошибки в классификации, а также отсутствие объяснительной функции, то есть невозможность объяснения причинно-следственных связей. Для разработки СППР по ликвидации аварий необходимо минимизировать неточности в анализе информации и возможные ошибки, следовательно, данными методами пользоваться не рекомендуется.

Эмпирический метод – метод, основанный на опытных данных, получаемых в экспериментах при некоторых базовых условиях, или на наблюдениях. Этот метод позволяет изучить абсолютно все стороны объекта или явления, доступные восприятию датчиками приборов. Достоинством метода является возможность повторять исследование для проверки результатов [3]. К недостаткам отнесем следующее: зависимость от личных взглядов и представлений при принятии решения, ограниченность в применимости, наличие ошибок и предвзятости.

Методы экспертной оценки. Экспертные системы (ЭС) – это сложные программные комплексы, объединяющие знания специалистов в определенных предметных областях и предоставляющие информацию менее квалифицированным пользователям. В отличие от других систем обработки данных, в ЭС в основном используется символьный способ представления, а не числовой [4]. Экспертные системы способны пополнять свои знания в ходе взаимодействия с профессионалом, но это достаточно трудоемкий процесс. Соответственно, недостатком данного метода является потребность в высококвалифицированных специалистах.

Методы нечетких множеств. При моделировании широкого класса реальных объектов возникает необходимость принимать решения в условиях неполной нечеткой информации. Современным перспективным направлением моделирования различного вида неопределенностей является теория нечетких множеств. Специфика выбора модели принятия решения состоит в том, что разрабатываемые алгоритмы должны учитывать качественную информацию, исходящую от эксперта и представленную в лингвистической форме. Описание объекта в таком случае носит нечеткий характер. С введением нечетких чисел оказалось возможным прогнозировать будущие значения параметров, которые меняются в установленном расчетном диапазоне. Вводится набор операций над

нечеткими числами, которые сводятся к алгебраическим операциям с обычными числами при задании определенного интервала достоверности (уровня принадлежности). Применение нечетких чисел позволяет задавать расчетный коридор значений прогнозируемых параметров. Тогда ожидаемый эффект оценивается экспертом [5]. Недостатками являются отсутствие стандартной методики проектирования и расчета нечетких систем и необходимость специального программного обеспечения.

Рассмотренные методы анализа и оценивания различных альтернатив, используемые в процессе принятия решения, их достоинства и недостатки представлены в таблице 1.

Проведенный сравнительный анализ математических методов, на основе которых реализуют СППР, позволил заключить, что для области электроэнергетики наиболее целесообразно использовать методы: нечетких множеств и экспертной оценки. По сравнению с другими методами, они имеют ряд преимуществ, которые помогут оперативному персоналу более точно анализировать возникающие нарушения нормального режима работы, быстрее оценивать и ранжировать множество вариантов по ликвидации аварий.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки различных методов анализа данных для принятия решения

	Методы анализа данных для принятия решения	**Ф.И.О. авторов**	**Достоинства**	**Недостатки**
1	Регрессионный анализ	Эндрю Гельман Н. Дрейпер Г. Смит	• Простота и интерпретируемость • Прогнозирование и планирование	• Невысокая точность прогноза • Субъективный характер выбора вида конкретной зависимости • Отсутствие объяснительной функции (невозможность объяснения причинно-следственной связи)
2	Кластерный анализ	Л. Гитис Б. Дюран	• Определение скрытых закономерностей • Сжатие данных • Визуализация данных	• Неоднозначность результатов • Ошибки в классификации • Проблемы с масштабируемостью • Выбор метрик и методов
3	Эмпирический метод	Бодриков М.В.	• Основан на наблюдениях, фактах и опыте • Исследования могут быть повторены другими людьми для проверки результатов	• Не всегда способен объяснить глубокие причинно-следственные связи • Может зависеть от личных представлений и взглядов • Возможны ошибки и предвзятость • Может быть ограничен в своей применимости
4	Метод нечетких множеств	Семенова Н.Г. Эхъяева Г.Э. Коробова И.Л.	• Быстрое моделирование сложных динамических систем • Оперирование лингвистическими критериями • Оперирование нечеткими входными данными • Преодоление недостатков и ограничений существующих методов оценки проектных рисков	• Необходимость специального программного обеспечения и специалистов, умеющих с ним работать

5	Метод экспертной оценки	Боровская Е.В.	• Синтез опыта для получения нового знания • Возможность получения количественных оценок при отсутствии статических сведений • Быстрота получения результатов	• Трудоемкость процесса сбора информации • Потребность в высококвалифицированных специалистах

Список литературы

1. Статистические методы анализа: [учеб. пособие] / И.С. Шорохова, Н.В. Кисляк, О.С. Мариев; М-во образования и науки Рос. Федерации. Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 300 с.

2. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: Учебное пособие. - Томск: ТМЛ-Пресс, 2 0 11,- 120 с.

3. Методология и методы научных исследований: учебное пособие / Г.В. Дмитриенко, Д.В. Мухин. – Ульяновск: УлГТУ, 2021. – 225 с.

4. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие / Е.В. Боровская, Н.А. Давыдова. – 4-е изд., электрон. – М.: Лаборатория знаний. 2020. – 130 с.

5. Основы теории нечетких множеств: Метод. указания / Сост. И.Л. Коробова, И.А. Дьяков. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2003 24 с.

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ИХ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ

Кибец А.С.,Валиуллин К.Р., канд. техн. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Аннотация. В статье приведен анализ существующих способов повышения эффективности работы фотоэлектрических модулей (ФЭМ) за счёт регулирования их тепловых режимов работы. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при работе ФЭМ в условиях жаркого климата, а также пути их решения. Предложено разделение способов охлаждения ФЭМ на пассивные (без затрат дополнительной энергии на охлаждение) и активные (с затратами энергии). Проанализированы достоинства и недостатки каждого из подходов, на основе анализа существующих решений предложены способы утилизации низкопотенциального тепла, возникающего при нагреве ФЭМ.

В настоящее время все более широкое применение находят солнечные электрические станции. В России целевые показатели величин объемов ввода установленной мощности генерирующих объектов, функционирующих на основе ВИЭ, за 10 лет возросли на величину в 2238 МВт, что в среднем дает прирост более чем на 220 МВт в год [1]. При этом можно выделить два направления развития солнечной энергетики: строительство крупных солнечных станций большой мощности и использование ФЭМ в составе систем автономного электроснабжения небольших объектов. Второе направление в РФ становится всё более актуальным в связи с ростом цен на технологическое присоединение к электрическим сетям и наличием большого количества отдаленных объектов.

Очевидно, что наиболее целесообразна установка ФЭМ в условиях большой продолжительности светового дня и большого числа солнечных дней в году, что соответствует местам с жарким климатом. Однако эксплуатации ФЭМ в условиях жаркого климата имеет свои особенности. За счет нахождения под прямыми солнечными лучами, фотоэлектрические модули нагреваются ввиду отсутствия достаточного обмена тепловой энергией с окружающей средой [2]. В некоторых широтах, как показано в [3, рис. 13] [4, рис. 3] [5, рис. 14], поверхность фотоэлектрических модулей может разогреваться до температур, превышающих 60 - 70 градусов по Цельсию. Нагрев до такой температуры может быть опасен и приводить к ускоренной деградации полупроводниковой структуры и даже выходу ФЭМ из строя.

Также, из-за нагрева фотоэлектрических модулей происходит снижение максимальной выходной мощности и коэффициента полезного действия [5, рис. 9] [6, рис. 1] [7, рисунки 1-3]. Так, например, каждый фотоэлектрический

модуль имеет температурный коэффициент снижения КПД. [2, таблица 1], [2, рис. 2] [8, рис. 1]. Данный коэффициент характеризует, насколько процентов уменьшается КПД фотоэлектрических модулей с увеличением температуры окружающей среды на 1 °C от нормальных условий. Для большинства ФЭМ значение температурного коэффициента лежит в диапазоне 0,3 – 1,3 % [6], то есть каждый градус нагрева, свыше 20-25°C снижает эффективность ФЭМ в среднем на 0,8%. Необходимо отметить и тот факт, что нагрев ФЭМ происходит за счёт того, что не вся энергия солнечного излучения трансформируется в электрическую. Средний КПД промышленных ФЭМ в настоящее время составляет 20-25%, следовательно порядка 70% энергии солнечного излучения рассеивается в виде тепла, которое также могло бы быть использовано.

Таким образом, встаёт проблема отвода тепла от ФЭМ: для крупных солнечных электростанций увеличение выработки энергии на несколько процентов за счёт охлаждения может дать существенный прирост мощности в абсолютном выражении. Для станций малой мощности, работающих в составе систем автономного электроснабжения, прирост выработки электрической энергии будет не столь велик, но может быть актуальным использование низкопотенциальной тепловой энергии, получаемой за счёт охлаждения ФЭМ.

Краткий обзор существующих ФЭМ показал, что большинство производителей не уделяют внимания вопросам отвода тепла от ФЭМ и не закладывает в конструкции дополнительных средств для отвода тепловой энергии [9, 10, 11].

Краткий анализ существующих исследований на тему охлаждения ФЭМ показал, что основные решения, направленные на охлаждение фотоэлектрических модулей, можно классифицировать по двум направлениям: затратам энергии на охлаждение и способу использования отводимой от ФЭМ тепловой энергии.

По затратам энергии на охлаждение предлагается выделить две группы методов: пассивные, то есть без дополнительных затрат энергии и активные – в которых для охлаждения ФЭМ требуется дополнительная энергии. По способу использования отводимого тепла можно выделить методы, в которых тепло просто рассеивается в окружающую среду без полезного эффекта, а также методы, позволяющие тем или иным способом использовать отводимое тепло. Рассмотрим основные способы охлаждения ФЭМ, предлагаемые в научно-технической литературе.

1. Использование радиаторов на задней стороне солнечной панели. Данный метод является пассивным и не позволяет использовать отводимое тепло. Авторы В. Н. Гульков, И. Д. Колесниченко, К. Е. Коротков в статье [2] предлагают решение, основанное на использовании на тыльной стороне солнечной панели рассеивателя, имеющего сферические выступы, а также покрытого черной краской с высоким коэффициентом излучения. Достоинствами такого решения является простота установки и отсутствие необходимости затрат энергии на охлаждение. Авторы заявляют, что метод

позволяет повысить КПД ФЭМ на 3 ÷ 5 %. Однако такой подход имеет и недостатки: сферические выступы сложны в изготовлении, а для их крепления требуется термопрокладка большой площади.

Похожий подход был рассмотрен в статье [12], где исследователи проводили сравнение между пассивным воздушным и активным жидкостным охлаждением. В итоге было предложено комбинированное решение, к достоинствам которого можно отнести уменьшение площади теплопроводящих прокладок и увеличенную надежность системы, так как при отказе активного жидкостного охлаждения система все равно будет функционировать.

Однако данное комбинированное решение имеет один значительный недостаток – прибавка к мощности ФЭМ при наличии простого алюминиевого радиатора составляет 26,7 %. В то время как использование комбинации из трубок с теплоносителем и алюминиевого радиатора дает прибавку мощности 34,3 %. То есть использование трубок с теплоносителем дало прирост мощности всего на 7,6 %.

2. Использование тепловых трубок, уходящих под землю. Метод также является пассивным и не предполагающим использование отводимой от ФЭМ тепловой энергии.

В статье [13] С. А. Трембач предлагает использовать тепловые трубки для охлаждения тыльной стороны ФЭМ. Метод основан на пассивном теплообмене, повышенной теплопроводности металлов и постоянстве температуры грунта начиная с определенной глубины. Основным достоинством решения является большая теплоемкость земли, позволяющая не только отводить тепло летом, но и наоборот, получать его в холодное время года, то есть конструкции можно использовать в том числе для предотвращения образования наледи на ФЭМ. Основным недостатком является сложность и механическая уязвимость конструкции: к ФЭМ необходимо прикрепить тепловые трубки, после чего эти трубки нужно разместить глубоко в земле (от 3 до 10 м).

3. Использование на задней стороне солнечной панели материалов, претерпевающих изменение физического состояния.

Такое решение предлагается исследователями J. Siecker, K. Kusakana, B.P. Numbi в [14]. Предполагается, что расположенный на задней стороне ФЭМ материал накапливает тепло в течение дня и постепенно отдает его ночью. Это может помочь избежать тепловых физических напряжений в теле панели, что положительно скажется на долговечности её работы. Необходимо отметить, что этот метод, по сути, не предполагает охлаждения, а направлен на повышение тепловой инерции ФЭМ. Сами исследователи отмечают, что при комбинировании такого решения с пассивным воздушным радиатором, возможно снизить температуру солнечной панели на 30 градусов по Цельсию. Однако, такой подход отличается дороговизной материалов и сложностью установки такого теплового накопителя.

Похожий подход применялся исследователем Abdulmunem R. в [15]. Однако, помимо использования только материала, претерпевающего изменение физического состояния, в работе рассматривалось использование еще и

алюминиевой матрицы для улучшения теплопроводности. Преимуществом такого подхода является еще большая эффективность теплоотвода, по сравнению с предыдущим исследованием, однако из этого вытекает и самый крупный недостаток такой системы: ввиду необходимости использования специализированной алюминиевой матрицы его экономическая целесообразность остаётся под вопросом.

4. Использование водоемов.

Еще один вариант пассивного охлаждения рассмотрен в [14]. Предлагается расположение ФЭМ на плавучей конструкции, погруженной в водоем. Эта конструкция имеет на борту простую систему одноосевого слежения за солнцем, а также систему концентраторов солнечного излучения. К достоинствам можно отнести простоту поворота ФЭМ за Солнцем по одной оси, и крайне эффективное их охлаждения за счет контакта с водой. Но очевидно, что подобные системы могут применятся только на спокойных незамерзающих водоёмах большой площади, что накладывает серьезные ограничения на их применения.

5. Использование специальных гелевых пленок.

Исследователи Филина А. В., Носовец А. А. в статье [16] рассматривают возможность улучшения теплопроводности задней части солнечной панели путем применения специального геля с нанотрубками и солью хлорида кальция. В ночное время гель абсорбирует влагу из воздуха, а при нагреве постепенно ее отдаёт. Испаряющаяся влага, в свою очередь отводит тепло от ФЭМ. Достоинством такого решения можно назвать существенное снижение температуры, а также относительную простоту использования. Но вызывает вопросы возможность использования решения в условиях сухого и пыльного климата, а также его экономическая целесообразность.

6. Отбор теплоты при помощи трубок с теплоносителем, контактирующих напрямую с задней частью фотоэлектрических модулей.

Данное решение рассматривается авторами в [14]. Система представляет собой солнечную панель, на тыльной стороне которой расположен трубчатый теплообменник, к которому подключен циркуляционный насос, который в свою очередь подключен к накопительному баку. Способ является активным, так как требуются затраты энергии на циркуляцию теплоносителя, но при этом он позволяет использовать отводимую тепловую энергию. Достоинства такой системы — это ее простота, высокая эффективность охлаждения ФЭМ. К недостаткам следует отнести необходимость затрат энергии на охлаждение и усложнение конструкции ФЭМ.

Похожее решение было предложено авторами статьи [17] Н. И. Мирмовым, М. А. Плещинским, А. А. Васильевым. В данной статье исследователи рассматривали возможность повышения эффективности обыкновенного солнечного коллектора путем добавления к нему модифицированной солнечной панели, отбор тепловой энергии которой производился при помощи трубчатого теплообменника, который в свою очередь соединялся с трубопроводами, подключенными к солнечному

коллектору. Исследователям удалось установить, что данный подход позволяет увеличить эффективность на 55-65% по сравнению с обычными солнечными коллекторами. Также отмечена относительная простота данной конструкции.

M.A. Elias, R.M. Jais, N. Muda, N.A. Azlin, and N.M. Ahmad в статье [18] изучали различные способы охлаждения ФЭМ, среди которых было активное охлаждение при помощи трубчатых теплообменников. Данный подход предполагал использование теплообменника с 10 рядами трубок, по которым при помощи насоса циркулировала так называемая «наножидкость», которая позже передавала накопленное тепло через теплообменник во внешнюю среду. Исследователи заметили, что предложенная система являлась наиболее эффективной из рассмотренных систем, и позволила добиться снижения температуры на 11,1%. Но нельзя не отметить, что в аналогичных условиях снижение температуры у системы с пассивным радиаторным охлаждением составило 10,2%, то есть прирост эффективности именно охлаждения не соответствует росту затрат энергии на охлаждение. Однако, стоит упомянуть, что система с жидкостным охлаждением имеет преимущество в виде возможности отбора тепла и его использования, в то время как система пассивного воздушного охлаждения такой возможности не имеет.

7. Охлаждение за счёт распыления влаги на поверхность ФЭМ.

Данный подход рассмотрен в статье [4], которая описывает сравнение работы двух солнечных панелей, одна из которых является монокристаллической, а другая – поликристаллической. Данное исследование проверяет каждый метод охлаждения на каждом из типов панелей. Экспериментальная установка состоит из солнечных панелей разного типа, труб распыления и сбора воды, насоса и системы мониторинга. Исследователям удалось достичь значительного снижения температуры поверхности как моно- так и поликристаллических ФЭМ. Основным преимуществом такого подхода являлось снижение рабочей температуры ФЭМ на величину от 14 до 16 градусов и дополнительная очистка панелей от внешних загрязнений.

Аналогичное решение было предложено исследователями в [14]. На рисунке 4 показано разработанное устройство, состоящее из солнечной панели, алюминиевого бака, водяного насоса, фильтра, и двух труб – одна из которых распыляет воду, а другая собирает ее для дальнейшей фильтрации и повторного использования. Согласно выводам исследователей, данное решение позволило увеличить выходную мощность солнечных панелей на 50%, так как температура её поверхности не превышала 46 градусов по Цельсию. Несмотря на высокую эффективность, имеется ряд существенных недостатков – это большой расход воды, и необходимость ее предварительной подготовки. Также очевидно, что отводимая от ФЭМ тепловая энергия никак не используется.

8. Принудительное воздушное охлаждение.

Данный метод рассмотрен в [14]. Система состоит из солнечной панели, канального вентилятора, а также воздушного коллектора, распределяющего воздух по всей ширине солнечной панели. Исследователи отмечают, что такое решение не только увеличивает КПД солнечной панели, но и позволяет

нагревать воздух до температур, достигающих 76,6 °C. Авторы отмечают, что конструкция может быть использована не только для охлаждения ФЭМ, но и для обогрева зданий. Главным недостатком такой системы является необходимость значительного усложнения конструкции вентиляционной установки в случае использования большого числа солнечных панелей.

В [19] также предлагается подобная система, используемая для теплоснабжения жилого дома. Однако авторы также предлагают еще один вариант использования такого подхода – сушка продуктов сельскохозяйственной деятельности. Такое решение предпочтительно ввиду того, что для сушки нет необходимости поддержания постоянной температуры, как в случае с отоплением дома. Преимущества и недостатки такой системы схожи с предыдущим примером.

9. Использование простых труб, уходящих под землю и насоса, прокачивающего теплоноситель;

В статье [20] рассмотрено решение, заключающееся в использовании насоса и подземного теплообменника для перекачки воды через контур охлаждения ФЭМ. К достоинствам можно отнести существенную теплоемкость земли, что позволяет отводить большое количество тепла от ФЭМ. Но использование воды в качестве теплоносителя делает систему непригодной к использованию в регионах с низкой температурой.

Исходя из проведенного анализа видно, что наиболее перспективными способами охлаждения ФЭМ являются те, которые позволяют отводить энергию с помощью теплоносителя для её дальнейшего использования.

В большинстве рассмотренных исследований в качестве основного вида жидкого теплоносителя выступает вода. Достоинства воды как теплоносителя достаточно очевидны – она широко распространена, имеет низкую стоимость, высокую тепловую емкость, не токсична, химически не очень активна. Но при этом имеются не менее очевидные недостатки: вода замерзает в холодное время года, подвергает металлы коррозии, а также проводит электрический ток. Таким образом вода является хорошим решением только для систем, расположенных в теплых широтах, имеющих закрытый контур, с трубопроводами, выполненными из материалов, не подверженных коррозии. В остальных случаях, необходимо использовать другие типы жидких теплоносителей.

Этилен- (или пропилен-) гликолевый раствор с деионизированной водой является одним из них. Он позволяет исключить такие недостатки простой воды, как электропроводность, корозионность и относительно высокую температуру замерзания. Однако и он имеет недостатки, среди которых: увеличенная, по сравнению с водой, вязкость, увеличенная стоимость, не полное исключение коррозии металлических труб. Недостатками конкретно этиленгликолевого раствора являются его токсичность и больший коэффициент снижения плотности.

Описанные выше виды теплоносителей являются наиболее распространенными, однако стоит отметить, что в исследованиях [15, 18, 21]

рассмотрены другие, менее распространенные, теплоносители, которые имеют улучшенные параметры, хоть и являются более сложными в изготовлении. Один из таких теплоносителей состоит из «нано жидкости» – взвеси так называемых «максенов» в воде. Максены представляют собой неорганические соединения, состоящие из тонких слоев карбидов или нитридов металлов (в основном, ванадия, ниобия, молибдена, титана, вольфрама и циркония). Исследователи [21] обнаружили, что коэффициент теплопередачи значительно увеличивается при добавлении в деионизированную воду частиц максенов в определенной концентрации. Конкретно, было установлено, что соотношения веса максенов к воде всего в 0,2% и при расходе в 90 килограмм раствора в час достаточно для увеличения электрического КПД на 3,5%, а теплового КПД – на 17%.

В некоторых случаях для отвода тепла может быть использован не только жидкий, но и газообразный теплоноситель. В рассмотренных выше исследованиях в системах с пассивным конвективным охлаждением или системах с наддувом в качестве газообразного теплоносителя используется атмосферный воздух. Воздушное охлаждение показывает себя достаточно хорошо при использовании с тыльной стороны солнечных панелей крупных алюминиевых радиаторов, которые позволяют повысить эффективность охлаждения. Также, воздух после охлаждения, имеющий более высокую температуру, может использоваться для различных нужд, таких как обогрев воздуха в жилище или сушка сельскохозяйственных продуктов. Но главным недостатком любых газообразных теплоносителей является низкая способность к теплообмену, что ограничивает их применение.

В качестве твердых теплоносителей в основном выделяются материалы, имеющие достаточно низкую температуру плавления. Эта температура должна быть ниже температуры, при которой происходит недопустимое снижение КПД ФЭМ. Таким образом такие теплоносители позволяют передавать в них теплоту в светлое время суток, а в темное время суток, уже сам теплоноситель отдает тепло солнечной панели охлаждаясь и затвердевая. Отсюда и вытекает главное достоинство такого решения – при правильном расчете достигается абсолютная пассивность, а также в достаточной мере увеличивается КПД солнечной панели. Недостатком такого решения является необходимость установки на солнечную панели большой массы этого теплоносителя, что не только приводит к удорожанию системы в целом, но и нагружает конструкцию солнечной панели.

В связи с тем, что отобранное у ФЭМ тепло является низкопотенциальным, возможности его применения ограничены. Рассмотрим возможные способы утилизации тепловой энергии, полученной в результате охлаждения ФЭМ.

Для промышленного использования пригодны только крупные системы теплоотвода, имеющие потенциал сбора достаточного количества тепла (отбор тепла при помощи трубок с теплоносителем при использовании рециркуляции и отбор тепла воздухом). Такие системы позволяют эффективно получать

тепловую энергию, а теплоноситель будет иметь достаточную температуру. Остальные рассмотренные системы не подходят для использования в данной сфере ввиду достаточной сложности установки или низкой производительности.

Для использования в качестве источника горячего водоснабжения подходит большинство из рассмотренных выше систем, особенно при условии работы в комбинации с тепловым насосом (воздушным или подземным). Такая конструкция позволит добиться достаточно высокой температуры горячей воды в системе водоснабжения, что позволит использовать её круглогодично. При использовании в системах отопления зданий необходимо дополнительно использовать тепловые насосы или иметь резервный источник энергии, так как пиковые значения выработки тепла в светлое время суток не совпадают с пиковыми тепловыми нагрузками ночью.

Активные системы воздушного охлаждения могут быть использованы для сушки продуктов, например, в сельском хозяйстве, либо в системах вентиляции с рекуперацией.

Таким образом, был проведен обзор различных способов охлаждения ФЭМ, как с использованием отводимого тепла, так и без него. Для крупных фотоэлектрических станций наиболее целесообразными стоит признать пассивные методы охлаждения, так как в этом случае во главу угла ставится эффективность охлаждения и прирост электрической мощности ФЭМ. Возможности утилизации низкопотенциального тепла в местах установки большинства таких станций существенно ограничены, следовательно, использование систем активного охлаждения с возможностью утилизации тепла в этом случае нецелесообразно. Противоположная ситуация наблюдается в автономных системах электроснабжения малой мощности. Во многих ситуациях, на отдаленных автономных объектах есть потребность не только в тепловой, но и в электрической энергии, что делает выгодным использование активных систем охлаждения ФЭМ.

Исходя из выделенных достоинств и недостатков различных методов, наиболее перспективным для изучения является способ охлаждения ФЭМ с помощью жидкого теплоносителя и дальнейшим использованием полученного тепла, например, для горячего водоснабжения.

Список литературы

1. Возобновляемые источники энергии [Электронный ресурс] // Министерство энергетики РФ. - 2023. - Режим доступа: https://minenergo.gov.ru/node/489.

2. Гульков В.Н. Исследование влияния нагрева солнечных модулей на эффективность преобразования излучения / В. Н. Гульков, И. Д. Колесниченко, К. Е. Коротков // Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), 2019. – 7 с.

3. Bošnjaković M. Experimental Testing of PV Module Performance / Mladen Bošnjaković, Marinko Stojkov, Boris Zlatunić // TEHNIČKI GLASNIK 15, Хорватия. – 2021. – 6 с.

4. Hasan M. M. Effects of simple cooling methods on power output and efficiency of solar panels in outdoor conditions / M. M. Hasan, A. A. Rifat, O. F. Safwan, K. M. E. Hasan and A. B. M. A. Malek // School of Applied Sciences and Technology, Shahjalal University of Science and Technology, Бангладеш. – 2022. – 7 с.

5. Climatic Rating of Photovoltaic Modules: Different Technologies for Various Operating Conditions: отчет о НИР / Программа фотоэлектрических энергосистем международного энергетического агентства, 2020. - 167 с.

6. Трофимович А.В. Оценка температурных режимов солнечных батарей и панелей на основе анализа их вольтамперных характеристик: автореф. дис. на соиск. степени магистра техники и технологий: 1-398101 / Трофимович Андрей Владимирович. - Минск., 2019. - 16 с.

7. Ахмедов М.Р. Экспериментальное исследование влияния температуры на производительность солнечных батарей с использованием телеметрии космического корабля «Прогресс МС» / М.Р. Ахмедов, А.Г. Бидеев, В.В. Сазонов, И.И. Хамиц // Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва. – М., 2018. – 8 с.

8. Сорогин А.С. Анализ термоэлектрического и жидкостного охлаждения фотоэлектрического модуля с использованием программного комплекса PVSYST / А.С. Сорогин, Р.Н. Хамитов, С.Н. Жеребцов // Тюменский индустриальный университет, Омский государственный технический университет. – 2023. – 23 с.

9. Солнечные фотоэлектрические модули серии ТСМ [Электронный ресурс] // Телеком-СТВ. - 2023. - Режим доступа: https://shop.solarhome.ru/telekom-stv.html.

10. Солнечные фотоэлектрические модули HEVEL [Электронный ресурс] // HEVEL. - 2023. - Режим доступа: https://samara.hevelsolar.com/catalog/solnechnye-moduli/.

11. Солнечные фотоэлектрические модули [Электронный ресурс] // АО «РЗМКП». - 2023. - Режим доступа: http://www.rmcip.ru/solarcells.

12. Rakin S.A., A Passive Cooling System for Increasing Efficiency of Solar Panel Output / Sunarno A. Rakin, S. Suherman, S. Hasan, A. H. Rambe, Gunawan // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – 7 с.

13. Трембач С.А., Проблема перегрева фотоэлектрических модулей. Способ охлаждения фотоэлектрических панелей, используя пониженные температуры почвы // Череповецкий государственный университет. – 2021. – 6 с.

14. Siecker J., A review of solar photovoltaic systems cooling technologies / J. Siecker, K. Kusakana, B.P. Numbi //Central University of Technology. – Южная Африка. – 2017.

15. Abdulmunem R., Passive cooling by utilizing the combined PCM and aluminum foam matrix to improve solar panels performance: indoor investigation / Abdulmunem R. Abdulmunem // The Iraqi journal for mechanical and material engineering, Vol.17, № 4. – 2017.– 12 с.

16. Филина А. В., Исследование эффективности мероприятий по охлаждению солнечных панелей / А. В. Филина, А. А. Носовец // энерго- и ресурсосбережение – XXI век, Орёл. – 2021. – 5 с.

17. Мирмов Н. И., Комбинированные солнечные коллекторы с тепловыми трубками / Н. И. Мирмов, М. А. Плещинский, А. А. Васильев // Научно-Инженерный Центр. – Израиль. – 10 с.

18. Elias M.A., Research on different types of cooling system on ground mounted solar photovoltaic system for electrical output enhancement / M.A. Elias, R.M. Jais, N. Muda, N.A. Azlin, and N.M. Ahmad // Journal of Physics: Conference Series 2051.– 2021 г. – 8 с.

19. Рашидов Ю.К., Воздушные солнечные коллекторы: перспективы применения в условиях Узбекистана / Ю.К. Рашидов, Ж.Т. Орзиматов, М.М. Исмоилов // Ташкентский архитектурно-строительный институт, Ферганский политехнический институт. – Ташкент. – 2019. – 3 с.

20. Ruoping Y., Study of operation performance for a solar photovoltaic system assisted cooling by ground heat exchangers in arid climate, China / Yan Ruoping, Yu Xiaohui, Lu Fuwei, Wang Huajun // Renewable Energy 155. – 2020. –с. 102–110.

21. Sreekumar S., Numerical investigation and feasibility study on MXene and water nanofluid based photovoltaic and thermal system / Sreehari Sreekumar, Nikhilkumar Shah, Jayanta Deb Mondol, Neil Hewitt, Supriya Chakrabarti // Cleaner Energy Systems 2. – Великобритания. – 2022. – 17 с.

МЕТОДОЛОГИЯ ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ПРОФИЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН НАПРАВЛЕНИЯ 13.03.02

Морозов В.А.,
Митрофанов С.В., канд. техн. наук, доцент, Кильметьева О.И.
ООО «КЭС Оренбуржья», г.Оренбург
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Широкий охват сферы кадровых интересов электроэнергетической отрасли ставит необходимость гармоничного решения задач подготовки будущих бакалавров по направлению 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника для достижения, как минимум, трёх основных целей [3]:

- научить студентов методологии инженерного труда, познакомить с основными сферами деятельности и задачами организации производства, определить основные направления практических знаний, особо значимые для осуществления руководства персоналом подразделений, занятых в производстве работ на объектах и др.;
- научить студентов правильно позиционировать себя на рынке труда, стремиться к самосовершенствованию и интересоваться современными тенденциями развития электроэнергетического производства;
- развить у студентов практически значимые инженерные качества: достаточный для производственной деятельности объем фактических знаний, умений и навыков, а также способность аргументировано защищать свои технические решения.

В этой связи, всё более ощутимой становится необходимость практико-ориентированного подхода к решению задач высшего профессионального образования и такой подход может рассматриваться как совокупность средств и методов обучения с целью успешной реализации развития у студентов компетенций, установленных Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) [1].

Для разработки образовательных технологий, реализующих указанные выше формы, укажем некоторые методы и средства, реализация которых, несомненно, позволит повысить эффективность процесса обучения и степень профессиональной подготовки будущих специалистов.

По нашему мнению, методология практико-ориентированного обучения предопределяет комплекс учебно-методических и практических действий вуза для получения следующих конечных результатов:

- освоение студентами образовательной программы в условиях, максимально приближенных к профессиональным;

- формирование у студентов необходимых профессиональных компетенций на основе выполнения реальных практических задач, а также организационных и технических мероприятий, например по электробезопасности;
- повышение учебной активности студентов за счет усвоения ими изучаемого материала и получения практических навыков работы, имеющих реально высокую профессиональную значимость на рынке труда.

Для достижения указанных целей, целесообразно разработать и внедрить ряд мероприятий, позволяющих эффективно интегрировать реальное содержание производственных задач электроэнергетической отрасли в учебный процесс вуза. В этом направлении работ весьма полезными представляются следующие действия:

- совершенствование программ организации всех видов практик студентов (ознакомительная, профилирующая, эксплуатационная, технологическая, проектная и преддипломная) и повышение эффективности взаимодействия вуза с предприятиями, предоставляющими места практик (находить направления взаимовыгодного сотрудничества) [5];
- развитие проектной и внедренческой деятельности студентов для решения практических задач организации производства электромонтажных работ [5];
- развитие форм дополнительного образования для получения студентами практических навыков рабочих профессий с документальным подтверждением профессиональных разрядов и знаний отраслевых правил охраны труда и техники безопасности;
- создание на базе вуза малых инновационных форм (предприятий) для обеспечения профессиональной занятости студентов, в том числе совершенствования и модернизации учебно-лабораторной базы, разработки нестандартного учебного оборудования, создания учебных фильмов и обучающих программ (тренажеров), учебно-промышленных моделей объектов электроэнергетики [7, 9] и др.;
- привлечение работодателей к участию в разработке и согласовании учебных планов и рабочих программ;
- внедрение в образовательную программу практико-ориентированных дисциплин, согласованных с основными работодателями;
- привлечение наиболее квалифицированных работников передовых предприятий для проведения занятий в вузе и организация повышения квалификации профессорско-преподавательского состава в условиях передовых предприятий электроэнергетической отрасли в виде стажировок, совместной научно-практической деятельности и др. [2];
- применение методологии коучинга [6] и деловой игры [8] для развития руководящих и лидерских качеств, а также учебно-практических навыков студентов.

Чтобы выпускники вуза были способны в полной мере выполнять должностные обязанности на производственных участках работ, а также, смогли убедить в этом своих потенциальных работодателей, профессиональные взаимоотношения у студентов с предприятиями должны произойти еще в период обучения в вузе. При этом, будущим руководителям производства необходимо представлять функциональные виды деятельности производственного персонала, знать основные понятия проектно-сметного дела, уметь «читать» рабочую документацию (чертежи, схемы) и сметы на выполнение работ, представлять для себя объём требований при составлении деловых документов, а также знать документооборот предприятия [2, 3].

В этом направлении развития форм обучения положительные результаты приносит привлечение к проведению учебных занятий ведущих специалистов передовых предприятий электроэнергетической отрасли, что привносит в процесс обучения весомую практическую направленность. Так, в курсе «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения» рассматриваются реальные этапы подготовки электромонтажного производства (воздушные и кабельные линии электропередачи, силовые трансформаторы, подстанционное оборудование и др.), разработка проекта производства работ (ППР), оформление на объектах полного комплекта исполнительной документации, вопросы диспетчерско-технологического управления режимами электроэнергетических систем. Студенты также знакомятся с основными положениями, отражающими суть деятельности мастера и прораба в производстве строительно-монтажных работ (в т.ч. электромонтажных), поскольку во многих случаях, именно в электромонтажных организациях начинается карьера бакалавра по направлению 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника [4].

Наряду с производственными задачами и управленческим функционалом, с которыми студенты знакомятся на предприятиях в период прохождения любого вида практик, существуют эффективные методологии для развития у них руководящих и лидерских качеств. Одну из таких методологий представляет коучинг [6].

Коучинг (англ. coaching) — метод консалтинга и тренинга, в процессе которого человек, называющийся «коуч», помогает обучающемуся достичь некой жизненной или профессиональной цели. При этом, коучинг сфокусирован на достижении чётко определённых целей. Применительно к процессу инженерной подготовки студентов, профессиональный коучинг включает такие техники как наводящее перефразирование, слушание, задавание вопросов, уточнение, которые помогают студенту изменить перспективу и увидеть новые подходы к достижению цели обучения.

По существу, методология коучинга раскрывает внутренний (скрытый) потенциал человека (обучаемого) с целью максимального повышения эффективности процесса обучения. С помощью специальных подходов и приёмов у студентов появляются навыки управленческого поведения, сходного

по характеру с командно-контролирующими действиями, которые направлены на решение поставленных задач. Таким образом, вырабатывается способность самостоятельно и обоснованно управлять своими действиями и действиями команды в целом.

Так же, довольно эффективным способом в профессиональной подготовке современных выпускников вузов является деловая игра, которая позволяет гармонично соединить в себе знания и умения, а также придать полученным знаниям реальную практическую основу. При этом, главной целью деловой игры является именно развитие у студентов профессиональной компетентности и формирование умений применять теоретические учебные знания в реальных практических ситуациях. Именно разработка конкретных практических ситуаций реальной производственной деятельности является важнейшим моментом деловой игры напряду с учетом определенных важных обстоятельств, таких, как фактор времени, оценочные показатели, поставленные цели, конечные результаты и др. [8].

В деловой игре можно условно выделить определенную структуру, которая включает в себя имитационную и игровую модель. При этом, имитационная модель обычно рассматривается как выбранный фрагмент реальной действительности, представляя элементы профессиональной деятельности обучаемого, а игровая модель определяет для участников порядок игры. При определении конечных целей игры учитываются конкретный характер производственной задачи, категория обучаемых, конечные результаты обучения и др.

Защита курсовых работ по дисциплине «Эксплуатация и монтаж систем электроснабжения» с применением формы деловой игры направлена на проработку следующих значимых учебно-практических моментов:

- особенности подготовки производства работ на энергообъектах;
- высокая степень ответственности руководителя производства за свои действия и действия подчинённого персонала;
- сложность и опасность условий труда при производстве работ в действующих электроустановках;
- формирование психологической готовности к процессу руководства производством работ на сложных энергообъектах;
- более осознанное восприятие студентами основных условий и производственных факторов, определяющих их готовность к профессиональной деятельности в электроэнергетике.

При изучении технических учебных дисциплин важным является предметное моделирование, которое основывается на модели, воспроизводящей определенные геометрические, физические, динамические, либо другие характеристики объекта моделирования, иногда в определенном масштабе.

Согласно учебному плану обучающихся по направлению подготовки ФГОС ВО 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (профиль – Электроснабжение) в Оренбургском государственном университете (ОГУ)

предусмотрено изучение более десятка учебных дисциплин, прямо или косвенно связанных с электрооборудованием (электроустановками) систем электроснабжения по отраслям, входящих в состав электроэнергетических систем, которые содержат в себе генерирующие энергетические объекты (электростанции) различного типа (тепловые, гидравлические, атомные, солнечные, ветровые и т.д.), а также накопители энергии.

В [9] предлагается проработать до практической реализации концепцию учебно-практической модели электроэнергетической системы (ЭЭС) на базе отдельных действующих электроустановок ОГУ, с максимальным оснащением их средствами автоматизированных систем контроля и управления, в том числе учета электроэнергии, мониторинга состояния сети и качества электроэнергии, элементов системы телемеханики и связи. При этом, в качестве генерирующих источников используются смонтированные на площадке ботанического сада ОГУ ветрогенераторы (3х5 кВт), солнечные батареи с инвертором (3х5 кВт), внешняя сеть напряжением 0,4 кВ, а в качестве нагрузки - насосы водяных скважин, освещение ботанического сада ОГУ, а также электрооборудование отдельных лабораторий и помещений института энергетики, электроники и связи (ИЭЭС) ОГУ.

Это позволит, в дополнение к имеющемуся лабораторному оборудованию вуза, моделировать для профилирующих учебных дисциплин следующие технологические процессы:

- электроснабжение;
- оптимизация электрических режимов;
- управление электропотреблением и энергосбережение;
- релейная защита и автоматика (РЗиА);
- автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии;
- диспетчерское технологическое управление;
- мониторинг состояния электрической сети;
- анализ показателей качества электроэнергии (ПКЭ);
- прогнозирование электропотребления.

Выводы

1 Сущность внедрения методологии практико-ориентированного обучения состоит в создании в вузе условий реального профессионального обучающего пространства, в котором студенты могут реализовать себя не только в освоении теоретических знаний, но и проявить свои творческие качества в решении технических задач и принятии ответственных решений (при проектировании, монтаже, наладке и эксплуатации оборудования систем электроснабжения), в том числе, в сфере руководства персоналом.

2 Особенностью методологии практико-ориентированного обучения является эффективное формирование у студентов актуальной научно-практической базы знаний и профессиональных навыков с целью

существенного повышения их конкурентоспособности и востребованности в условиях современного рынка труда.

Список литературы

1 Лунева, Ю. Б. Практико-ориентированный подход в профессиональном образовании [Электронный ресурс] / Ю. Б. Лунева, О. И. Ваганова, Ж. В. Смирнова // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования, 2018. - № 6 (32). - С. 122-126. - 5 с.- Библиогр.: с. 124 (23 назв.). Раскрывается сущность практико-ориентированного подхода в профессиональном образовании.

2 Вакулюк, В. М. Подготовка кадров для электроэнергетической отрасли Оренбуржья [Электронный ресурс] / В. М. Вакулюк, С. В. Митрофанов, В. А. Морозов // Высшее образование в России, 2014. - № 7. - С. 122-128. . - 7 с.- Библиогр.: с. 127 (5 назв.). Посвящается проблеме подготовки бакалавров для электроэнергетической отрасли Оренбургской области.

3 Митрофанов, С. В. Рациональный учет производственных интересов и опыта строительно-монтажных организаций в рамках учебного процесса для подготовки к профессиональной деятельности студентов электроэнергетических специальностей [Электронный ресурс] / Митрофанов С.В., Кильметьева О. И., Морозов В. А. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), 4-6 февр. 2015 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбургский гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург, 2015. - . - С. 173-176. - 4 с.

4 Митрофанов, С. В. Подготовка студентов электроэнергетического профиля с учетом практических требований электромонтажных организаций [Электронный ресурс] / Митрофанов С. В., Кильметьева О. И., Морозов В. А. // Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации : сб. материалов Междунар. науч. конф., посвящ. 60-летию Оренбург. гос. ун-та, 15-17 сент. 2015 г. / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования "Оренбург. гос. ун-т"; М-во образования Оренбург. обл.; [гл. ред. С. Н. Летута]. - Электрон. дан. - Оренбург: Университет, 2015. - Ч. 1. - С. 290-295. - 6 с.

5 Митрофанов, С. В. Методические принципы внедрения в учебный процесс практических задач организации производства на примере электромонтажной организации [Электронный ресурс] / Митрофанов С. В., Морозов В. А. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф., 3-5 февр. 2016 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург: ОГУ, 2016. - . - С. 328-332. - 5 с.

6 Морозов, В. А. Применение методологии коучинга в инженерном образовании для развития руководящих и лидерских качеств студентов

[Электронный ресурс] / Морозов В. А., Митрофанов С. В., Кильметьева О. И. // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : труды VIII Всерос. науч.-техн. конф., 25-27 окт. 2016 г., Оренбург / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург: Агентство "Пресса", 2016. - . - С. 81-84. - 4 с.

7 Морозов, В. А. Учебно-промышленная модель автоматизированной системы учета энергоресурсов в профессиональной подготовке студентов электроэнергетического профиля [Электронный ресурс] / В. А. Морозов, С. В. Митрофанов, О. И. Кильметьева // 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. 275-280. - 6 с.

8 Кильметьева, О. И. Методология деловой игры как инструмент совершенствования учебно-практических навыков студентов электроэнергетического профиля [Электронный ресурс] / О. И. Кильметьева, С.В. Митрофанов, В. А. Морозов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), Оренбург, 26-27 янв. 2022 г. / Оренбург. гос. ун-т; ред. А. В. Пыхтин. - Оренбург: ОГУ, 2022. - . - С. 1086-1089. - 4 с.

9 Морозов, В. А. Учебно-практическая модель электроэнергетической системы на базе действующих электроустановок ОГУ [Электронный ресурс] / В. А. Морозов, С. В. Митрофанов, О. И. Кильметьева // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : материалы XIV Всерос. науч.-техн. конф., 17-19 окт. 2023 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, 2023. - . - С. 105-111. -7 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ А710А07

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

В данной статье рассмотрена литьевая машина и ее системы управления. Выдвинуты теории по оптимизации оборудования управления литьевых машин. Выбраны варианты отечественных органов управления.

Литьевая машина предназначена для отливки под высоким давлением деталей из различных плавких материалов. Объектом модернизации является литьевая машина А711А07 предназначенная для литья деталей из цветных металлов.

Данная литьевая машина дает возможность производить формы различной сложности отливки и высокого требования к качеству конечного продукта путем быстрого впрыска жидкого металла в форму под большим давлением. В данной машине во избежание возгорания рабочей жидкости используется Промгидроп П20-М1, которая в свою очередь не горит. Но также предусмотрен вариант заменить Промгидроп, минеральным маслом.

Данные автоматизированные машины могут выполнять такие технологические операции как: заливка металла в форму для прессования с помощью руки- манипулятора предназначенного для заливки металла, запирание формы после заливки для дальнейших преобразований заготовки, трехфазное прессование, раскрытие формы, выталкивание готовой, остывшей после отливки детали с дальнейшим выталкиванием ее в накопитель, очистке и смазке прессформы с помощью специализированного приспособления для смазки прессформ. Литьевая машина представлена на рисунке 1.

У машин моделей А711А07 и А711А08 имеются операции, которые выполняются в полуавтоматическом режиме:

1. Очистка и смазка формы;
2. Смыкание и запирание формы;
3. Заливка металла в камеру прессования с помощью манипулятора для заливки металла;
4. Прессование;
5. Выдержка времени для кристаллизации запрессованного в форму металла;
6. Раскрытие формы;
7. Выталкивание и сброс отливки;
8. Отвод прессплунжера в исходное состояние.

Рисунок 1 – Литьевая машина А711А08

Повторение цикла запускается только при условии, что кнопка «запирания» нажата.

Заливка металла в прессующий стакан производится мерным ковшом из тигельной печи манипулятором для заливки металла. Механизм прессования залитый металл перемещает в форму, а затем допрессовывает с большим усилием, создаваемым мультиплицированным давлением.

Реле автоматики контролирует время кристаллизации металла.

Гидровыталкиватель обеспечивает выталкивание отливки и сброс ее с толкателей.

Устройство для смазки прессформы обеспечивает очистку прессформы и нанесение тонкого слоя смазки стационарного установленными форсунками.

Безопасность работы на машине обеспечивается наличием ряда блокировок, предотвращающих неправильное включение механизмов, автоматически закрывающейся дверью и защитными кожухами.

Кнопочное управление машиной, а также наличие полуавтоматического режима с автоматизацией операций заливки металла, сброс отливки и очистки и смазки прессформы в сочетании с рациональным размещением органов управления и основных мест обслуживания сводит к минимуму утомляемость оператора, работающего на машине.

Электрооборудование машины состоит из:

– Разводки по устройству для смазки прессформы;

– Разводки по манипулятору для заливки;
– Электрошкафа с аппаратурой;
– Электрооборудование машины для литья под давлением.

Разводка по устройству для смазки прессформы: для перемешивания смазки применен 3-фазный двигатель переменного тока, на устройстве для смазки прессформы расположены электромагниты (очистка 1 полуформы, очистка 2 полуформы, смазка формы).

Разводка по манипулятору для заливки: в качестве путевого датчика применен бесконтактный конечный выключатель, контроль ковша относительно зеркала металла производится датчиками: верхний датчик (замыкается в положении – ковш в печи), нижний датчик (замыкается в положении – ковш над печью).

На манипуляторе расположены электромагниты: поворот к машине, поворот к печи, ускорение движение манипулятора.

В электрошкафу установлена аппаратура управления, с которой производится включение блока питания, общий останов, перемешивание смазки, управление в наладочном режиме. Электрошкаф изображен на рисунке 2.

Рисунок 2 – Электрошкаф с аппаратурой управления литьевой машиной

Был произведен анализ научно- технической литературы, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ НТЛ

	Системы управления	**Достоинства**	**Недостатки**
1	Ручное управление (Поэтапное переключение режимов работы оператором)	• Возможность вручную контролировать технологический процесс. • Надежность системы за отсутствием сложный устройств управления • Низкая стоимость реализации • Легкость реализации	• Низкая пропускная способность станка за определенное время • Требует постоянного вмешательства человека
2	Автоматизированное управление выполненное на аппаратном уровне (Система, основанная на логических реле, определяет и управляет этапами работы с минимальной помощью человека)	• Относительно низкая стоимость реализации • Надежность системы • Своевременное выполнение этапов литья • Присутствие обратной связи • Повышенная скорость работы станка	• Недостаточная гибкость управления • Требует присутствия человека
3	Автоматическое управление с помощью логического контроллера (Система самостоятельно определяет и управляет этапами работы без посторонней помощи)	• Быстрая реакция системы на аварийные ситуации. • Своевременное выполнение этапов литья • Не требует присутствие человека • Присутствие обратной связи • Высокая скорость работы станка	• Высокая стоимость реализации • Требует определенных знаний в программировании

Произведен анализ научно-технической литературы и руководства по эксплуатации литьевых машин. Изучен вопрос и определена цель и объект оптимизации затрат на модернизацию литьевой машины. Исходя из состояния натурной модели можно сделать вывод что система управления литьевой

машиной является устаревшей и проигрывающей по всем параметрам новым видам систем управления электромеханическими комплексами. Из параметров определенных в ходе анализа НТЛ выбраны две актуальные системы управления.

Список литературы

1. Литьевые машины. Справочное руководство. Йоханнабер Ф. перевод с англ.4-го изд. (Injection Molding Machines) под ред. Калинчева Э.Л.

2. Руководство по эксплуатации машин, автоматизированных для литья под давлением. Тираспольский завод литейных машин им. С.М. Кирова.

3. Технология литейного производства: Формовочные и стержневые смеси. Жуковский С.С. Издат. Брянск, БГТУ. 2002 г.

4. Оборудование литейных цехов. Зайгеров. И.Б. Издат. Минск, Выш. Школа. 1980 г.

5. Сафронов В.Я. (1985) Справочник по литейному оборудованию. Сафронов В.Я. издат. Машиностроение. 1985 г.

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Клешнев С.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В современной технике двигатели постоянного тока последовательного возбуждения занимают важное место благодаря своим выдающимся характеристикам. Они широко применяются в различных областях - от тягового оборудования до подъемно-транспортных механизмов. Основная их особенность заключается в возможности обеспечения высокого пускового момента и простоты управления.

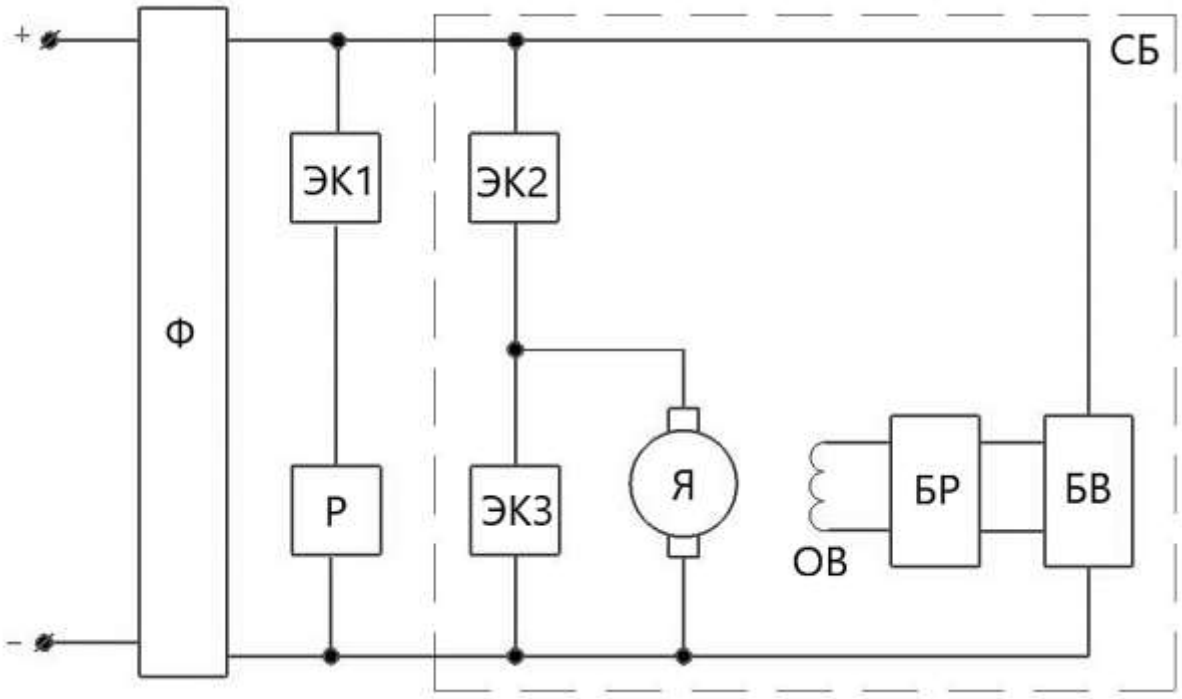


Рисунок 1 – Структурная схема устройства управления двигателем постоянного тока последовательного возбуждения

Устройство управления (рисунок 1) включает в себя якорь и обмотку возбуждения двигателя. Особенностью является использование реостата и электронных ключей, которые соединены параллельно и последовательно в различных конфигурациях, обеспечивая тем самым гибкость и точность в управлении двигателем.

Ключевым элементом системы является фильтр, входы которого подключены к линии питания. Это позволяет эффективно сглаживать

пульсации тока и повышать качество работы двигателя. В свою очередь, выходы фильтра соединены с реостатом и первым электронным ключом, а также с выводами силового блока, что способствует дополнительной стабилизации работы устройства.

Силовой блок, являющийся сердцем системы, включает в себя электронные ключи, блок возбуждения, блок реверса, якорь и обмотку возбуждения двигателя. Благодаря такой конструкции, система способна обеспечивать не только плавное управление скоростью вращения якоря, но и изменение направления его вращения, что критически важно для многих применений.

Входы блока возбуждения интегрированы с выводами силового блока, обеспечивая тем самым надежность и эффективность возбуждения двигателя. Это, в свою очередь, позволяет точно контролировать работу двигателя в зависимости от требуемых условий эксплуатации.

Для реверсирования направления вращения якоря в системе предусмотрен специальный блок реверса (рисунок 2). Он содержит дополнительные электронные ключи, которые работают в параллельно-последовательном соединении, обеспечивая быстрое и надежное изменение направления вращения.

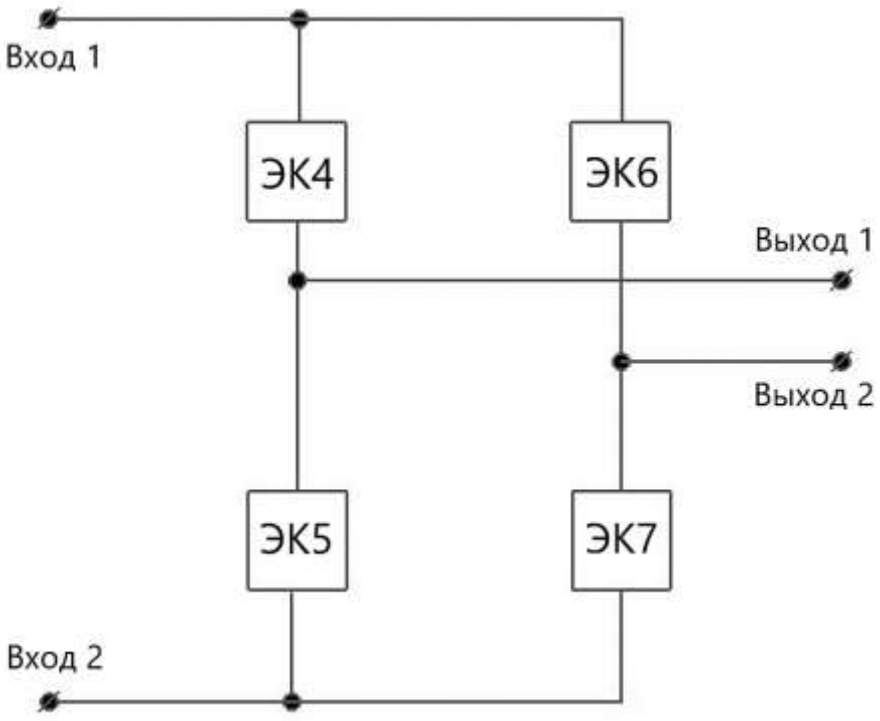


Рисунок 2 – Структурная схема блока реверса

Важной особенностью модели является возможность масштабирования системы управления для работы с несколькими двигателями. Для этого достаточно использовать несколько силовых блоков, соединенных

параллельно, что позволяет управлять N количеством двигателей, что делает систему идеально подходящей для комплексных промышленных приложений.

Использование полевых транзисторов с низким сопротивлением канала (например, MOSFET или IGBT) в силовой электронике является одним из современных решений для управления электрическими машинами, включая реверсирование направления вращения двигателя. Эти компоненты имеют множество преимуществ перед традиционными биполярными транзисторами и тиристорами, включая более высокую эффективность и меньшее тепловыделение при работе.

В контексте блока реверса, который используется для изменения направления вращения электродвигателя, эти характеристики способствуют повышению надежности и эффективности устройства. Снижение количества силовых элементов в конструкции также ведет к уменьшению сложности схемы, снижению стоимости и уменьшению вероятности отказа. Кроме того, уменьшение тепловыделения позволяет избежать перегрева, что положительно сказывается на сроке службы компонентов.

В режиме торможения (рекуперативное торможение) использование эффективных электронных ключей позволяет контролировать возврат энергии в источник питания или аккумулятор, минимизируя при этом избыточное возбуждение двигателя, что может привести к его повреждению.

Описанная система управления двигателем постоянного тока последовательного возбуждения представляет собой типичную схему регулирования тока двигателя с использованием силовой электроники. Эта система позволяет управлять скоростью и крутящим моментом двигателя путем изменения ширины импульсов (ШИМ - широтно-импульсная модуляция) подаваемых на электронные ключи, что в свою очередь регулирует ток через якорь двигателя.

В режиме тяги (ускорение или поддержание скорости) ЭК2 (второй электронный ключ) периодически замыкается, позволяя току течь от источника питания через фильтр и якорь двигателя. В этот момент ЭК3 может быть использован для обеспечения пути для тока при выключении ЭК2, за счет обратного диода или самого ключа, если он включен. Это позволяет использовать энергию, накопленную в магнитном поле двигателя (индуктивность якоря), для поддержания тока при выключенном ЭК2.

В режиме торможения двигатель функционирует как генератор, преобразуя кинетическую энергию в электрическую. Ток от якоря двигателя в этом режиме может быть направлен обратно в питающую сеть или в емкость фильтра для рекуперации энергии. Если энергия не может быть принята сетью, ЭК1 замыкается и излишек энергии рассеивается на реостате.

Блок возбуждения обеспечивает необходимый ток возбуждения для создания магнитного поля в двигателе независимо от режима работы (тяга или торможение). Блок реверса позволяет менять направление вращения двигателя путем изменения полярности напряжения на его клеммах.

Итак, мы рассмотрели структурную схему и принцип работы системы управления двигателем постоянного тока с последовательным возбуждением. Эти знания помогут в понимании основных принципов функционирования и управления такими двигателями, что важно для их применения в различных областях техники. Представленная модель устройства является мощным инструментом, который способен значительно повысить эффективность и надежность работы тяговых и подъемно-транспортных механизмов. Ее гибкость, точность и возможность масштабирования делают ее незаменимым элементом в современной промышленности.

Список литературы

1. Гельман, М.В. Вентильные преобразователи постоянного и переменного тока: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 228 с.

2. Исследование системы автоматического управления электроприводом постоянного тока: учебное пособие / Э.Л. Греков, В.Б. Фатеев; Оренбургский гос. ун-т. − Оренбург : ОГУ, 2011. – 108 с.

3. Охоткин Г.П., Романова Е.С. Сравнительный анализ силовых схем импульсных преобразователей для электропривода постоянного тока // Вестник Чувашского университета / Чуваш. гос. ун-т. – Чебоксары, 2012. – №3. – С. 133 – 142.

РЕГУЛЯТОРЫ НА БАЗЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Корнев В.А., Сорокин В.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Развитие общества и технологий неразрывно связано с повышением производительности труда. Понимание значимости цифровых технологий, а также необходимости процессов цифровизации, прежде всего, в промышленности, нашло отражение во многих сферах нашей жизни. Так же отмечена необходимость перехода к интеллектуальным производственным технологиями, новым материалам и способам конструирования. Это подчеркивается в свете невозможности традиционных методов и технологий обеспечить достаточный уровень эффективности и конкурентоспособности. При решении таких задач используются методы интеллектуального управления, в частности, аппарат нечеткой логики, который преимущественно реализуется в виде различных типов регуляторов и адаптируется к различным условиям технологического процесса. В частности данный тип регулятора выделяется такими параметрами как:

1) способность обрабатывать нечеткую информацию;
2) возможность автоматической настройки регулятора;
3) гибкость в настройке и управлении.

Данный тип управления различными системами нашёл своё применение во многих сферах, включая системы с электроприводом постоянного тока. Системы с электроприводом постоянного тока используются в медицинском оборудовании, в управлении системами полётов в авиации, управлении роботами, генераторами и турбинами на производствах. Есть ещё множество примеров применения данных систем. Чаще всего, если система не требует высокой точности, применяются статические регуляторы, ПИД-регуляторы и его составляющие, так как они имеют меньшую стоимость и сложность в настройке. Однако в некоторых ситуациях, когда система нуждается в адаптивности, традиционные методы регулирования могут не обеспечить должного качества регулирования. Именно в таких случаях применяются методы нечёткого регулирования, так как из любого типа регулятора можно представить его нечёткий аналог, которые могут адаптироваться к изменениям параметров и входных данных системы. Это позволяет точно описать взаимосвязь между входами и выходами без использования дифференциального и интегрального исчислений, что особенно полезно при сложных процессах управления и большом количестве переменных.

Под нечетким управлением подразумевается способ управления, основанный на «опыте эксперта» о функционировании объекта, при которой сложные отношения между входом и выходом регулируемого процесса представляются с помощью лингвистических переменных, в виде некоторой

совокупности нечетких инструкций правил. Под лингвистической переменной понимается переменная с лингвистическими значениями, выражающими качественные оценки. Нечеткий регулятор состоит из четырёх основных функциональных блоков: фаззификатора, блока правил,блока нечёткого логического вывода, блока дефаззификатора.

Фаззификатор является блоком нечёткого логического вывода,который преобразует точные числовые значения входных переменных в нечеткие множества. Это позволяет учесть неопределенность входных данных, что особенно важно, когда у нас сложная система управления.

Блок правил (блок обработки информации) содержит набор правил, которые определяют связь между входными и выходными переменными системы. Правила состоят из условий и заключений, которые определяют, какие действия должны быть выполнены в зависимости от значений входных переменных.

Блок нечёткого логического вывода, является звеном нечетких операций и моделирует процедуру принятия решения человеком. Базой для проведения операции нечеткого логического вывода является база правил, содержащая нечеткие высказывания в форме «если-то» и функция принадлежности для соответствующих лингвистических терминов. При этом должно существовать хотя бы одно правило для каждой лингвистической выходной переменной,а для любой выходной переменной имеется хотя бы одно правило, в котором этот термин используется в качестве целевой части правила.

Дефаззификатор, целью которого заключается в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, получить обычное (ненечеткое) значение каждой из выходных переменных. Это может быть достигнуто с помощью различных методов. Дефаззификацию также называют приведением к четкости. В настоящее время отсутствует систематическая процедура выбора стратегии дефаззификации. На практике часто используют два наиболее общих метода: метод центра тяжести и метод максимума [2].

Функциональная схема нечеткого управления исполнительным приводом постоянного тока. (системы управления с нечётким регулятором или системы фаззи-управления) приведена на рисунке 1[3].

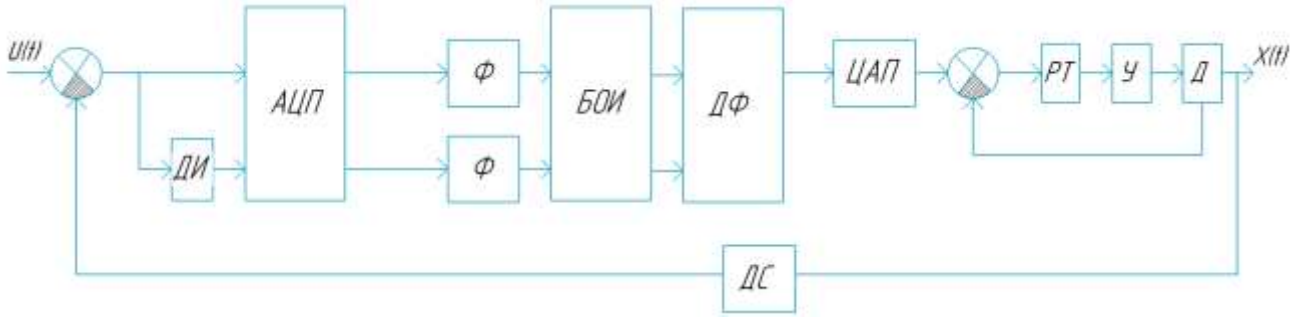


Рисунок 1 – Функциональная схема нечеткого управления исполнительным приводом постоянного тока

На данном рисунке мы можем выделить следующие обозначения функциональных блоков:

1) ДИ – дифференциатор;
2) АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
3) Ф1, Ф2 – фаззификатор;
4) БОИ – блок правил;
5) ДФ – дефаззификатор;
6) ЦАП – цифроаналоговый преобразователь;
7) РТ – регулятор тока;
8) У – усилитель;
9) Д – двигатель;
10) ДС – датчик скорости.

Таким образом, система сравнивает сигнал задания скорости и сигнал фактической скорости с помощью обратной связи, которая поступает с датчика скорости, и определяет ошибку.

Фаззификаторы Ф1, Ф2 преобразуют сигнал ошибки в лингвистические переменные.

Блок правил на основе указанных правил сопоставляет каждую комбинацию входных переменных в одну из семи выходных переменных:

1) отрицательное большое;
2) отрицательное;
3) отрицательное малое;
4) нулевое;
5) положительное малое;
6) положительное;
7) положительное большое;

Дефаззификатор обрабатывает этот сигнал в код, который далее преобразуется с помощью цифро-аналогового преобразователя в аналоговый сигнал задания тока (момента) двигателя постоянного тока.

Регулятор тока обеспечивает настройку контура тока на модульный оптимум. Усилитель регулирует напряжение на обмотке якоря двигателя, обеспечивая соответствие фактической скорости сигналу задания скорости.

Описанный выше алгоритм управления является примером применения нечеткой логики для управления двигателем постоянного тока. Нечеткая логика позволяет описывать нелинейные системы с помощью лингвистических переменных, что делает возможным использование более простых и дешевых микропроцессоров для реализации систем управления [4].

Преимущества использования нечеткой логики в системах управления включают:

1) Способность описывать сложные нелинейные системы с помощью лингвистических переменных, что делает возможным более простое и интуитивное описание законов управления;
2) Устойчивость к шумам и неопределенностям входных данных, что повышает надежность системы управления;

3) Возможность автоматической настройки параметров системы управления на основе опыта экспертов или данных обучения, что упрощает процесс настройки системы;
4) Возможность реализации систем управления с помощью более дешевых и простых микропроцессоров, что снижает затраты на разработку и производство систем управления.

Недостатки использования нечеткой логики в системах управления включают:

1) Сложность анализа и отладки систем управления на основе нечеткой логики, особенно при использовании большого количества правил;
2) Необходимость определения лингвистических переменных и правил управления экспертами, что может быть затруднительным в некоторых областях применения;
3) Необходимость большего объема вычислений для реализации систем управления на основе нечеткой логики, что может быть проблематичным при ограниченных ресурсах вычислительной техники.

Список литературы

1. Ang, K.H. PID control system analysis, design, and technology / K.H. Ang, G. Chong, Y. Li // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2005.

2. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат. – М. : 2013. – 224 с.

3. Гостев, В.И. Нечёткие регуляторы в системах автоматического управления / В.И. Гостев. – Киев, 2008. – 972 с.

4. Особенности применения нечетких регуляторов на примере управления скоростью вращения электродвигателя постоянного тока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://openbooks.itmo.ru/read_ntv/15904/15904.pdf. – дата обращения: 24.12.2023.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ БЫТОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С НАКОПИТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Корнеев И.П.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В соответствии с планом мероприятий («дорожной картой») «Энерджинет» Национальной технологической инициативы, принятым по итогам заседания президиума Совета при Президенте России по модернизации экономики и инновационному развитию России от 28 сентября 2016г. [1], интеллектуализация энергетики рассматривается как один из основных инструментов реализации Энергетической стратегии РФ.

Приоритетной задачей этой «дорожной карты» является разработка комплексных решений для микросетей, т.е. автономных электрических сетей, объединяющих несколько пользователей и источников электрической энергии.

Проблемой совершенствования и функционирования элементов микросетей, занимаются: Р.А. Уфа, В.Ф. Белов, К.В. Добрего, В.З. Манусов, И.И. Надтока и др. В частности, под руководством Р.А. Уфы ведется исследование по оптимизации генерирующих мощностей в микросети, В.Ф. Белов занимался оптимизацией работы микросети при наличии нескольких источников электроэнергии. Значительное количество работ В.З. Манусова, И.И. Надтоки посвящено определению расчетных электрических нагрузок в т.ч. бытовых потребителей . В работах К.В. Добрего выполнено ранжирование бытовых электроприемников по типовым критериям и составлена вероятностная модель электропотребления бытовыми потребителями.

Однако, в перечисленных исследованиях недостаточно уделяется внимания режиму работы бытовых электроприемников от накопителя электроэнергии. Таким образом, анализ литературы показывает высокий интерес ведущих ученых СНГ к вопросу совершенствования микросетей с различными источниками электроэнергии в целом, а проблема оптимизации электропотребления бытовыми электроприемниками является актуальной и требует дальнейшей разработки.

Вопрос построения и использования систем электроснабжения с использованием накопителей электроэнергии, посвящено большое количество работ, что подтверждает актуальность данной темы[2]. Использование стационарных накопителей электроэнергии предполагает решение различных задач:

- резервирование электроприёмников первой категории
- выравнивание графиков электрических нагрузок

- повышение качества электроэнергии
- регулирование напряжения

Отсутствие элкетроснабжения частных домов может достигать 24 часов и дольше, что может оказать отрицательное влияние как на электроприёмники, так и на качество жизни человека. Появляется необходимость в использовании накопителей электроэнергии.

Наиболее известными накопителями электроэнергии являются:

- аккумуляторная батарея
- суперконденсаторы
- маховиковые накопители электроэнергии
- сверхпроводниковые индуктивные накопители

Из анализа достоинств, недостатков и особенностей работы НЭ, можно сделать вывод о том, что необходимо определить оптимальную область применения для каждого из них и выявить их соответствие решаемым задачам.

Маховиковые накопители

Достоинства:

- Высокой эффективность;
- Экологичность;
- Большой жизненный цикл.

Недостатки:

- Высокая стоимость;
- Узкая специализация;
- Сложная система, требующая квалифицированный персонал.

Являются оптимальным вариантом для применения в совокупности с возобновляемыми источниками энергии, такими как ветрогенераторы и солнечные батареи, повышая надёжность их работы.

Суперконденсаторы

Достоинства:

- Высокий КПД;
- Высокая скорость разряда и разряда.

Недостатки:

- Высокая стоимость;
- Узкая специализация;
- Повышенные напряжения опасные для жизни граждан.

Суперконденсаторы целесообразно применять для ликвидации провалов и выбросов напряжения, а также поддержания частоты в энергосистемах, в том числе при коротких замыканиях.

СПИНЭ (сверхпроводниковые индуктивные накопители эенргии)

Достоинства:

- Высокий КПД;
- Малые потери при преобразовании из одного вида энергии в другой;
- Быстрая реакция и высокая выходная мощность.

Недостатки:

- Высокая стоимость;

- Сложная конструкция;
- Необходимость обслуживание квалифицированным персоналом;
- Узкая специализация.

СПИНЭ оптимально использовать для управления графиков потребления, в том числе в сетях с резкопеременными нагрузками, и графиком выдачи мощности, повышая экономичность функционирования энергосистемы, а также для обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей.

Аккумуляторные батареи

Достоинства:

- Быстрый ввод в работу;
- Высокая надёжность;
- Низкая стоимость.

Недостатки:

- Отсутствует возможность управлять разрядом батариеи;
- Низкий КПД;
- Высокая чувствительность к низким температурам;
- Взрывоопасность;
- Неэкологичность.

Аккумуляторные батареи целесообразно применять для обеспечения бесперебойного питания потребителей I категории и их особой группы, для повышения надежности электроснабжения [3-6].

Наиболее рациональным вариантом в качестве резервного питания индивидуального дома будет использование аккумуляторной батареи. Ввиду её низкой стоимости, простоты конструкции и широкой доступности относительно других накопителей электроэнергии.

Основной задачей при использовании аккумуляторных батарей стоит в увеличении продолжительности разряда. Решением может стать увеличение ёмкости батареи в 2 раза [7-9].

Увеличенная ёмкость батареи

Достоинства:

- Снижение скорости разряда.

Недостатки:

- Увеличение конструкции;
- Удорожание конструкции.

Поэтапное отключение нагрузки

Достоинства:

- Стоимость системы остаётся доступной;
- Габариты конструкции не увеличиваются;
- Доступность;
- Снижение скорости разряда.

Недостатки:

- Мало изученный метод;
- Недостаточно практический исследований.

Проводить оптимизацию нагрузки предлагается с использованием аккумуляторной батареи в системе с контроллером заряда АБ, инвертором или несколькими инверторами. Каждый инвертор будет отвечать за питаемую им нагрузку, что позволит распределить все электроприёмники индивидуального дома на группы. Это даст возможность сохранить питание электроприемников 1 группы до глубокого разряда и полному отключению системы [10-13].

В дальнейшем планируется разработка компьютерной модели по оптимизации электропотребления бытовых электроприёмников в системе электроснабжения с накопителями электроэнергии и ее практической реализации.

Результаты проведённого сравнительного анализа способов эффективного применения систем резервного питания индивидуального жилого дома представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнительного анализа способов эффективного применения систем резервного питания индивидуального жилого дома.

Способы эффективного применения систем резервного питания индивидуального жилого дома	Достоинства	Недостатки	Литература
Последовательное отключение нагрузки	1.Увеличенное время разряда. 2.Габариты конструкции не увеличиваются. 3.Совместимость с возобновляемыми источниками энергии . 4.Плавный разряд аккумулятора. 5.Доступная цена.	1.Мало изученный способ	Шлейников В.Б Уфа Р.А.
Увеличение ёмкости аккумулятора	1.Увеличенное время разряда. 2.Совместимость с возобновляемыми источниками электроэнергии.	1.Повышенная стоимость системы. 2. Низкий КПД.	Грызункин С.С. Прокопчук И.С.

Использование других накопителей электроэнегргии (суперконденсаторы, маховики, сверхпроводниковые индуктивные накопители)	1.Высокий КПД. 2.Экологичность. 3.Высокая плотность емкости.	1.Высокая стоимость. 2.Узкое специализирование.	Астахов Ю.Н. Ефремов Д.Г. Бахтеев К.Р.

В настоящее время научно-технической литературы по оптимизация электропотребления бытовых электроприемников в системе электроснабжения с накопителями электроэнергии – недостаточны и мало изучены в данном направлении.

Подводя итого можно сказать, что тема исследования “Оптимизация электропотребления бытовых электроприемников в системе электроснабжения с накопителями электроэнергии.” является актуальной.

Список литературы

1. Программа инфраструктурного центра по развитию отдельного направления Национальной технологической инициативы (в редакции № 6 с учетом запросов на изменение программы Инфраструктурного центра по развитию направления Национальной технологической инициативы «Энерджинет»)

2. Накопители энергии в электрических системах: Учеб. пособие для электроэнергетических специальностей вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер -Газарян. – М.: Высшая школа, 1989

3 .Бахтеев К.Р. Повышение эффективности функционирования систем централизованного и автономного электроснабжения путем комплексного применения электрохимических накопителей энергии, малой генерации и форсировки возбуждения синхронных машин : дис. канд. техн. Наук : защищена 2019 / Бахтеев Камиль Равилевич. – Казань, 2019. – 190 с.

4. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. - М. : Стандартинформ, 2014 – 16с.

5. Ерцкина Д. А. К вопросу об интеллектуальных электрических сетях / Ерцкина Д. А., Суслов Д. Н. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2017. - № 3. – с. 36-38.

6. Ефремов Д.Г. Исследование возможности и разработка способов применения накопителей энергии различного типа для противоаварийного управления при больших возмущениях в энергосистеме : дис. канд. техн. Наук : защищена 2018 / Ефремов Дмитрий Геннадьевич. – М., 2018. – 146 с.

7. Повышение производительности и безопасности литий-ионных аккумуляторов: характеристика материалов и интерфейсов // EAG LABORATORIES. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.eag.com/ru/resources/whitepapers/improvingperformance-safety-lithium-ion-batteries-characterizing-materials-interfaces/ (дата обращения: 12.12.2019).

8. Деградация литий-ионного аккумулятора и как продлить срок его службы // ROOT NATION. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://root-nation.com/featured/li-ionbattery-life/ (дата обращения: 12.12.2019).

9. Li-Ion аккумуляторы - правда и мифы. // IGUIDES. [Электронный ресурс].Режим доступа: https://www.iguides.ru/blogs/All_About_Computers/liion-batteries-the-truth-and-themyths/ (дата обращения: 13.12.2019).

10. Чупин Д. П. Параметрический метод контроля эксплуатационных характеристик аккумуляторных батарей: дис. … канд. тех. наук: 05.11.13. – М., 2014. – 198 с.

11. Черных И. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 288 с

12. Моделирование режимов работы накопителя электроэнергии на шинах поста секционирования в условиях пропуска тяжеловесных поездов Незевак В.Л. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2018 № 3 (59). С. 47 - 57

13. Добрего, К. В. Модель электрической нагрузки жилищно - коммунального объекта для исследования систем «генератор – накопитель – потребитель» методом Монте - Карло / К.В. Добрего // Наука и техника. 2017 Т. 16, № 2 С. 160–170. DOI: 10.21122 / 2227 - 1031 -2017 - 16 - 2 - 160 - 170

АВТОНОМНЫЙ ГИБРИДНЫЙ ЭНЕРГОКОМПЛЕКС

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

Программы развития российского Заполярья, Сибири и Дальнего Востока требуют реализации в регионах научных исследований, масштабных программ по хозяйственному и экономическому освоению этих территорий [1]. На данный момент большая доля этих регионов находится в изолированной части энергоснабжения Российской Федерации, что приводит к нехватке электроэнергии и ресурсообеспеченности.

Решением данной проблемы является применение дизельно-генераторных установок (ДГУ), способных обеспечивать энергоснабжение предприятий, муниципалитетов и прочих потребителей электроэнергии. Однако возникает проблема при снабжении таких установок топливом. Поскольку объём топлива значительно велик, а доставка затрудняется неудовлетворительными климатическими и ландшафтными условиями, стоимость предоставляемой электроэнергии (Э/Э) существенно велика, в соотношении с стоимостью Э/Э для потребителей с централизованным электроснабжением. Иногда стоимость доходит до 100 руб./кВт·ч, обычные же тарифы составляют 17–20 руб./кВт·ч [2].

Использование возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ) в виде солнечной электростанции (СЭС) вместе с ДГУ, позволит значительно уменьшить расход его топлива, вследствие чего сократить стоимость Э/Э в данных районах.

Основным источником генерации являются дизельно-генераторные установки. Для снижения расхода дизельного топлива в светлое время суток используется СЭС, при этом солнечная энергия имеет циклический характер – в снегопад, дождливую и облачную погоду, в ночное и вечернее время электроэнергия в необходимом количестве не вырабатывается.

Также стоит учесть использование батарей АКБ в составе системы накопления энергии (СНЭ), которая используется для кратковременного поддержания требуемой мощности в момент нехватки выработки на СЭС, а также для создания его опорного напряжения.

Автоматизированная система управления (АСУ) АГЭК в соответствии с ее конфигурацией в автоматическом (без участия человека) режиме посредством управления различными компонентами АГЭК, включая генерирующее оборудование и СНЭ, обеспечивает согласованную их работу в изолированной энергосистеме и, в соответствии с реализуемыми алгоритмами, обеспечивает максимально возможный уровень использования энергии от СЭС и работу ДЭС с наименьшим удельным расходом топлива.

Как правило выработанная Э/Э АГЭК имеет напряжение 6кВ частотой 50Гц. Данное напряжение поступает в районы потребления, по кабельной воздушной линии. После чего понижается до 0,4 кВ в местных распределительных устройствах (РУ) и передаётся потребителям.

Количество элементов генерирующего оборудования АГЭК может быть различным, оно зависит от значения требуемой мощности на выходе комплекса.

Электрическая энергия от фотоэлектрических модулей (ФЭМ) СЭС постоянного тока преобразуется в электрическую энергию переменного тока в фотовольтаических инверторах (ФИ). ФИ могут работать только в режиме источника тока при наличии напряжения внешней сети. В случае исчезновения сетевого напряжения либо выхода его параметров за установленные пределы они отключаются. При восстановлении параметров напряжения сети ФИ включаются автоматически. Уставки времени на отключение/повторное включение ФИ, а также скорость набора мощности могут задаваться при их настройке.

ДГУ оснащены контроллерами управления параллельной работы. Синхронизация ДГУ с внешней сетью и между собой происходит в автоматическом режиме под управлением контроллеров ДГУ, при этом в качестве опорного напряжения берется либо напряжение внешней сети, формируемое СНЭ в режиме источника напряжения, либо напряжение первого запустившегося ДГУ. На уровне контроллеров ДГУ реализована функция деления мощности ДЭС поровну между подключенными к сети ДГУ (load sharing). Для реализации этой функции используется отдельная шина связи между ДГУ.

ФИ работают в полностью автоматическом режиме. ФИ допускают управление их текущей максимальной мощностью по цифровому интерфейсу от АСУ АГЭК. ФИ размещаются внутри помещения (отдельном блок-контейнере) в виду того, что минимальная рабочая температура ФИ выше зимних температур места размещения. ФИ выдают мощность по уровню напряжения 0,4 кВ либо 0,8 кВ

СНЭ структурно состоит из подсистемы преобразования, в которую входят двунаправленные преобразователи (инверторы) и подсистемы накопления (АКБ), в которую входят литий-ионные аккумуляторы вместе с их управляющей электроникой и прочим вспомогательным оборудованием. Также в СНЭ входят собственная локальная система управления (ЛСУ СНЭ), допускающая, в свою очередь, внешнее управление со стороны АСУ АГЭК. Оборудование СНЭ располагается в отдельной утепленной оболочке, в связи с требованиями к соблюдению температурного режима.

РУ АГЭК состоят из силовых ячеек, защитно-коммутационного оборудования, устройств коммутации, измерительных преобразователей, релейной защиты и автоматики, и оборудования учета электроэнергии, а также из иного вспомогательного оборудования.

Снабжение ДГУ топливным и технологическими жидкостями происходит в установках топливохозяйства и маслохозяйства. Топливохозяйство включается в себя следующие элементы: расходные ёмкости, ёмкости хранения топлива, ёмкости слива топлива (аварийные ёмкости), комплекты обвязки насосным и запорно-регулирующем оборудованием. Маслохозяйство включает в себя: ёмкости хранения масла, ёмкости слива масла, систему удаления тепла, систему охлаждения двигателя, комплекты обвязки насосным и запорно-регулирующем оборудованием.

Структурная схема АГЭК представлена на рисунке 1.

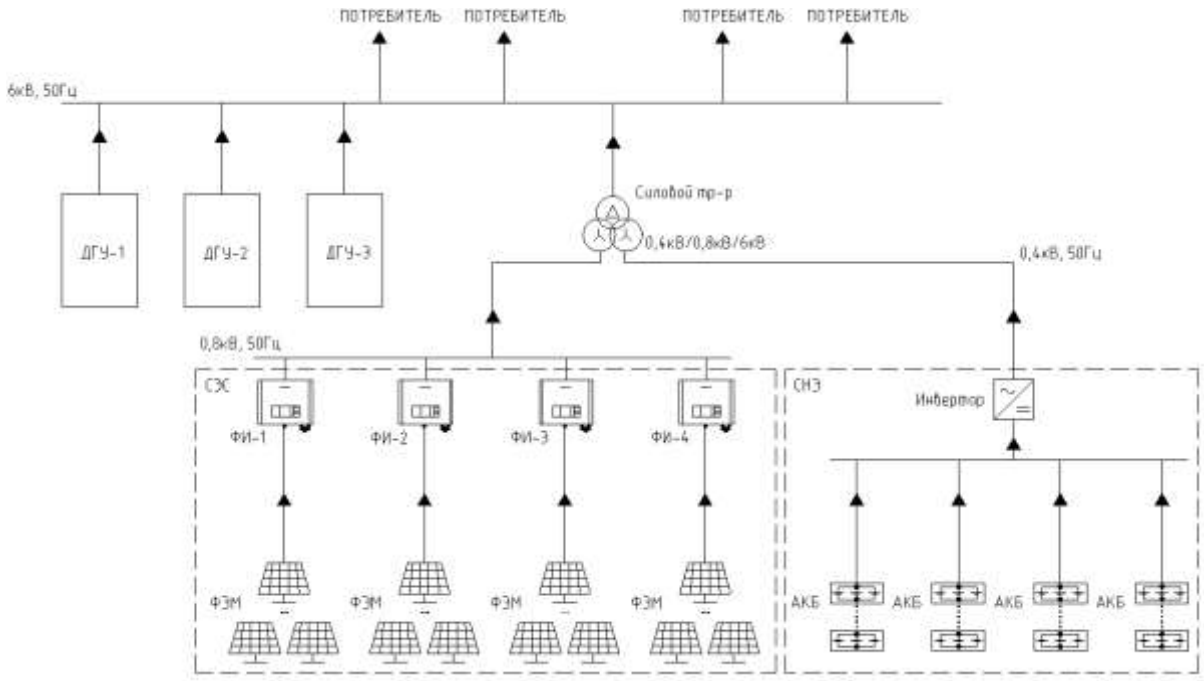


Рисунок 1 – Структурная схема АГЭК

Структурная схема АГЭК содержит ФЭМ которые вырабатывают постоянный ток и передают его на ФИ-1 – ФИ-4, которые в свою очередь преобразуют его в переменный с частотой 50Гц и подают на обмотку низкого напряжения 0,8кВ силового трансформатора.

Также на структурной схеме указана СНЭ, в которой постоянное напряжение АКБ поступает на Инвертор, для преобразования его в переменное с частотой 50Гц, и далее оно передается на обмотку низкого напряжение 0,4кВ силового трансформатора.

Сторона высокого напряжения 6кВ данного трансформатора подключена к шине потребителей, через которую они получают выработанную Э/Э. ДГУ-1 – ДГУ-3 вырабатывают напряжение 6кВ, 50Гц и также подключены к шине потребителей.

Информационный контур АГЭК представляет из себя показания расхода топлива, показания выработанной Э/Э каждого узла системы, показания

ёмкости АБК СНЭ, показания солнечной радиации поступаемой на модули ФЭМ.

Основываясь на данных показаниях АСУ АГЭК выдаёт управляющее воздействие на тот или иной контур в соответствии с заложенным в неё алгоритмом. Как правило алгоритмы заточены на оптимальную выработку Э/Э при минимальных затратах топлива ДГУ.

Список литературы

1. Кузык Б.Н. Альтернативная энергетика в свете проблем инновационной деятельности в России // Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями / под ред. Б.З. Мильнера. М. : Инфра-М, 2009. 624 с.

2. Люкайтис В.Ю., Глушков С.Ю. Автономные энергокомплексы, гибридные конструкции с применением возобновляемых источников энергии // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2019. Т. 2. Вып. 2. С. 111–120. DOI: 10.32464/2618-8716-2019-2-2-111-120

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТИ YOLOV5

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

Концепция системы автоматизированной тепловизионной диагностики оборудования подстанций (САТДОП) строится на идее использования сверточных нейронных сетей. Такие нейросети используют в качестве исходных данных изображения, на которые по завершении процесса детектирования наносятся граничные рамки, очерчивающие пространство на изображении, внутри которого заключен объект.

Анализ нормативной документации по инфракрасной диагностике позволил выдвинуть гипотезу о том, что специалисты по тепловизионной диагностике вынуждены затрачивать значительное время и усилия на подбор параметров и расчет значений температур по формулам с целью классификации дефекта [1].

Рассмотрим алгоритм, который позволяет автоматизировать процесс тепловизионной диагностики путем классификации объекта исследования с помощью сверточных нейронных сетей (рисунок 1).

На первом шаге работы алгоритма происходит распознавание элементов электроустановки на ИК-изображении. На ввод подается исходное изображение (RGB-интерпретация термограммы). По завершении работы нейросеть сохраняет изображение с нанесенными граничными рамками. Помимо размеченного изображения нейросеть YOLOv5 генерирует текстовый файл, содержащий номер класса (ID), координаты центра (X, Y) граничной рамки для каждого распознанного объекта, длину (L) и ширину (W) для каждого «вырезанного» фрагмента изображения (образа распознанного объекта) и вероятность принадлежности распознанного объекта к определенному классу (P).

На втором шаге происходит запись в файл расчета матрицы температур исходного тепловизионного снимка, RGB-интерпретации образа электроустановки или ее частей, а также параметров ID, X, Y, L, W, P.

На следующем шаге параллельно начинают обрабатываться два процесса. Первый – на основании ID электроустановки начинает подбирать значения допустимых температур по критериям. Второй – запускает поиск наибольшего числового значения в субматрице температур, соответствующей расположению исследуемого объекта на изображении. Для локализации субматрицы относительно исходной матрицы температур используются параметры X, Y, L, W.

Параметр P используется для исключения работы алгоритма в условиях низкой вероятности принадлежности объекта к классу.

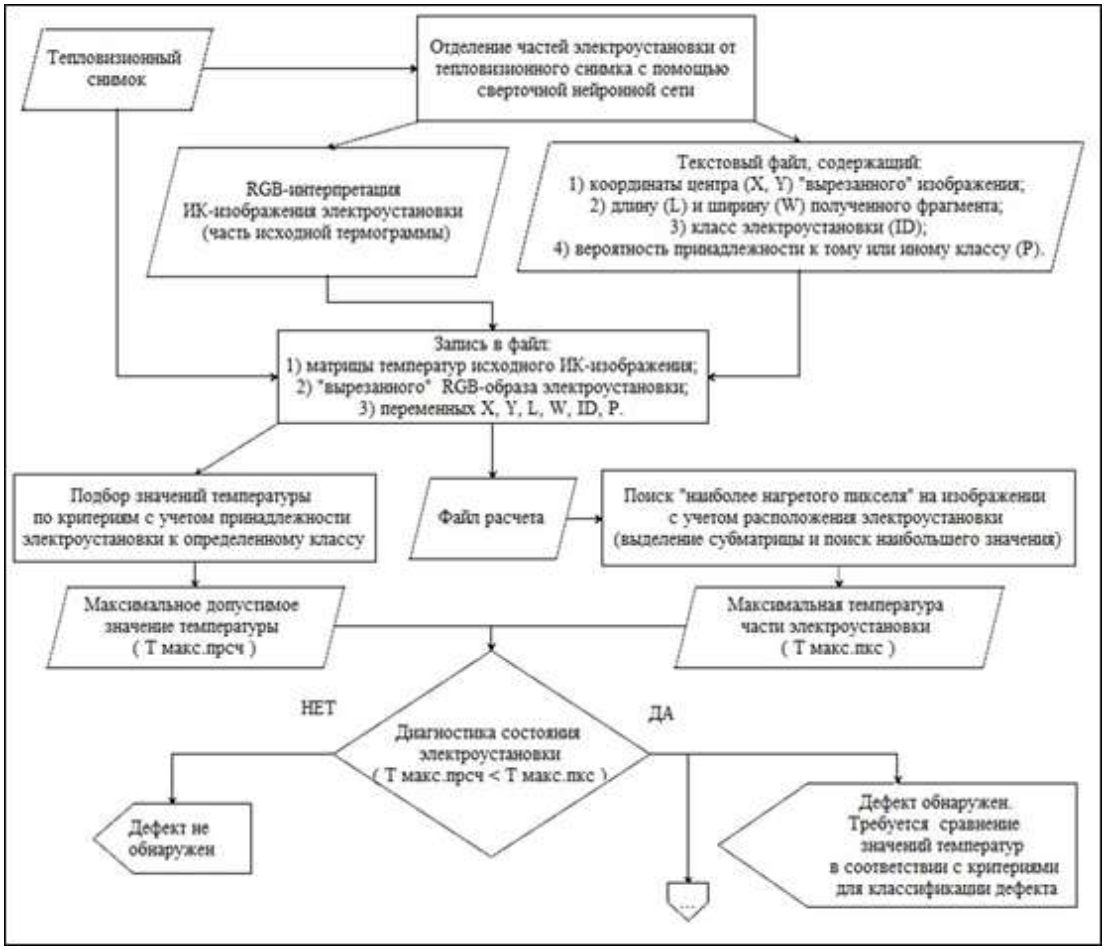


Рисунок 1 – Алгоритм диагностики электроустановки по критерию абсолютной температуры

На вывод первого процесса подается максимальное допустимое значение температуры $T_{\text{макс.прсч.}}$.

Результатом работы второго процесса становится максимальная температура объекта термографирования $T_{\text{макс.пикс}}$, соответствующая наибольшему значению температуры в субматрице, то есть самому «горячему» пикселю.

В блоке решения производится сравнение величин $T_{\text{макс.прсч.}}$ и $T_{\text{макс.пикс}}$. Если $T_{\text{макс.прсч.}}$ больше или равна $T_{\text{макс.пикс}}$, то в блок-дисплей выводится сообщение «дефект не обнаружен». Иначе выводится сообщение «дефект обнаружен». Дальнейшая классификация дефекта в данном алгоритме не приводится.

Символ данных «соединитель» показывает возможность последующей проверки условий для классификации дефекта.

Нейросеть YOLO может быть обучена различными способами. Часть пользователей, имеющих доступ к машинам с большой вычислительной мощностью, способны выполнять процесс обучения нейросети локально. Для остальных существует возможность использовать при обучении нейросетей облачные среды для работы с кодом.

На подготовительном этапе обучения нейросети YOLOv5 производится установка зависимостей из файла «requirements.txt», который включает команды для автоматической установки пакетов python с помощью утилиты pip.

На следующем этапе производится непосредственное обучение модели нейросети YOLOv5. Для этого в ячейку среды программирования вводится команда, показанная на рисунке 2.

```
!python train.py --img 896 --batch 8
--epochs 16 --data
'/content/drive/MyDrive/yolov5_exper
imental/custom_dataset/dataset.yaml'
--weights
'/content/drive/MyDrive/yolov5_exper
imental/custom_dataset/yolov5x.pt' -
-nosave --cache
```

Рисунок 2 – Команда на обучение модели нейросети YOLOv5

Прежде чем запускать код, необходимо разобраться, что означает каждый из параметров в приведенной выше команде.

«--img» – это размер изображения, подаваемого на вход YOLO. Например, для создания набора данных были использованы инфракрасные изображения размером 800x600 пикселей, которые затем были преобразованы алгоритмом к виду n x n, где n – это число, введенное пользователем после ключа «--img». На вход YOLO получила изображения в формате 896x896 пикселей, то есть исходные изображения были немного растянуты по ширине и высоте. Необходимо обратить внимание на то, что параметр n должен быть кратен числу 32 в связи с особенностями архитектуры YOLO [2].

«--batch» – количество изображений, подаваемых на вход YOLO одновременно. Иными словами, параметр «--batch» определяет число картинок, которые обработает нейросеть до обновления модели.

«--epochs» – количество эпох, то есть полных прохождений алгоритма через тренировочный набор данных. Прохождение одной эпохи означает, что каждое обработанное алгоритмом изображение (sample) имело возможность обновить внутренние параметры модели. Эпоха включает в себя один или несколько пакетов (batches). Количество эпох при обучении модели обычно

велико, часто принимают параметр «--epochs» равным сотням или даже тысячам, что позволяет алгоритму минимизировать ошибку модели [3].

«--data» – ключ указывает путь к файлу конфигурации набора данных в формате «*.yaml».

«--weights» – ключ указывает путь к файлу предобученной модели нейросети в формате «*.pt».

«--nosave» – ключ активирует запрет на сохранение изображений и видео.

«--cache» – ввод ключа позволяет увеличить скорость обучения, однако требует значительных ресурсов диска или оперативной памяти [4].

Было произведено 16 эпох обучения модели нейросети. Фрагмент протокола с указанием количества изображений в наборе данных приведен на рисунке 3.

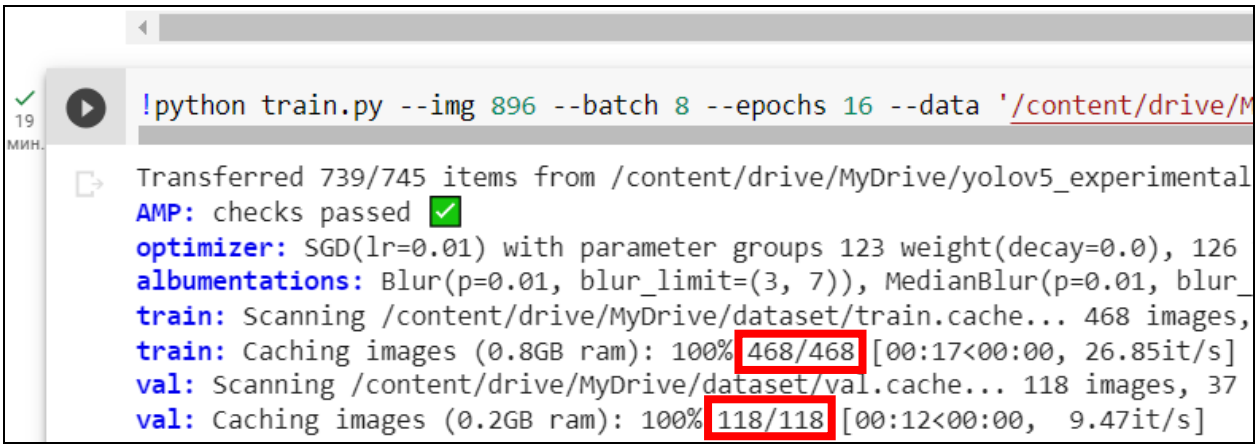


Рисунок 3 – Параметры набора данных с указанием количества изображений

Для лучшего понимания порядка обучения модели нейросети рассмотрим более подробно приведенный выше пример. Было подготовлено 468 изображений (samples) в качестве тренировочной выборки. Также был выбран размер пакета (batch) равный 8, а количество эпох обучения (epochs) было принято
равным 16.

Исходный набор данных был разделен на 59 пакетов, в каждом из которых находилось по 8 изображений (поскольку 468 не делится на 8 нацело, то последний 59-й пакет содержал менее 8 изображений). Веса модели обновлялись после обработки алгоритмом каждой партии из 8 изображений. Одна эпоха включала обработку 59 пакетов или же, иными словами, 59 обновлений модели. После прохождения 16 эпох алгоритм провел модель по набору данных 16 раз. За весь период обучения модель получила 944 обновления.

По завершении процесса обучения пользователю будет доступен файл обученных весов, который может быть применен для детектирования объектов на изображениях.

Ключевой этап работы алгоритма включает детектирование нейросетью YOLOv5 узлов электроустановок на инфракрасных снимках. Когда процесс распознавания термограммы завершается, нейросеть сохраняет изображение с нанесенными ограничивающими рамками (рисунок 4).

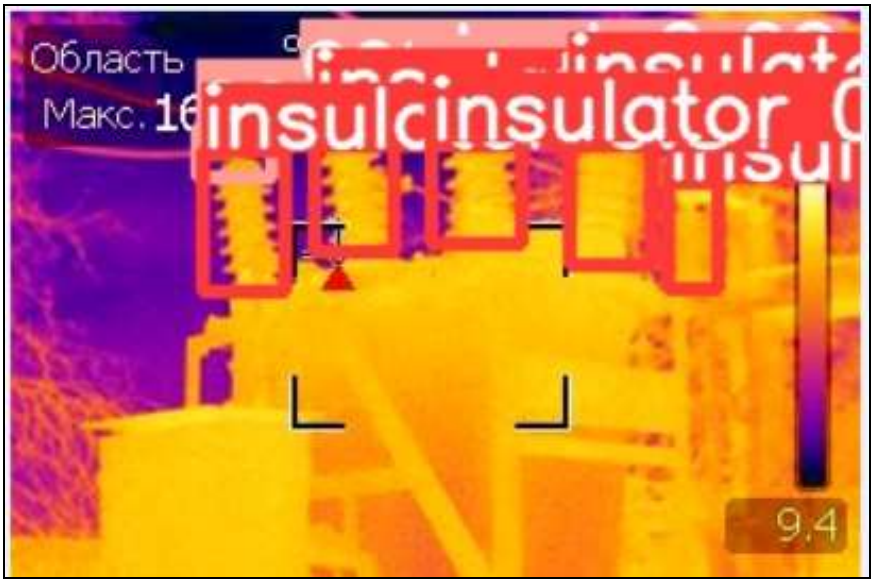


Рисунок 4 – Термограмма после детектирования нейросетью YOLOv5

Помимо изображения с ограничивающими прямоугольниками нейросеть YOLOv5 генерирует текстовый файл для каждого распознанного изображения, содержащий параметры ID, X, Y, L, W (рисунок 5).

Рисунок 5 – Текстовый файл с результатами работы нейросети YOLOv5

В дальнейшем именно информация из текстового файла используется в качестве исходных данных для процессов подбора максимально допустимой температуры и максимальной температуры электроустановки.

Таким образом, в рамках проведенной работы приводится способ обучения нейросети YOLOv5, включающий подробное описание параметров обучающей команды. В дополнение рассматривается пример работы кода, который позволил успешно обучить нейросеть YOLOv5 на предварительно размеченных изображениях и сгенерировать файл весов. Идея использования нейросети YOLOv5 для автоматизации тепловизионной диагностики электроустановок рассматривается на примере блок-схемы алгоритма. Функционал нейросети YOLOv5 может быть использован для программной реализации алгоритма системы автоматизированной тепловизионной диагностики оборудования подстанций.

Список литературы

1. Величко, В.А. Предложения по совершенствованию системы критериев оценки состояния электрооборудования по результатам инфракрасного контроля / В.А. Величко, А.Д. Чернова // V Всероссийская научно-практическая (с международным участием) конференция, посвященная празднованию 55-летия КГЭУ: «Проблемы и перспективы развития электроэнергетики и электротехники»: матер. конф. (Казань, 11–12 октября 2023 г.): в 2 т. / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2023. – Т. 2. – 358 с. ISBN 978-5-89873-643-9 – С. 219-228.

2. Jocher, G. GitHub for enterprises. Ultralytics. Yolov5: Issues / G. Jocher. – Режим доступа: https://github.com/ultralytics/yolov5/issues/2842 – дата обращения: 11.01.2024.

3. Brownlee, J. Difference Between a Batch and an Epoch in a Neural Network / J. Brownlee. – Режим доступа: https://machinelearningmastery.com/difference-between-a-batch-and-an-epoch – дата обращения: 11.01.2024.

4. Ultralytics: Train Custom Data – Режим доступа: https://docs.ultralytics.com/yolov5/tutorials/train_custom_data/ – дата обращения: 11.01.2024.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ

Ларькина А.А., Богданов А.В.
Кумертауский филиал ОГУ

Россия является одним из лидеров мировой энергетики и крупнейшим участником международных энергетических рынков. В экономике России топливно-энергетический комплекс (ТЭК) и экспорт его продуктов занимают уникальное положение, и их динамика прямо влияет на устойчивость национальной экономики. Поэтому адекватное видение развития данного сектора в долгосрочной перспективе имеет большое значение при прогнозировании и планировании развития экономики страны.

Ситуация в ней в последние годы претерпела серьезные изменения. Глобальный кризис сопровождался резкими скачками цен на углеводороды, произошли заметное замедление роста спроса и обострение конкуренции на традиционных энергетических рынках; а главное – новые технологии уже перекраивают международную торговлю топливом в неблагоприятном для России направлении. [3]

В связи с растущей электрификацией человеческой деятельности заметно увеличивается доля первичной энергии, используемой для производства электроэнергии, – 47% к 2040 г. по сравнению с 36% в 2010 г.

Общая установленная мощность электростанций России на начало 2023 года составляет 247 601,8 МВт, что на 0,41% выше значений начала 2022 года (246 590,9 МВт). В 2022 году было введено в эксплуатацию 1 610,7 МВт новых генерирующих мощностей, а выведено – 972,2 МВт. В итоге изменение с учетом перемаркировок действующего оборудования (372,4 МВт) составило +1 010,9 МВт.

За последние 5 лет с 2018 г. по 2023 г. установленная мощность увеличилась на 1,79% с 243 243,2 МВт. [4]

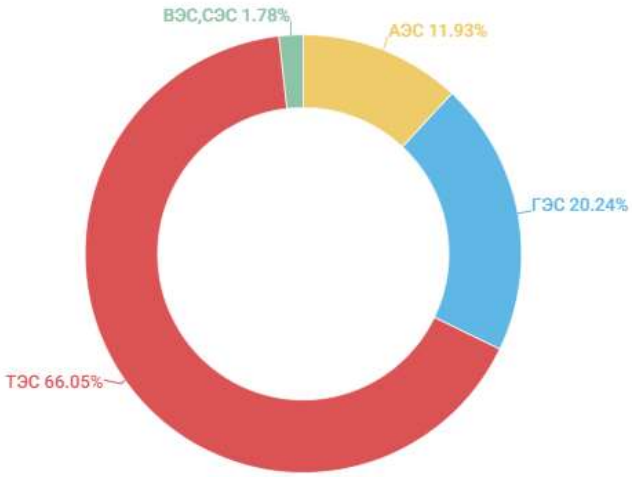


Рисунок 1 Структура установленной мощности ЕЭС России на 01.01.2023 г.

В 2022 году общая выработка электроэнергии на электростанциях в

России составила 1 121,6 млрд кВт·ч, что на 0,63% выше показателя 2021 года (1 114,55 млрд кВт·ч).

За последние 5 лет с 2018 г. по 2023 г. выработка электроэнергии увеличилась на 4,73% с 1 070,9 млрд кВт·ч.

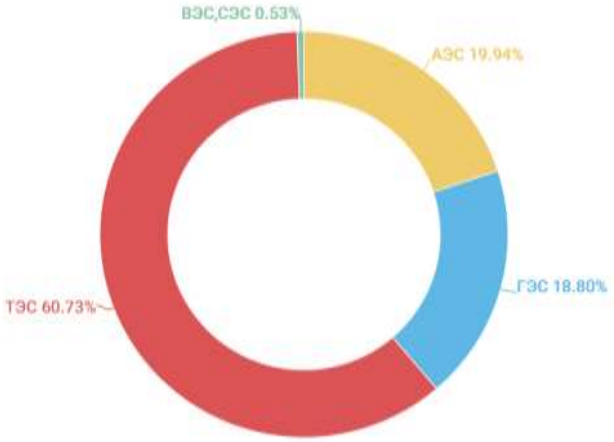


Рисунок 2 Структура выработки электроэнергии по типам электростанций

Потребление электроэнергии составило 1 106,3 млрд кВт·ч, что на 1,45% выше значений прошлого года (1 090,44 млрд кВт·ч).

За последние 5 лет потребление электроэнергии выросло на 4,8%, с 1 055,6 млрд кВт·ч.

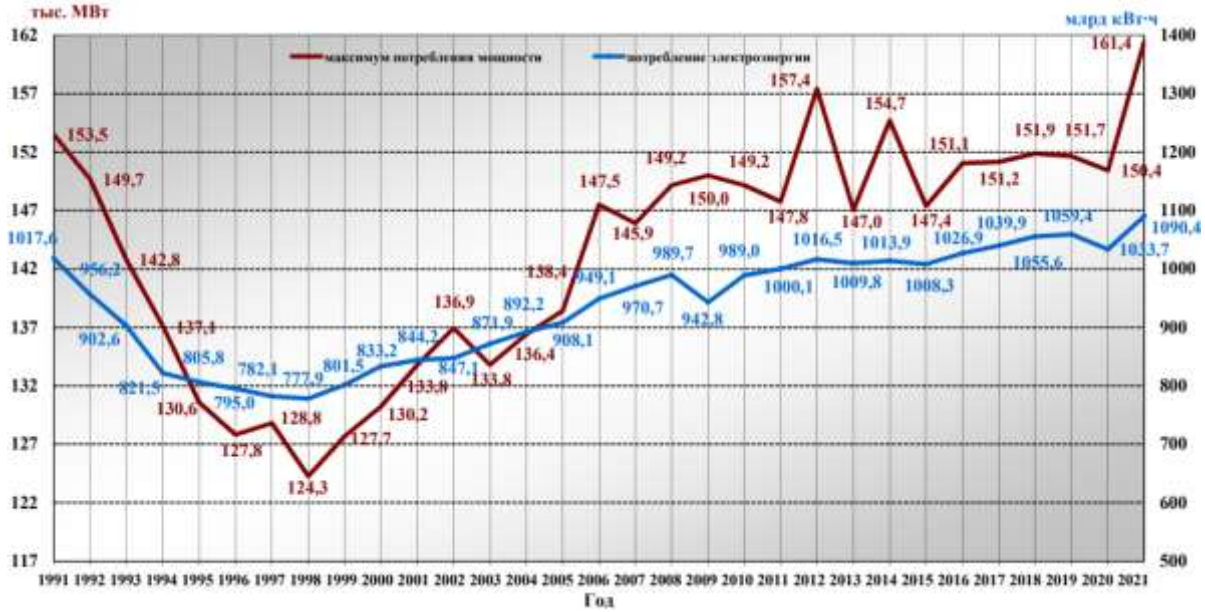


Рисунок 3 Динамика потребления электроэнергии и мощности по ЕЭС России

Прогноз потребления электроэнергии строится исходя из текущего состояния российской ЕЭС, сложившейся структуры потребления электроэнергии и планов крупных потребителей по изменению своих объемов, а также учитывает инвестиционные проекты по созданию новых и

модернизации действующего генерирующего оборудования. [3]

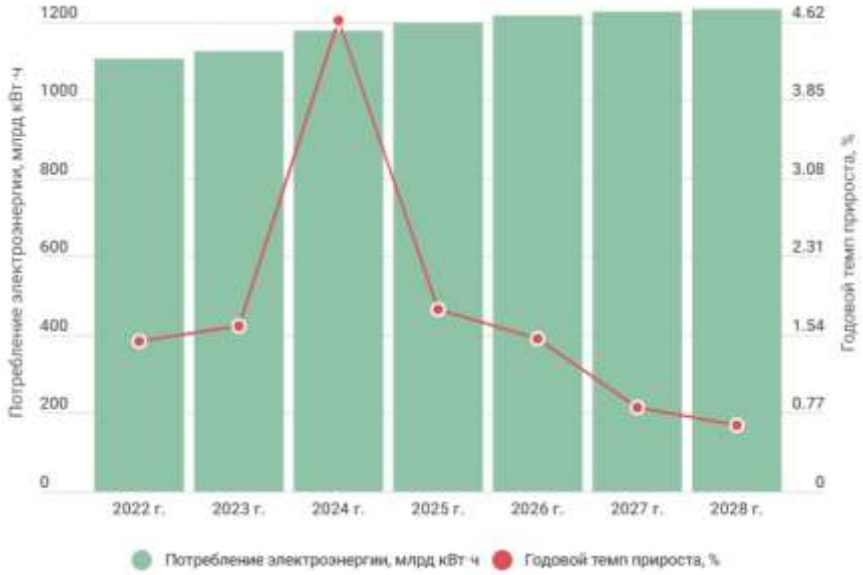


Рисунок 3 Прогноз динамики потребления электроэнергии по ЕЭС России на 2023-2028 гг.

В Сочи на IX общеотраслевой конференции «Приоритеты рыночной электроэнергетики в России: Планировать или реагировать?» председатель правления Системного оператора Фёдор Опадчий представил ключевые направления сбалансированного развития ЕЭС России в соответствии с социально-экономическими потребностями. [2]

Согласно информации от Системного оператора, прогнозируется, что в следующие шесть лет в России произойдет увеличение потребления электроэнергии на 2% ежегодно, а мощности на 2,1%. Особенно значительный рост ожидается в 2024 году, когда потребление достигнет пика в 2,71%. К 2028 году ожидается увеличение потребления электроэнергии на 11,48%, достигнув отметки в 1 233 млрд кВт·ч, с годовым ростом в среднем 1,83%.

С 10 по 13 октября 2023 года в Москве состоялась Российская энергетическая неделя (РЭН-2023), где был организован форум. Возрастает энергопотребление, что является положительным показателем для российской экономики и социальной сферы, по словам Владимира Путина. Количество потребителей, новые производства и объекты инфраструктуры, рабочие места все растут, а значит, растет и спрос на электроэнергию.

В условиях роста энергопотребления, особое значение приобретает надежность обеспечения энергией, по словам Президента: «Необходимо обеспечить бесперебойную и стабильную работу электрических сетей и линий передачи, а также предусмотреть резерв для развития территорий. Кроме того, мы сосредоточимся на повышении энергоэффективности в промышленности, коммунальной сфере и транспорте».

Проблемы, связанные с электроэнергетикой в России, имеют системный и комплексный характер. Среди них можно выделить следующие: постоянный рост износа основного оборудования электрических сетей и станций, как

морального, так и физического. недостаточная эффективность и загрузка; снижение устойчивости, качества и экономичности энергоснабжения; увеличение стоимости и проблем с оплатой; постоянное недофинансирование научных отраслей, проектных организаций и высшего технического образования.

Одна из основных сложностей заключается в неуклонном ухудшении состояния ключевого оборудования электрических сетей и станций. Особенно проблематична ситуация с распределительными электрическими сетями, которые уже превысили установленный нормативный срок эксплуатации. Примерно 50%. 7% электрических сетей выработало 2 нормативных срока. Общий износ распределительных сетей достиг в промышленно развитых странах износ электросетевых активов составляет всего 4%, в то время как 70% магистральных сетей нуждаются в обновлении. Также требуется замена стареющего станционного оборудования. [1]

Комплекса Российской Федерации на период до 2025 года и принятой Правительством Российской Федерации Программой развития энергетики на период до 2024 года. Эти документы задают основные направления и приоритеты развития энергетической отрасли страны. Одним из главных способов модернизации и развития отрасли является реализация утвержденных энергетической стратегией мероприятий. В рамках этих мероприятий предусмотрено развитие электросетевого комплекса, включая создание новых электростанций, модернизацию существующих сетей и повышение энергоэффективности. Кроме того, стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации на период до 2025 года направлена на укрепление энергетической безопасности страны и обеспечение надежности электроснабжения. В рамках этой стратегии предусмотрены меры по развитию сетей передачи и распределения электроэнергии, а также совершенствование системы управления и контроля электросетей. Программа развития энергетики на период до 2024 года также играет важное участие в комплексе до 2030 года будет регулироваться федеральными законами и подзаконными актами. Анализ реализации программ по развитию электроэнергетики, созданных в соответствии с этими Стратегиями, показывает, что из-за недостоверной информации о будущем развитии регионов, систематического завышения заявок от потребителей на присоединение мощностей и других факторов, программы развития содержат излишние генерирующие и электросетевые мощности, которые остаются невостребованными после их ввода в эксплуатацию. Особенно это заметно в том, суммарный запас мощности электрических сетей объёмом 65 Система генерации и передачи электроэнергии находится в неактивном состоянии, что приводит к увеличению затрат компаний на производство и передачу электроэнергии. В результате, появляются новые неэффективно используемые мощности, а старые мощности не выводятся из эксплуатации. Это приводит к избыточным расходам на обслуживание и создает риски выхода из строя

оборудования. Ситуацию усугубляет отсутствие мотивации у участников рынка электроэнергии для повышения энергетической и экономической эффективности своей работы.

Международные электросетевые форумы и выставки подтверждают, что отечественные предприятия, занимающиеся производством приборов и электротехники, успешно справляются с вызовами сложных экономических условий, разрабатывая и производя разнообразные продукты. современных приборов, которые могут пользоваться популярностью не только предприятиями и организациями отечественной изменений в организационной структуре отрасли. Тем не менее, российская энергетическая промышленность продолжает развиваться и вносит свой вклад в инновационные процессы. Новые технологии и оборудование, представленные на выставках, не только отвечают современным требованиям в области электроэнергетики, но и способны конкурировать с зарубежными аналогами. Однако, отсутствие координации между Минэнерго России и головными электросетевыми компаниями приводит к дублированию разработок и нестыковкам в программном обеспечении систем управления и учета электроэнергии. Это препятствует применению многих перспективных разработок отечественных предприятий из-за высокой стоимости, недостатка финансирования и отсутствия необходимых нормативных документов. Также требуется внести изменения в организационную структуру отрасли, чтобы устранить эти проблемы. среди других причин, одна из них может быть объяснена тем, что начиная с середины 1990-х годов и до настоящего времени, многие руководители отрасли все еще верят, что рынок электроэнергии и конкуренция автоматически урегулируют ситуацию, и лучшее всегда найдет свой путь.

Энергосбережение представляет собой одну из проблем, которую следует учесть. Значимость мероприятий, направленных на энергосбережение, особенно проявляется в связи с высокими потерями электроэнергии в электрических сетях Российской Федерации. Сообщениях Минэнерго РФ отмечается, что такой высокий уровень выработки электроэнергии в 2022 году обусловлен рядом факторов, включая увеличение емкости и модернизацию электростанций, а также внедрение новых технологий в энергетический сектор. Кроме того, Минэнерго РФ намерено продолжать работу над увеличением доли возобновляемых источников энергии в общей структуре электроэнергетики. В результате, ожидается дальнейшее увеличение доли электроэнергии, производимой в России. снаряжения, недостаточным контролем и регулированием работы электрических сетей, некачественным техническим обслуживанием и неправильной эксплуатацией оборудования. Устранение этих проблем поможет снизить потери электроэнергии и повысить доходность отечественных электросетевых компаний. Для достижения этой цели необходимо провести комплексные мероприятия, включающие модернизацию электросетей, внедрение современных технологий учета и

контроля, а также обучение и подготовку квалифицированных специалистов в области энергетики. недостаточной компенсацией реактивной мощности в электрических сетях и у потребителей; неэффективным функционированием электросетей, значительным уровнем нелегального и неучтенного потребления электроэнергии; погрешностями системы учёта; недостаточным взаимодействие между электросетевыми и энергосбытовыми компаниями и другими аналогичными организациями часто характеризуется различными уровнями активности и конфликтов.

Проблемы с падением качества электрической энергии в 0,4 кВ сетях все чаще становятся заметными из-за несимметрии и несинусоидальности токов.

В последнее время Минэнерго России отказалось от своей роли ответственного исполнителя в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности в стране, что является несчастным фактом. Особенно отмечается, что Министерство изменило методику расчета нормативов технологических потерь в электрических сетях, которая ранее основывалась на законах электротехники, на статистическую методологию. методику сравнительного анализа. Расчёты по этой методике ранее было показано, что некоторые электросетевые компании получают очень низкие нормативы потерь, в то время как другие получают нормативы, которые невозможно выполнить, что приводит к значительным финансовым убыткам. В результате такой методики, электросетевые предприятия были исключены из процесса обоснования нормативов и получают нормативы, которые уже заданы сверху как план. [2]

За последнее десятилетие введен в развитию будет выполнено в ближайшем будущем. В ближайшее время будет предпринята серия важных мер по стимулированию инноваций. Вскоре будут приняты решительные шаги в направлении развития инноваций. В ближайшем будущем будут предприняты действия по развитию инноваций. Скоро будут предприняты меры для продвижения инноваций. развитию и модернизации электроэнергетики. И отечественный и зарубежный опыт демонстрируют, что традиционный метод развития, основанный на расширении, требует непропорциональных затрат и занимает много времени. которые происходят в реальности. явления наблюдаются как в России, так и в других странах мира. Особенно заметно, что потребители все больше отказываются от централизованного рынка электроэнергии и предпочитают устанавливать собственные источники электроэнергии на своей территории. Эти источники позволяют не только удовлетворять потребности в электроэнергии, но и продавать избытки в сеть. Такой подход позволяет снизить расходы на покупку дорогостоящей электроэнергии и повысить надежность энергоснабжения. Такие децентрализованные процессы наблюдаются как в России, так и в других странах мира. по электрической сети энергоисточники (в том числе энергетические системы, основанные на возобновляемых источниках энергии, вызывают появление нестабильных

потоков электрической мощности в электрических сетях, что требует новых подходов к управлению режимами сетей, релейной защите, противоаварийной автоматике, а также к совместной работе распределенных генераторов и энергосистем.

Одновременно с этим для обеспечения требований к качеству электроэнергии в соответствии с ГОСТ 32144-2013, разрабатываются и выпускаются новые технические устройства на основе силовой электроники. Среди них быстродействующие статические компенсирующие устройства (СТАТКОМы), управляемые шунтирующие реакторы, токоограничивающие реакторы, активные фильтро-компенсирующие и симметрирующие устройства, а также различные типы накопителей электроэнергии. Эти устройства широко внедряются в распределительных электрических сетях. Для сокращения времени поиска и локализации аварийных режимов, активно используются автоматизированные секционирующие устройства - реклоузеры. Кроме того, начато внедрение систем мониторинга технического состояния электрических сетей и их режимов. [4]

Все эти факторы создают возможности для начала практических работ по разработке нового поколения электрических сетей - интеллектуальных электрических сетей и энергосистем, которые оснащены средствами диагностики и контроля, интеллектуальным учетом электроэнергии и управлением нагрузкой, а также системами управления режимами работы с учетом наличия распределенных источников мощности и электроэнергии, автоматизированным управлением подстанциями и определением оптимальной очередности ремонта оборудования. Правительством РФ согласована и утверждена дорожная карта «Энерджинет» Национальной технологической инициативы. Ведутся работы избежать возможных проблем, связанных с электросетевым комплексом. Хотя ясно, что интеллектуализация не является универсальным решением для всех проблем, связанных с электросетями, но внедрение новых технологий управления является необходимым шагом на данный момент. не отстать от промышленно развитых стран и, более того, эффективно реализовывать востребованные на международных рынках российские инженерные изделия и инновационные разработки.

Следует заметить, что программы инновационного развития, создания интеллектуальной электроэнергетики уже в ближайшие годы потребуют качественных изменений в организации и функционировании отраслевых научных исследований и разработок, в подготовке инженерных кадров по новым специальностям, в повышении квалификации эксплуатационного и оперативного персонала. При этом необходимо учитывать, что на сегодняшний день доля импортного программного обеспечения в отраслевых автоматизированных системах управления по экспертным оценкам составляет более 85%, а доля основного оборудования субъектов электроэнергетики более чем на 50% иностранного производства. Это существенно увеличивает затраты

по сопровождению импортного программного обеспечения, эксплуатации и ремонту зарубежной техники, дискредитирует и блокирует отечественные научные исследования и разработки по многим направлениям, сдерживает технологическое развитие страны и создаёт большие риски по энергетической и национальной безопасности России. С этой точки зрения поставленная Правительством РФ задача импортозамещения для электроэнергетики приобретает особенно важное значение. Для её эффективного решения было бы необходимо в денежном выражении оценить риски убытков от использования иностранных техники и технологий и увеличить затраты на финансирование отечественной фундаментальной, отраслевой и ВУЗовской науки до не менее 5% от ВВП отрасли. Такое увеличение не только повысит безопасность и технологический престиж страны, создаст новые рабочие места, но уже сейчас обеспечит научно- технические заделы на многие годы вперёд. [1]

По предварительным прогнозам Минэкономразвития, при инновационном сценарии развития РФ, в том числе электроэнергетики, средние цены для всех потребителей на розничном рынке с 2018 до 2030 года могут увеличиться в 2,3- 2,6 раза, а для населения с учётом отмены перекрёстного субсидирования тарифов – в 3,2-3,3 раза.

Причин такой динамики множество. Это и высокая стоимость инновационного оборудования и его эксплуатации, это и рост стоимости топлива, металла и других первичных материалов. Это и недостатки принятых моделей рынка и ценообразования. Это и рост затрат на строительство и эксплуатацию энергообъектов. В частности, стоимость 1 кВт установленной мощности электростанций России почти в 2 раза выше, чем в США, Европе и Китае. В 2 раза выросла в долларовом эквиваленте удельная стоимость сетевого строительства по сравнению с 90-ми годами прошлого века. Удельный расход топлива на ТЭС вырос за эти 20 лет на 6%. Доля электросетевой составляющей в структуре цены на электроэнергию к настоящему времени достигла 60%. Это в 3 раза выше, чем в 1990 г. и в 2 раза выше, чем в промышленно развитых странах.

Таким образом, на данный момент существуют следующие проблемы в электроэнергетике: физического износа основного оборудования электрических сетей и станций, их неоптимальная загрузка; снижение надёжности, качества и экономичности энергоснабжения; рост тарифов и неплатежей.

Список литературы

1. Галкина А.А., Грушевенко Д.А. Перспективы развития мировой энергетики до 2040 года и их влияние на российский топливноэнергетический комплекс // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. – 2015. - №1. - С.59-70.

2. Дробот Е.В., Батарин И.В., Пекки В.Д. Анализ условий внешней

торговли России и стран Запада в условиях санкционных войн // Экономический отношения. – 2017. - №1. - С. 63-78.

3. Об энергетической стратегии России до 2030 года:Распоряжение правительства РФ № 1715-Р от 13.11.2009 [Электронный ресурс]. – URL: http://federalbook.ru/files/TEK/Soderzhanie/Tom%2015/V/Energeticheskaya %20sstrategiy.pdf

4. О внесении изменений в Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года: [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons)doc_LAW_197712/

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Лебедьков Р.К., Хаустова Е.В., канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Научно-методические аспекты подготовки специалистов в области энергетики имеют важное значение для обеспечения эффективного функционирования энергетической системы. С учетом постоянно меняющейся природы энергетической отрасли и растущих требований экономической устойчивости, специалисты в этой области должны быть хорошо подготовленными и обладать необходимыми знаниями и навыками.

Одним из ключевых аспектов подготовки специалистов в области энергетики является обеспечение актуальности образовательной программы. С учетом быстрого развития технологий, новых тенденций и задач, стоящих перед энергетическими компаниями, необходимо обновлять содержание программы и вводить новые дисциплины, чтобы студенты получали полноценное образование, отвечающее современным вызовам и требованиям. Учебные программы должны быть уникальными для каждого специализированного направления в энергетике и отражать актуальные методы и технологии в отрасли.

Обучение специалистов в области энергетики требует наличия высококвалифицированных и опытных преподавателей, которые будут обладать актуальными знаниями и опытом в отрасли. Они должны быть способными эффективно передавать свои знания студентам и быть в курсе последних тенденций и разработок в энергетике.

Для обеспечения качественной подготовки специалистов в области энергетики необходимо уделять особое внимание научным исследованиям и практическому опыту. Проведение научных исследований позволяет активно внедрять инновационные технологии в образовательный процесс, а также обновлять содержание программы на основе полученных результатов. Практический опыт, в свою очередь, позволяет студентам применять свои знания на практике, развивать навыки работы с современным оборудованием и инструментами, а также приводит к формированию ценных профессиональных навыков. Научные исследования в области энергетики имеют важное значение для развития отрасли. Обучение студентов должно включать элементы исследовательской работы, чтобы они могли научиться применять научные методы в своей профессиональной деятельности. Университетские лаборатории и научные центры должны быть оснащены необходимым оборудованием и ресурсами для проведения исследований. Однако эффективная подготовка специалистов в области энергетики требует не только использования новейших научных достижений, но и разработки соответствующих методических

подходов. Эти подходы должны быть ориентированы на формирование у студентов комплексных знаний о различных типах энергетических систем, их эффективном функционировании и управлении.

Неотъемлемой частью подготовки специалистов в области энергетики является сотрудничество с энергетическими компаниями и организациями. Взаимодействие с опытными профессионалами и экспертами позволяет студентам получить реальные практические знания, ознакомиться с особенностями работы в данной сфере, а также узнать о текущих вызовах и требованиях, стоящих перед современными энергетическими компаниями.

Энергетика – это отрасль, активно использующая передовые технологии в своей работе. Специалисты в этой области должны обладать не только базовыми знаниями в своей области, но и навыками работы с программным обеспечением, моделированием и анализом данных. Учебные программы должны содержать соответствующие курсы, направленные на обучение студентов использованию современных информационных технологий в энергетической сфере. Специализированное программное обеспечение, разработанное в последние годы, предоставляет уникальные возможности для эффективного обучения и развития профессиональных навыков, необходимых для работы в данной области.

Одним из ключевых преимуществ использования специализированного программного обеспечения в обучении является возможность симуляции и моделирования реальных ситуаций и задач. Благодаря этому, специалисты энергетического комплекса могут получить практический опыт работы с различными системами и оборудованием, не выходя из аудитории. Это позволяет им освоить сложные процессы и процедуры в безопасной и контролируемой среде, минимизируя возможные риски и ошибки.

Кроме того, специализированное программное обеспечение предоставляет специалистам доступ к актуальным материалам, инструкциям и руководствам пользователя, что помогает им ознакомиться с последними трендами и нормативными актами в области энергетики. Также они могут получить подробные объяснения сложных технических концепций и процессов, что дополнительно обогащает их знания и способствует повышению квалификации.

Одной из важнейших функций специализированного программного обеспечения является мониторинг и анализ работы специалистов. При помощи различных инструментов и функций, позволяющих отслеживать и оценивать производительность и результативность работы, программное обеспечение позволяет идентифицировать слабые места и неэффективные процессы, а также предлагать соответствующие меры для их улучшения. Это помогает оптимизировать процессы подготовки и повышения квалификации специалистов энергетического комплекса, а также повысить их профессиональные навыки и экспертный уровень, подготовить к работе в нестандартных и динамично изменяющихся ситуациях.

Необходимо отметить и неоспоримую роль преемственности при

подготовке специалистов. «В современных социально-экономических условиях во всех сферах человеческой деятельности требуются специалисты различных уровней квалификации. Между различными уровнями образования в области энергетики существуют многообразные связи. Это связи между содержанием образования и связи между способами и методами формирования необходимых профессиональных качеств.

Специфика энергетического производства обусловливает особые требования к персоналу энергетических предприятий - высокую ответственность, дисциплинированность, глубокие фундаментальные знания, умение работать в соответствии с существующими нормами и правилами электроэнертегических установок, правилами технической эксплуатации, правилами техники безопасности. Их выполнение должно быть обеспечено на всех уровнях образования.

Задача создания и внедрения в процесс подготовки специалистов технологий реализации преемственности на ступенях ссуз-вуз является как никогда актуальной. Связи преемственности в системе ссуз-вуз недостаточно изучены и научно обоснованы, не разработаны технологии реализации преемственности ступеней СПО и ВО. Возникает противоречие между объективной необходимостью обеспечения преемственности в системе многоуровневого профессионального образования в условиях возрастающих требований к качеству профессионального образования и недостаточной изученностью и разработанностью в современной педагогике способов обеспечения преемственности в системе ссуз-вуз» [1].

Подытоживая сказанное, отметим, что «энергетика – одна из ключевых отраслей, определяющих жизнеспособность, безопасность и могущество экономики страны. Соответственно, одной из важных задач отрасли является стратегическое планирование развития энергетического комплекса, и один из главных вопросов – подготовка специалистов для работы в данной отрасли.

Поддержание отрасли энергетики на необходимом для государства уровне и тем более ее развитие невозможно без непрерывной подготовки высококвалифицированных инженерных и научных кадров» [2].

Научно-методические аспекты подготовки специалистов-энергетиков являются важным компонентом образовательного процесса. Обеспечение актуальности образовательной программы, проведение научных исследований, развитие практического опыта и сотрудничество с экспертами, внедрение и активное использование в учебном процессе современного программного обеспечения, разработка и внедрение системы преемственности – все это в комплексе способствует формированию высококвалифицированных профессионалов, способных успешно решать сложные задачи в сфере энергетики.

Список литературы

1. Шакурова, З.М. Преемственность обучения как необходимое условие функционирования системы непрерывного профессионального образования //

Высокие интеллектуальные технологии образования и науки : Материалы IX Международной научно-методической конференции. 14-15 февраля 2002 г. Санкт-Петербург. – С.116 .: СПбГТУ, 2002. - С. 225-226.

2. Батькаев, И. И. Проблемы подготовки кадров для энергетических предприятий и пути их решения [Текст] / И. И. Батькаев // Современное образование. - 2021. - №4(125). - С. 22-25.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКИХ СЕТЯХ 35/10/0,4 кВ

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

Определение потерь в сельских электрических сетях 35/10/0,4 кВ является актуальной задачей. Точное определение потерь электроэнергии позволяет уменьшить коммерческие потери и повысить прибыль сетевых компаний, занимающихся обслуживанием сельских электрических сетей. К сельским электрическим сетям относятся сети внутри поселков, дачных массивов, туристических комплексов. Для повышения точности расчета необходимо иметь достоверные данные о трансформаторно-реакторном оборудовании (число трансформаторов, марка, мощность), линиях электропередач (протяженность линий, марка провода). Методы расчета потерь предполагают известными графики нагрузок потребителей, определение которых является сложной инженерной задачей. Также немаловажное значение имеет знание структуры потерь электроэнергии. После определения потерь обычно разрабатывается перечень мероприятий, связанных с устранением или уменьшением этих потерь. Поэтому разработке и внедрению программ расчета потерь электроэнергии в сельских сетях уделяется в настоящий момент большое внимание. Различные методы расчета предполагают наличие полноты сведений об объектах исследования.

С развитием вычислительной техники и программного обеспечения происходит постоянное совершенствование методов расчета потерь электроэнергии. Сетевые организации пользуются целым рядом программных комплексов по расчету потерь.

Все потери можно условно разделить на постоянные потери и переменные (нагрузочные) потери. К постоянным потерям относятся потери, которые не зависят от нагрузки потребителей. Сюда относятся потери холостого хода трансформаторов напряжения, компенсирующих устройств (батареи конденсаторов), систем учета электроэнергии, вентильных разрядников и ограничителей перенапряжения. К переменным потерям относятся потери, связанные с протеканием тока по токоведущим частям трансформаторно-реакторного оборудования, линий электропередач, шин распределительных устройств и электроприемников. Расчет постоянных потерь является наиболее простым и выполняется согласно [1]. К методам расчета переменных (нагрузочных потерь) относятся [2, 3]:

- метод средних нагрузок (расчет выполняется через значение нагрузочных потерь электроэнергии за расчетный период);

- метод характерных суточных режимов (расчет выполняется на основе выборки характерных суток со средним энергопотреблением за рассматриваемый период времени);

- метод времени наибольших потерь электроэнергии (расчет выполняется на основе того, что пропускание наибольшей неизменной нагрузки влечет за собой столько же потерь электроэнергии, что и при переменной нагрузке за рассматриваемый интервал времени);

- метод раздельного времени наибольших потерь (метод отличается от предыдущего тем, что отдельно рассчитываются потери активной и реактивной мощности);

- метод эквивалентного сопротивления (метод основан на том, что вся реальная рассматриваемая сеть представляется одним эквивалентным сопротивлением);

- схемнотехнические методы (основаны на полных данных о рассматриваемой распределительной сети, в том числе и о ее электротехнической схеме);

- вероятно-статистические методы.

Подробнее остановимся на вероятностно-статистическом методе. Суть этого метода в том, что он основан на некоторых регрессионных зависимостях. На основе данных о распределительной сети (потребленная мощность электроприемниками, количество линий электропередач и их длина, установленная мощность понижающих трансформаторов) составляется ее обобщенная характеристика. Затем выполняется расчет статистических характеристик сети, на основе выполненных ранее электротехнических расчетов для некоторого заранее известного участка сети. В результате расчета инженер-расчетчик получает некоторые регрессионные зависимости. Например, для линий электропередач 6-10кВ в количестве от 80 до 100 исследователи рекомендуют зависимость с помощью, которой можно определить некоторое эквивалентное сопротивление сети:

$$R_э = R_{эл} + R_{эт} = 19{,}1 \cdot S_{m\Sigma}^{-2} \cdot \sum_{i=1}^{n} L_i^{0{,}735} \cdot S_{mi}^{1{,}45}, \quad (1)$$

где L_i – длина некоторой i -й линии;

S_{mi} – полная мощность трансформаторов, подключенных к i-й линии;

$S_{m\Sigma}$ – суммарная полная мощность всех трансформаторов в сети.

Другая регрессионная зависимость для нахождения эквивалентного сопротивления сети 35 кВ при количестве линий от 15 до 85 может быть представлена выражением:

$$R_э = R_{эл} + R_{эт} = 19{,}1 \cdot S_{m\Sigma}^{-2} \cdot \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} S_{\text{н}i}^2 \cdot (1{,}07 + 7{,}64 \cdot 10^{-2} L_i - 7{,}93 \cdot 10^{-2} S_{mi} + 0{,}855 R_{\text{ГУ}i}),$$

где $R_{\text{ГУ}i}$ – сопротивление участка в начале линии.

Если выполнять расчет потерь другим способом, то постоянные и нагрузочные потери в сетях 10 кВ можно вычислить, используя регрессионную формулу:

$$\Delta W = 31{,}46 \cdot W_{\text{ГУ}}^{0{,}62} \cdot L_{\text{м}}^{0{,}3}, \text{ тыс.кВт·ч} \quad (3)$$

или

$$\Delta W = 18{,}93 W_{\text{ГУ}} + 2{,}32 L_{\text{м}} + 3{,}66 L_0 - 4{,}21, \text{ тыс.кВт·ч} \quad (4)$$

где $W_{\text{ГУ}}$ – активная энергия, потребленная подключенными электроприемниками, подключенными к данной линии, мВт·ч·10^{-3};

$L_{\text{м}}$ – расстояние от питающей подстанции до самого удаленной распределительной подстанции, км;

L_0 – сумма всех ответвлений рассматриваемой распределительной сети, км.

Можно потери определять и в процентах от потребленной электроприемниками энергии. Их можно определить по формулам:

$$\Delta W = 3{,}13 \cdot S_{m\Sigma}^{0{,}2} \cdot L_{\text{М}}^{0{,}22} \cdot n_m^{0{,}12}, \%$$ (5)

или

$$\Delta W = 1{,}23 S_{m\Sigma} + 0{,}1 L_{\text{м}} + 0{,}04 L_0 - 0{,}02 n_m + 3{,}68, \%$$ (6)

где $S_{m\Sigma}$ – сумма полных мощностей всех трансформаторов, подсоединенных к рассматриваемой распределительной сети, МВ·А;

n_m – число трансформаторов участвующих в преобразовании энергии в рассматриваемой распределительной сети, шт.

Вероятностно-статистический метод является удобным и позволяет учесть разнородность сети [4]. Позволяет учитывать связи между потребляемыми мощностями нагрузок распределительной сети, а также учитывать перетоки активной и реактивной мощности. Этот метод позволяет

повысить точность расчета потерь на часовых и получасовых интервалах, учитывая перетоки мощности, которые произошли за эти интервалы времени. Вместе с тем этот метод является оценочным и не может быть использован для оценки места возникновения наибольших потерь.

Список литературы

1. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям. – Утверждена приказом Минэнерго России 30.12.2008. № 326. (в ред. приказа Минэнерго РФ от 01.02.2010 N 36).

2. Железко, Ю. С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко, А. В. Артемьев, О. В. Савченко. – М.: ЭНАС, 2008. – 280 с.

3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов. М. ЭНАС, 2009.- 456 с.

4. Жилина, Н. А. Вероятностно-статистический метод расчета потерь электроэнергии / Н. А. Жилина // Главный энергетик. – 2015. – № 8. – С. 57-62.

РАСЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Введение. В современном мире, где технологии стремительно развиваются, а интерес к возобновляемым источникам энергии растет, солнечная энергетика представляет практический интерес за счет повышения конкуренции среди производителей оборудования, применяемого для строительства солнечных электростанций и уменьшения его стоимости. Применение солнечных станций для выработки электроэнергии позволит обеспечить устойчивое энергетическое будущее [1]. Одной из важных задач в этой области является точный прогноз выработки солнечной энергии для оптимизации работы солнечных электростанций. В данной научной статье рассмотрена методика расчета солнечной инсоляции для прогнозирования выработки электроэнергии.

Оренбургская область, расположенная на юго-западе России, имеет уникальные природные особенности, которые позволяют иметь хорошие показатели солнечной инсоляции. В связи с этим проведение подробного анализа потенциала использования солнечной энергии является актуальной задачей, который позволит максимально эффективно использовать потенциал региона.

Материалы и методы. В связи с теорией распространения света в земной атмосфере полная солнечная инсоляция состоит из 3 составляющих. Это прямая, диффузная (рассеянная) и отраженная солнечная инсоляция. Учет всех этих составляющих солнечной инсоляции является важным. На наклонную поверхность солнечных панелей (СП) попадает полная солнечная инсоляция, значение которой определяется по формуле:

$$\mathrm{H}_T = \mathrm{H}_B + \mathrm{H}_D + \mathrm{H}_R \quad (1)$$

где H_{T} – полная солнечная инсоляцию на наклонную поверхность;

H_B – прямая солнечная инсоляция;

H_{D} – диффузная солнечная инсоляция;

H_R – отраженная солнечная инсоляция.

Один из основных методов расчета солнечной инсоляции в данный момент времени является метод с использованием индекса ясности неба – K_{T}.

Индекс ясности – определяется как отношение глобальной солнечной инсоляции, измеренной на уровне земли, и аналогичной, оцененной в верхней части атмосферы [2]. Определить данный параметр, возможно только используя прямые измерения, по этой причине прогнозировать эти значения на

следующий календарный год или же на срок длиннее – невозможно. В данной работе используются данные, взятые с обсерватории и выложенные в открытом доступе агентством НАСА [3]. Данные, на которых основывалось исследование, представлены на рисунке 1

$$K_T = \frac{H_g}{H_0} \tag{2}$$

где K_T – индекс ясности неба;

H_0 – значение внеземной солнечной радиации за сутки;

H_g – полная солнечная инсоляция на горизонтальную поверхность.

Рисунок 1 – Кривая индекса K_T за 2022 год в г. Оренбург

Внеземная солнечная инсоляция находится по формуле [4]:

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} I_{sc} \left(1 + 0{,}033 \cdot \cos\left(\frac{360D}{365}\right)\right) \times \times \left(\cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_{ss}) + \frac{\pi \cdot \omega_{ss}}{180} \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta)\right); \tag{3}$$

где I_{sc} – солнечная постоянная (=1367);

δ – угол склонения, координата Солнца на небесной сфере;

ω_{ss} – часовой угол на закате;

φ – географическая широта;

D – номер дня года.

$$\delta = 23{,}45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + D}{365}\right) \quad (4)$$

$$\omega_{ss} = cos^{-1}(-tg(\delta) \cdot tg(\varphi)) \quad (5)$$

$$\mathrm{H}_d = \mathrm{H}_g(1 - 1{,}13)K_T \quad (6)$$

где H_d – диффузная солнечная инсоляция на горизонтальную поверхность.

Методы определения рассеянного солнечного излучения, падающего на горизонтальную и наклонную поверхности СП, делятся на изотропные [5] и анизотропные модели [6]. В изотропных моделях предполагается, что интенсивность рассеянного излучения неба равномерна по всему пространству [7]. Следовательно, рассеянное излучение, падающее на наклонную поверхность, зависит от видимой ею части небосвода. Анизотропные модели предполагают анизотропию рассеянного излучения неба в околосолнечной области (небо вблизи солнечного диска) плюс изотропно распределенную диффузную составляющую от остальной части небосвода. В данной работе используются изотропные модели расчета. Значение прямой солнечной инсоляции на наклонную поверхность СП определяется как:

$$\mathrm{H}_B = (\mathrm{H}_g - \mathrm{H}_d)R_b, \quad (7)$$

где R_b – отношение прямого солнечного излучения на наклонной поверхности к прямому солнечному излучению на горизонтальной поверхности ФЭП, которое определяется по формуле:

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta)\cos\delta\sin\omega_{ss} + \omega_{ss}\sin(\varphi - \beta)\sin\delta}{\cos\varphi\cos\delta\sin\omega_{ss} + \omega_{ss}\sin\varphi\sin\delta} \quad (8)$$

где β – угол наклона СП. Диффузная солнечная инсоляция определяется как:

$$\mathrm{H}_D = R_d\mathrm{H}_g \quad (9)$$

где R_d – отношение диффузного солнечного излучения на наклонной поверхности к прямому солнечному излучению на горизонтальной поверхности ФЭП, которое определяется по формуле:

$$R_d = \frac{3 + \cos(2\beta)}{4} \quad (10)$$

Значение отраженной солнечной инсоляции определяется как:

$$H_R = H_g \cdot \rho \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (11)$$

где ρ – индекс альбедо поверхности.

Результаты исследования. Расчеты проводились при условии двуосной степени свободы солнечной панели, следовательно, плоскость всегда находилась под углом в 90 градусов относительно нормали солнечных лучей. Вид кривых расчетных величин полной солнечной инсоляции с фиксированным углом приведен в Приложении А.

Рисунок 2 представляет собой график внеземной солнечной инсоляции, построенный за год.

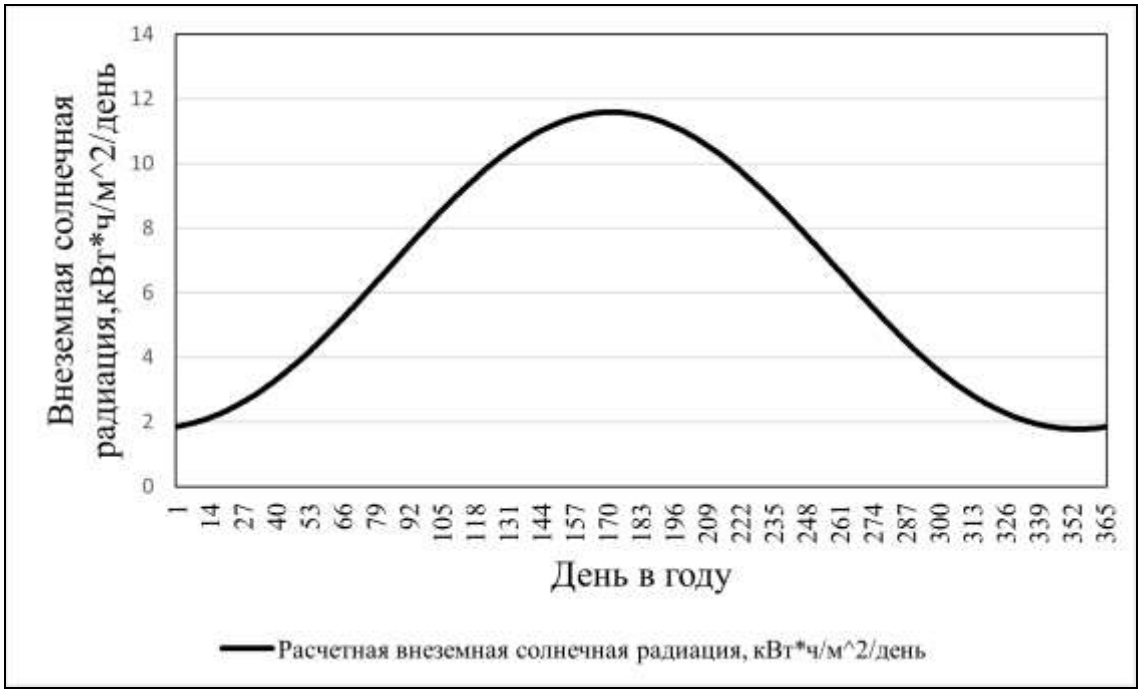


Рисунок 2 – Расчетная внеземная солнечная радиация

Согласно формуле (1) состоит полная солнечная инсоляция из 3 компонентов. Рассмотрим их по отдельности

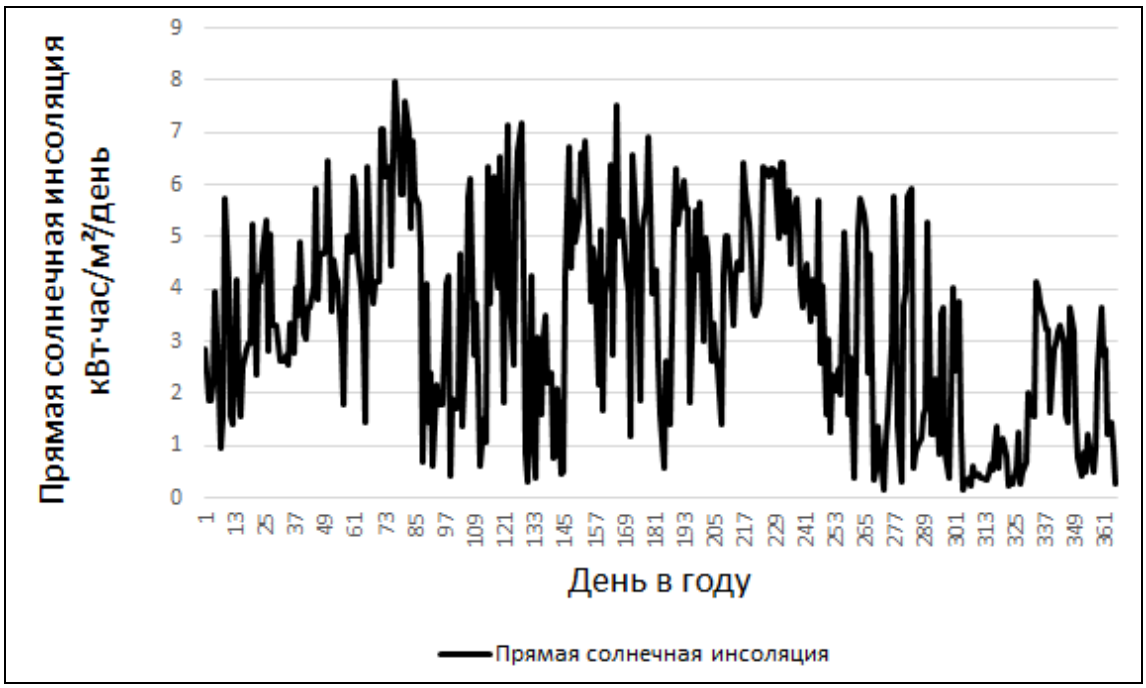


Рисунок 3 – Прямая солнечная инсоляция

На рисунке 3 представлена расчетная кривая прямой солнечной инсоляции. Прямая солнечная инсоляция – значение соответствует величине внеземной солнечной инсоляции, исключая потери при прохождении через земную атмосферу. Вид данной кривой на рисунке 3 объясняется тем, что индекс K_T влияет на данный показатель прямо пропорционально.

Диффузная солнечная инсоляция – солнечное излучение, при котором лучи, проходя через атмосферу, рассеиваются по всех направлениях. В отличие от прямой инсоляции, диффузная солнечная инсоляция достигает поверхности под разными углами. Кривая диффузной инсоляции представлена на рисунке 4 и имеет форму полуволны синусоиды, в отличии от остальных инсоляций.

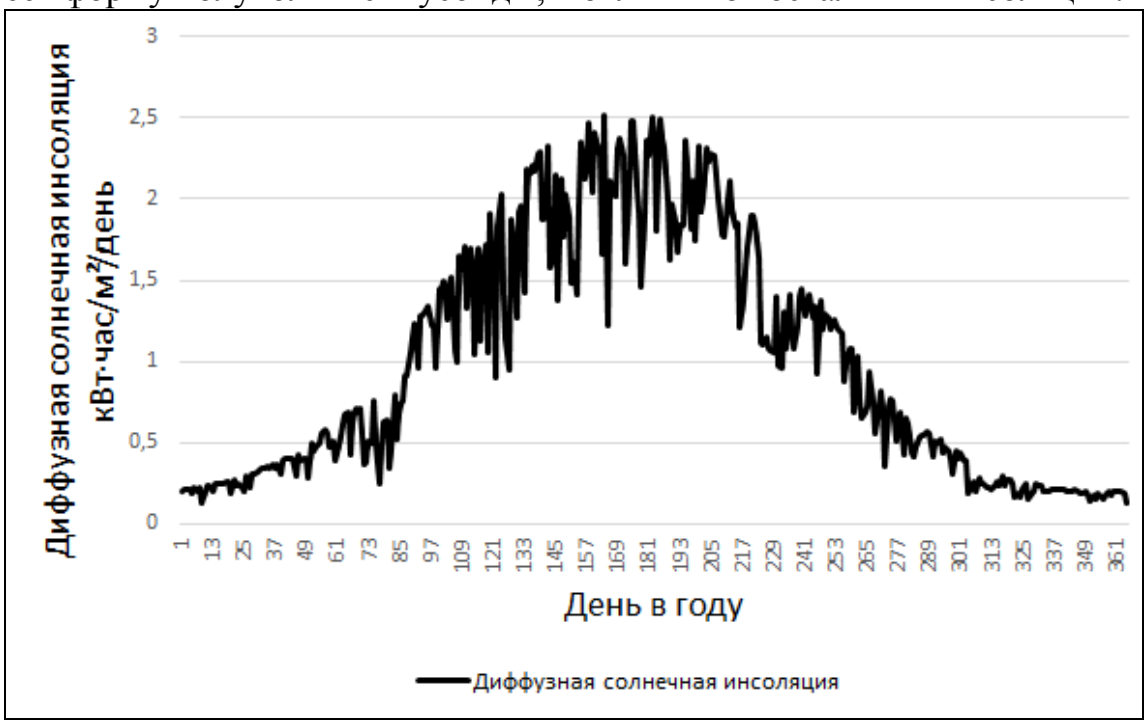


Рисунок 4 – Диффузная солнечная инсоляция

Отраженная солнечная инсоляция – значение, характеризующее величину попадающей на СП, путем отражения от поверхности земли, зданий, водной глади и так далее. Вид кривой представлен на рисунке 5

Рисунок 5 – Отраженная солнечная инсоляция

Рисунок 6 – Расчетная полная солнечная инсоляция

Вывод. При анализе результатов исследования были учтены изменения климатических условий и облачности в период, рассматриваемый в работе на

площади Оренбургской области. При анализе кривых с системой слежения за Солнцем уровень выработки увеличивается на 2341 кВт*час ЭЭ за год в среднем, в зависимости от установленного угла наклона солнечной панели. Так же при фиксированной величине угла идет уменьшение выработки в разные времена года. Сезонное регулирование угла СП может тоже выполняться, но является трудоемким. При использовании максимально удачного способа регулирования можно получить до 8,765 кВт*час в сутки на 1м^2 солнечной инсоляции в пределах Оренбургской области.

Приложение А

Рисунок 7 – Полная солнечная инсоляция при угле солнечной панели 0 градусов

Рисунок 8 – Полная солнечная инсоляция при угле солнечной панели 15 градусов

Рисунок 9 – Полная солнечная инсоляция при угле солнечной панели 30 градусов

Рисунок 10 – Полная солнечная инсоляция при угле солнечной панели 45 градусов

Рисунок 11 – Полная солнечная инсоляция при угле солнечной панели 51,46 градусов

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации "ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ Российской Федерации на период до 2035 года" от 9 июня 2020 г № 1523-р // Парламентская газета. – 2020.

2. Duffie J.A., William A. Beckman Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, A. William. - New Jersey : University of Wisconsin-Madison

3. Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства / [Электронный ресурс] // https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/ : [сайт]. — URL: (дата обращения: 15.10.2023).

4. Ozdamar, N. Ozbalta, A. Akin, E. Didem Y. An application of a combined wind and solar energy system in Izmir // Elsevier, 2005, №9, 624-637 p.

5. Aksas M., Gama A. Assessment of wind and solar energy resources / M. Aksas, A. Gama // Energy Procedia, 2011, №6, 459–466 p.

6. M. Benghanem Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia [Текст] / M. Benghanem // Applied Energy. — 2011. — № 88. — С. 1427-1433.

7. U. V. Desnicat, B. G. Petrovic and D. Desnica calculation of monthly average daily insolation on tilted, variously oriented surfaces using analytically weighted rb factors [Текст] / U. V. Desnicat, B. G. Petrovic and D. Desnica // Rugjer Boskovic" Institute. — 1985. — № 3. — С. 1016.

ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ

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

На основе утвержденного правительством РФ распоряжения от 9 июня 2020 года № 1523-р, под заголовком «Об энергетической стратегии РФ на период до 2035 года», государственная энергетическая политика страны признается приоритетной своей основной миссией - гарантировать энергетическую безопасность, и перспективу развития возобновляемых источников электроэнергии, а именно использование электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), как на общенациональном уровне, так и на уровне каждого субъекта Российской Федерации.

Согласно статистике, на сегодняшний день в Российской Федерации выработка электроэнергии с помощью возобновляемых источников энергии составляет порядка 20% от общего объема вырабатываемой электроэнергии. В количественном выражении в 2022 году электростанции выработали около 210 млрд кВт·ч, на долю ГЭС приходится 98%, оставшуюся часть электроэнергии выработали ВИЭ, а это около 4 млрд кВт·ч, что соответствует порядка 0,4% выработанной электроэнергии в РФ, и 2% от ВИЭ.

Анализ научно-технической литературы в области различных видов электростанций, работающих на ВИЭ, позволил выявить наиболее оптимальную. В статье рассмотрены ветрогенераторная электростанция, солнечная электростанция, геотермальная электростанция, ветросолнечная электростанция.

Ветрогенераторная электростанция – это станция, предназначенная для преобразования кинетической энергии воздушного потока в электрическую энергию. Вырабатываемая мощность станции, величины тока и напряжения напрямую связаны с силой ветра, которая изменяется по кубическому закону. Однако использование только таких электростанций затруднено из-за непостоянности ветра.

Солнечная электростанция – это электростанция, которая преобразует солнечную инсоляцию в электрическую энергию, называется солнечной электростанцией или солнечной фотоэлектрической установкой. Существуют различные способы преобразования солнечной энергии:

1. Фотоэлектрический эффект: основной метод преобразования солнечной инсоляции в электрическую энергию. Данный эффект открыл еще в 1887 году Г.Р. Герц. В данном случае солнечные панели, состоящие из полупроводниковых материалов, обладают способностью преобразовывать

световую энергию солнечного излучения непосредственно в электрическую энергию.

2. Термосолнечные установки: используют солнечную инсоляцию для нагрева рабочего тела, которое затем передает тепло на турбину для производства электричества. Обычно это паровые или органические рабочие жидкости.

3. Солнечные тепловые электростанции (СТЭС): используют концентрированную солнечную инсоляцию для нагрева рабочей среды, такой как вода или масло, чтобы получить высокотемпературный пар. Этот пар затем используется для привода турбины, генерирующей электрическую энергию.

4. Фотохимические установки: в этом случае солнечная радиация используется для преобразования энергии в химические процессы, например, производство водорода путем фотоэлектролиза воды.

Различные конструкции электростанций выбираются в зависимости от доступности солнечной инсоляции в данном регионе, климатических условий и масштабности установки.

Геотермальная электростанция – это электростанция, которая вырабатывает электрическую энергию из тепловой энергии подземных источников. Эти станции используют теплоту, которая накапливается в земле, для нагрева воды или сжатия рабочего вещества в пар или газ. Затем этот пар или газ приводит в движение турбину, которая в свою очередь генератор электроэнергии. Таким образом, геотермальные электростанции позволяют использовать подземную тепловую энергию для производства электричества.

Ветросолнечная электростанция - гибридная энергетическая система накопительного инверторного типа, которая использует как ветер, так и энергию солнечного излучения для производства электроэнергии. Ветрогенераторы и солнечные панели устанавливаются вместе и работают в синхронизме друг с другом.

Ветросолнечная станция состоит из следующих основных компонентов:

1. Ветрогенераторы: установки, которые используют силу ветра для преобразования ее в механическую энергию посредством вращение лопастей. Эта механическая энергия затем преобразуется в электрическую энергию с помощью синхронного генератора.

2. Солнечные панели: установки, которые используют солнечное излучение для генерации электрической энергии. Они состоят из фотоэлектрических ячеек, которые преобразуют солнечный свет в постоянный электрический ток.

3. Аккумуляторы: устройства для хранения электрической энергии, которая производится системой. Электрическая энергия, полученная от ветрогенераторов и солнечных панелей, используется для зарядки аккумуляторов. Затем энергия из аккумуляторов может быть использована в тех случаях, когда ветра и солнца недостаточно.

4. Инверторы: устройства, которые преобразуют постоянный ток от ветрогенераторов и солнечных панелей в переменный ток, который может использоваться в электрической сети.

Анализ достоинств и недостатков различных видов электростанций представлен в таблице 1.

Таблица 1 - достоинства и недостатки различных видов электростанций.

Различные виды электростанций	**Ф.И.О. ученых**	**Достоинства**	**Недостатки**
Ветроэлектростанция	Сидельников А.И. Ташимбетова М. А.	Простота обслуживания	Для установки необходимы сложные технические установки Изменчивость ветра может способствовать перебоям в подаче электроэнергии Шум
Солнечная электростанция	Сидельников А.И. Ташимбетова М. А.	Независимость от внешних источников электроэнергии Безопасность для окружающей среды	Необходимость периодической очистки отражающей поверхности от пыли Зависимость от погоды и времени суток Высокая стоимость
Геотермальная электростанция	Приймакова Т. В.	Способность работать автономном режиме Большие запасы в перспективе	Сложность возведения Ненадежность
Ветросолнечная электростанция	Шерьязов С. К.	Обеспечение постоянства выходного напряжения в автономной электросети Существенное увеличение КПД станции за счет одновременного, оптимального сочетания различных источников своего энергообеспечения	Сравнительно небольшие мощности по обеспечению энергопотребителей

Из проведённого анализа можно сделать вывод о том, что перспективнее всего использовать ветросолнечную электростанцию, так как именно она позволяет обеспечить постоянство выходного напряжения в автономной электросети энергопотребителей и существенно увеличить КПД станции за счет одновременного, оптимального сочетания различных ВИЭ.

Список литературы

1. Афанасьев, В. П. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния / В. П. Афанасьев, Е. И. Теруков, А. А. Шерченков . – 2-е изд. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. – 168 с.

2. Сидельников А.И. Разработка методики технико-экономического обоснования структуры и параметров энергокомплекса на базе ВИЭ

3. Ахметшин, А.Т. Экономические и экологические предпосылки развития солнечных установок с фотобатареями / А. Т. Ахметшин // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспиран-тов (октябрь 2009г.). – Уфа: ФГОУ ВПО Башкирский ГАУ, 2009. – С.93-95.

4. Ахметшин, А. Т. Экспериментальная солнечная фотоэлектрическая установка / А. Т. Ахметшин, У. Р. Ярмухаметов // Актуальные проблемы энергообеспечения предприятий: материалы международной научно-практической конференции, проводимой в рамках XIV российского энергетического форума. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. – С.24-29.;

5. С.К. Шерьязов. – Челябинск, 1990. –229 с. 3. Саплин Л.А. Использование гелиоветроэнергетических установок для энергоснабжения сельскохозяйственного производства / Л.А. Саплин, В.Л. Орлов, С.К. Шерьязов // Нетрадиционные электротехнологии в сельскохозяйственном производстве и быту села: мат-лы всесоюз. науч.-техн. семинара. – м.: виэсх, 1991. – с. 50-51.

6. Ахметшин, А.Т. Технико-экономическое обоснование применения систем слежения в солнечных фотоэлектрических установках / А. Т. Ахметшин, У. Р. Ярмухаметов // Материалы LIV международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному произ-водству». – Челябинск: ЧГАА, 2015. – Ч.3. – С.241-247.

7. Приймакова Т. В Характеристики возобновляемых источников энергии и основные аспекты их использования в России

8. Волостнов, Б.И. Энергосберегающие технологии и проблемы их реализации (зарубежный опыт) / Б.И. Волостнов, В.В. Поляков, В.И. Косарев // Информ. ресурсы России. 2010 - № 2. - С. 7-12.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РОЯ ЧАСТИЦ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕРОВ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

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

Одной из ключевых проблем, стоящих на сегодняшний день перед человечеством, является проблема исчерпаемости энергетических ресурсов. Для ее решения создаются и развиваются множество подходов к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Одним из них является разработка гибридных энергетических комплексов (ГЭК), сочетающих в себе несколько источников энергии и позволяющих формировать более устойчивую систему электроснабжения по сравнению с использованием только одного возобновляемого источника энергии. Одновременно с развитием технологий совершенствования ГЭК возникает и задача оптимизации его размеров, решение которой позволит осуществлять «бесшовную» интеграцию ГЭК в уже существующую энергосистему, а также повысить гибкость и адаптивность комплекса. Кроме того, от эффективности оптимизации в целом зависит экономическая целесообразность и рентабельность внедряемых ГЭК.

На данный момент одним из перспективных методов оптимизации является такой метод численной оптимизации как метод роя частиц, что связано с его универсальностью, простотой реализации, а также возможностью параллельных расчетов, позволяющих эффективно использовать вычислительные ресурсы [1, 2]. Кроме того, метод роя частиц позволяет решать задачи динамической оптимизации, в которых различные параметры или ограничения, накладываемые при решении, меняются с течением времени, что особенно характерно для электроэнергетики. Данный метод нашел свое применение, в том числе при решении задачи оптимизации размеров ГЭК [3]. В частности в данном исследовании он используется для оптимизации работы гибридного солнечно-ветрового комплекса с системой накопления энергии, функционирующего в рамках микросети. Задачей ставилась оптимизация стоимости электроэнергии, вырабатываемой ГЭК.

Метод оптимизации роя частиц был разработан, основываясь на анализе коллективного поведения животных, в частности стай птиц и косяков рыб. Метод опирается на итеративную оптимизацию задачи, начиная с популяции возможных решений, называемой роем частиц. Эти частицы двигаются к оптимальным решениям, обмениваясь при этом информацией друг с другом. Текущее положение частицы описывается рядом параметров: координатами в пространстве, а также скоростью перемещения. В общем виде алгоритм работы данного метода выглядит следующим образом (рисунок 1).

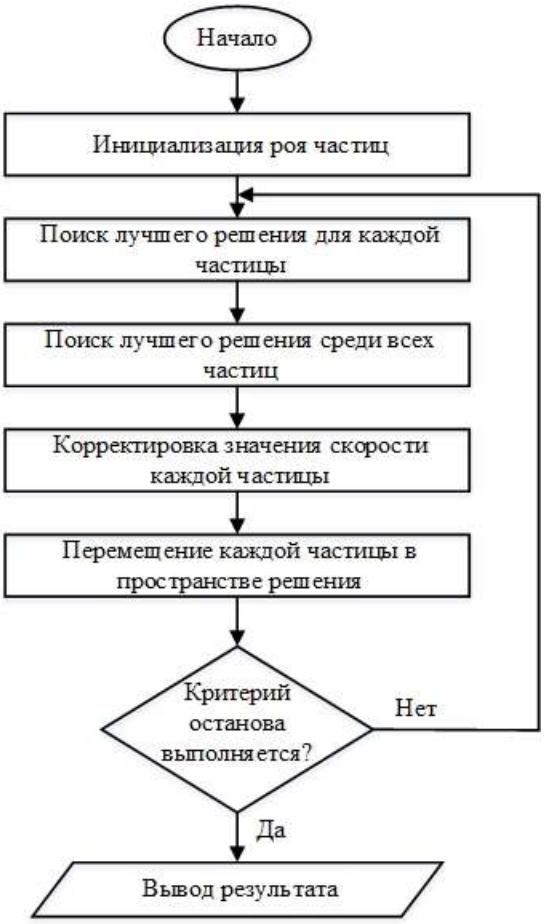


Рисунок 1 – Алгоритм работы метода роя частиц

Инициализация роя частиц подразумевает создание совокупности частиц со случайными положениями и скоростями в пространстве решения. Важнейшим шагом, влияющим на сходимость алгоритма, является корректировка значения скорости частиц:

$$v_{i,t+1} = v_{i,t} + a_1 \cdot r_p \cdot (pbest_i - x_{i,t}) + a_2 \cdot r_g \cdot (gbest_i - x_{i,t}), \qquad (1)$$

где $v_{i,t}$ – *i*-я компонента вектора скорости частицы на итерации t;

$x_{i,t}$ – координата частицы на итерации t;

r_p, r_g – независимые случайные числа, лежащие в диапазоне от 0 до 1. Необходимы для поддержания разнообразия роя;

$pbest_i$ – лучшее решение, найденное *i*-й частицей;

$gbest_i$ – лучшее из решений, найденных всеми частицами;

a_1, a_2 – коэффициенты ускорения, которые должны быть подобраны в соответствии с определенной решаемой задачей.

Включая в уравнение 1 дополнительные коэффициенты возможно получение различных модификаций данного метода.

В исследовании [3] метод внедрялся в работу системы управления, регулирующей работу модуля накопления энергии и контролирующей периоды

заряда/разряда аккумуляторной батареи. Таким образом, данный подход можно отнести к подходу связанному с оптимизацией системы управления, выделенный в работе [4].

Входными параметрами модели являлись график изменения скорости ветра, инсоляции, график электрической нагрузки рассматриваемого потребителя, а также график изменения цены электроэнергии в электрической сети, к которой подключен ГЭК. Модель была реализована при помощи программы MATLAB.

В результате авторам удалось достичь снижения счета за электроэнергию на 24,38% по сравнению с системой, функционировавшей без внедрения метода роя частиц.

В работе [5] с использованием рассматриваемого метода решалась задача оптимизации нормированной стоимости электроэнергии, вырабатываемой ГЭК, в состав, которого была включена также гидроэнергетическая установка в отличие от предыдущего исследования. При этом моделировалась ситуация, в которой к уже существующей гидроэлектростанции добавляются фотоэлектрические модули и ветрогенераторы, формируя оптимальный состав ГЭК. В качестве инструмента также использовался пакет программ MATLAB. Решение, предложенное авторами, является динамическим, поскольку оно позволяет обновлять значение стоимости электроэнергии на ежемесячной основе.

Таким образом, быстрая адаптация к изменениям, характерным для гибридных электротехнических комплексов и связанным с изменениями в окружающей среде (скорость ветра, инсоляция) и графика нагрузки, позволяет методу роя частиц быть перспективным методом оптимизации размеров ГЭК.

Задача минимизации стоимости электроэнергии решалась также в работе [7], при этом основной целью ставилось увеличение скорости работы данного алгоритма, а также уменьшение числа итераций. В результате авторам удалось достичь повышения скорости работы на 80% по сравнению с иными методами. Это было связано с тем, что в отличие от традиционного алгоритма частицы были разбиты на группы, в рамках которых осуществляется определение частицы с лучшим решением. Подобный подход обеспечил более быстрое схождение алгоритма.

Тем не менее, в ходе анализа существующих исследований было выявлено, что метод является крайне чувствительным к устанавливаемым параметрам, таким как коэффициент инерции, количество частиц в рое и коэффициенты ускорения. Поиск необходимых параметров может быть затруднительным, особенно в условиях постоянно изменяющихся величин в энергосистеме. Кроме того, было установлено, что данный метод не гарантирует нахождение глобального оптимума, а его зависимость от движения и взаимодействия частиц может привести к неоптимальным решениям. Так в работе [5] параллельно методу роя частиц применялся метод линейной оптимизации, демонстрировавший в ряде случаев лучшие результаты.

Кроме того, рассматриваемый метод имеет тенденцию к преждевременному схождению, останавливаясь на неоптимальных решениях, что в контексте определения размеров ГЭК может привести к принятию неэффективных и нерентабельных решений.

Метод роя частиц имеет множество модификаций: метод роя частиц с коэффициентом сжатия; коэффициентом отталкивания; с адаптивным коэффициентом инерции. В работе [6] все они были применены при решении задачи минимизации капитальных и операционных затрат на ГЭК, включающий в себя фотоэлектрические модули, ветрогенератор и аккумуляторные батареи, а полученные результаты были сопоставлены друг с другом. Был сделан вывод, что наиболее успешно с данной задачей справляется модификация с коэффициентом сжатия. Однако необходимо отметить, что применение данной модификации сопряжено с рядом возникающих трудностей, в частности, увеличение затрат вычислительной мощности, высокая чувствительность к начальному этапу инициализации роя частиц, а также пониженная адаптивность в задачах динамической оптимизации, где оптимальное решение меняется с течением времени. Остается также проблема, связанная с правильным подбором значений ряда коэффициентов. Все это в конечном итоге делает анализируемый метод менее привлекательным и заставляет рассматривать возможность применения иных методов, например, метода линейной оптимизации.

Таким образом, метод роя частиц может найти свое применение при решении задачи оптимизации размеров ГЭК, работающих на ВИЭ, однако необходимо учитывать ряд приведенных выше препятствий, а также требование повышения надежности при поиске оптимальных конфигураций гибридных энергетических комплексов.

Список литературы

1. Казакова, Е.М. Применение метода роя частиц в задачах оптимизации / Е.М. Казакова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – №5 (109). – С. 48-57.

2. Sinha, S. Review of recent trends in optimization techniques for solar photovoltaic–wind based hybrid energy systems / Sinha S., S.S. Chandel // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. – Vol. 50. – P. 755-769.

3. Obayyanahatti, B.G. An optimized operation of hybrid wind/battery/PV-system based micro grid by using particle swarm optimization technique / Obayyanahatti B.G. // Journal of Computational Information Systems, 2018. – P. 79-84.

4. 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.

5. Acakpovi, A. Performance analysis of particle swarm optimization approach for optimizing electricity cost from a hybrid solar, wind and hydropower plant / A. Acakpovi // International journal of renewable energy research, 2016. – Vol.6. – P.323-334.

6. Maleki , A. Scrutiny of multifarious particle swarm optimization for finding the optimal size of a PV/wind/battery hybrid system / A. Maleki, M. Ameri, F. Keynia // Renewable Energy, 2015. – №80. – P. 552-563.

7. Mohammed, O.H. Particle swarm optimization of a hybrid wind/tidal/PV/battery energy system. Application to a remote area in Bretagne, France / O.H. Mohammed, Y. Amirat, M. Benbouzid // Energy Procedia, 2019. – №162. – P. 87-96.

АНАЛИЗ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ ГОРОДОВ

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

Повышение эффективности систем энергоснабжения (СЭС) – одна из важных задач в энергетике, особенно в современных условиях развития российской экономики. Это вызвано не только необходимостью сбережения электроэнергии, но и исключения ее потерь, а также снижения аварийных ситуаций на производстве. Решение этих проблем является ключевым фактором в повышении конкурентоспособности предприятий на рынке.

В настоящее время в электроэнергетике применяются различные способы повышении эффективности энергоснабжения. В ходе исследования научно-технической литературы, посвященной развитию электроэнергетики в малых городах, были выявлены три основных способа.

К первому способу в повышении эффективности энергоснабжения относится умное управление – это концепция, основанная на применении современных технологий и интеллектуальных систем для оптимизации процессов, связанных с производством, передачей и потреблением энергии.

К достоинствам данного способа относят:

1. Снижение потребление энергии: Умное управление энергоснабжением основано на использовании больших объемов данных и аналитических алгоритмов для прогнозирования и оптимизации энергопотребления.
2. Повышенная операционная эффективность: Система может мониторить состояние сети и обнаруживать возможные проблемы, такие как перегрузки или сбои, прежде чем они приведут к непредвиденным отключениям энергии.
3. Экономия затрат.

Существуют также недостатки данного способа. К ним относят:

1. Требование установки дополнительного оборудования.
2. Нецелесообразный монтаж в малых городах.

Следующей группой выступает мониторинг и обслуживание качества электроэнергии. Это процесс систематического наблюдения и оценки качества и надежности электроснабжения. Он включает в себя сбор, анализ и интерпретацию данных о различных параметрах электроэнергетической системы, таких как частота и продолжительность перебоев электропитания, напряжение, качество электрической энергии и другие показатели.

К преимуществу данного способа является повышение надежности электроснабжения и обеспечение его непрерывности даже в случае возникновения сбоев.

А к недостатку мониторинга и обслуживания относятся:

1. Сложный монтаж: Некоторые системы мониторинга и обслуживания могут быть сложными в установке и настройке. Это требует наличия квалифицированных специалистов, которые могут правильно настроить и обслуживать оборудование. Кроме того, требуется периодическое обновление и обслуживание системы, чтобы она оставалась эффективной.
2. Сложность анализа системы.
3. Низкая производительность. Мониторинг качества электроэнергии может быть ограничен в пределах определенной территории или сегмента энергосистемы. Это означает, что некоторые области или устройства могут оставаться без должного мониторинга, что увеличивает риск возникновения проблем с качеством электроэнергии в этих местах.

Последним способом в повышении эффективности энергоснабжения является резервирование. Одним из главных преимуществ данного способа является их помощь в снижении негативных воздействий энергетического сектора на окружающую среду, а также обеспечение более эффективных использований ресурсов. Также к преимуществу данного способа можно отнести:

1. Гарантия непрерывного электроснабжения
2. Защита от потери данных
3. Экономические выгоды
4. Безопасность и комфорт: Резервирование энергии обеспечивает непрерывность энергоснабжения даже в случае отказа основных источников, а также позволяют поддерживать работу систем безопасности и важных устройств даже в экстренных ситуациях.

Недостатком же является:

1. Высокие затраты: Резервирование энергетических систем требует дополнительных инвестиций в строительство и обслуживание резервных мощностей. Это может привести к увеличению стоимости проектов и повышению энергетических тарифов для потребителей.
2. Необходимость тщательного планирования

Проведенный анализ представлен в таблице 1

Таблица 1 – Результат анализа различных способов в повышение эффективности энергоснбажения малых городов

	Способы повышения эффективности энергоснабжения	Достоинства	Недостатки	Литература
1	Умное управления	1. Снижение потребления энергии	1. Установка дополнительного	Фархаги Х. Ван Д.

		2. Повышенная операционная эффективность 3. Экономия затрат	оборудования 2. Монтаж в малых городах	
2	Мониторинг и обслуживание	Повышение надежности электроснабжения и обеспечить его непрерывность даже в случае возникновения сбоев	1. Монтаж 2. Сложность анализа 3. Низкая производительность	Никифорова В.Н. Тухас В.А.
3	Резервирование	1. Гарантия непрерывного электроснабжения 2. Защита от потери данных 3. Экономические выгоды 4. Безопасность и комфорт 5. Экологичность	1. Стоимость 2. Необходимость тщательного планирования	Ю. Е. Николаев П.П. Безруких В.И. Земсков

Проведенный анализ научно технической литературы, в области развития электроэнергетики малых городов, позволили выявить, что наиболее целесообразным способом повышении эффективности энергоснабжения является резервирование. Он подразумевает внедрение крупных источников на возобновляемых энергоресурсах, как правило, гарантирует непрерывное электроснабжение, обеспечивает защиту от потери данных, а также позволяет предоставить независимое и надежное энергоснабжение для этих объектов, уменьшая зависимость от традиционных форм энергии и способствует экономии топлива и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Список литературы

1. Веселов Ф. В., Кулагин В. А., Макарова А. С. Перспективы развития электроэнергетики мира и России с учётом влияния технологического прогресса // Вести в электроэнергетике, 2019. №4. С. 4–16.

2. Возобновляемая энергетика: защита климата и геополитика [Электр. текст]. Deutsche Welle. Режим доступа: dw.com/ru. Дата обращ.: 02.04.2020..

3. Доля возобновляемых источников энергии в производстве электроэнергии [Электр. текст]. Enerdata 2019. Режим доступа: yearbook.enerdata.ru. Дата обращ.: 08.04.2020.

4. Доля ветровой и солнечной энергии в производстве электроэнергии [Электр. текст]. Enerdata 2019. Режим доступа: yearbook.enerdata.ru. Дата обращ.: 06.04.2020.

5. Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф., Холкин Д., Дацко К. Распределённая энергетика в России: потенциал развития. — М.: Энергетический центр Московской школы управления «Сколково», 2018.87 с.
6. Шарапов В.И., Орлов М.Е., Ротов П.В. Совершенствование технологий теплоснабжения городов/ В.И. Шарапов, М.Е. Орлов, П.В. Ротов // Вестник СГТУ. – 2004. – С. 128-138,
7. Электроэнергетика: умное партнерство с потребителем : монография / Л. Д. Гительман, Л. М. Гительман, М. В. Кожевников – М.: Экономика, 2016.

АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ОДНОФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Романенко Д.В., Полуэктов Е.К.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Введение

Расчет электрических нагрузок цеха сопровождается расчетом его трехфазных и однофазных нагрузок. Последние должны быть учтены как эквивалентные трехфазные. Расчет однофазных электрических нагрузок имеет определенные особенности, которые будут изложены в данной статье.

Описание проблемы

При прохождении курса «Электроснабжение промышленных предприятий» направления подготовки 13.03.02 — «Электроэнергетика и электротехника» у студентов присутствует недостаточное понимание особенностей учета однофазной нагрузки как трехфазного электроприемника.

Предлагаемое решение проблемы

С целью углубления знаний студентов, рационализации и упрощения расчета нагрузок однофазных электроприемников при расчете электроснабжения промышленных цехов были разработаны соответствующий алгоритм расчета и его программная реализация с помощью средств Excel — таблица, принцип работы которой, а также основы взаимодействия с ней студента (далее по тексту — Пользователя) изложены в виде развернутых пояснений в практической части статьи. Итогом расчета являются значения сменных активной и реактивной мощностей эквивалентной трехфазной нагрузки и её коэффициент мощности, которые в дальнейшем могут быть использованы в расчете трехфазных нагрузок.

Практическая часть

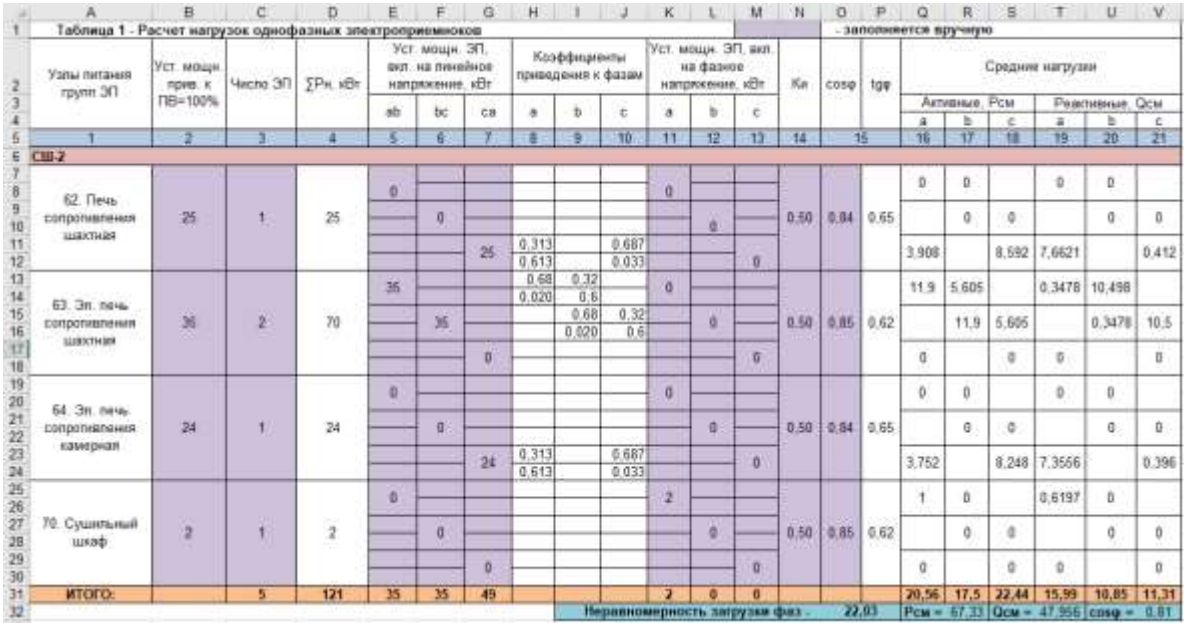


Таблица 1 - Расчет нагрузок однофазных электроприемников															- заполняется вручную							
Узлы питания групп ЭП	Уст. мощн. прив. к ПВ=100%	Число ЭП	∑Рн, кВт	Уст. мощн. ЭП, вкл. на линейное напряжение, кВт			Коэффициенты приведения к фазам			Уст. мощн. ЭП, вкл. на фазное напряжение, кВт			Ки	cosφ	tgφ	Средние нагрузки					
																Активные, Рсм			Реактивные, Qсм		
				ab	bc	ca	a	b	c	a	b	c				a	b	c	a	b	c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17	18	19	20	21
СШ-2																					
62. Печь сопротивления шахтная	25	1	25	0	0	25	0,313 0,613		0,687 0,033	0	0	0	0,50	0,84	0,65	0 0 3,908	0 0 0	 8,592	0 0 7,6621	0 0 	 0,412
63. Эл. печь сопротивления шахтная	36	2	70	35	35	0	0,68 0,020	0,32 0,6 0,68 0,020	0,32 0,6	0	0	0	0,50	0,85	0,62	11,9 0	5,605 11,9 0	 5,605 	0,3478 0	10,498 0,3478 	 10,5 0
64. Эл. печь сопротивления камерная	24	1	24	0	0	24	0,313 0,613		0,687 0,033	0	0	0	0,50	0,84	0,65	0 0 3,752	0 0 0	 8,248	0 0 7,3566	0 0 	 0,396
70. Сушильный шкаф	2	1	2	0	0	0				2	0	0	0,50	0,85	0,62	1 0	0 0 0	 0	0,6197 0	0 0 0	 0
ИТОГО:		5	121	35	35	49				2	0	0				20,56	17,5	22,44	15,99	10,85	11,31
									Неравномерность загрузки фаз -					22,03		Рсм = 67,33		Qсм = 47,956		cosφ = 0,81	

Рисунок 1 — Таблица для расчета нагрузок однофазных электроприемников

Рассмотрим структуру таблицы для расчета однофазных нагрузок, представленной на рисунке 1. В первой строке записывается название таблицы, излагающее суть этапа расчета электрических нагрузок электроприемников отделения цеха предприятия — «Таблица 1 - Расчет нагрузок однофазных электроприемников». Также указывается условное обозначение ячеек, в которые пользователь вносит исходные данные – они обозначены фиолетовым цветом. Голубым цветом обозначены номера столбцов.

Рассмотрим каждый этап расчета однофазных электроприемников в отдельности. Верхняя часть таблицы содержит описания столбцов со значениями, в обозначенные цветом ячейки которых пользователем вносятся исходные данные, далее система производит расчет автоматически с помощью средств Excel.

На рисунке 1 отображены вносимые пользователем исходные данные:

1. Номер и название узла, к которому подключается электроприемник на генплане предприятия — шинопровод или силовой шкаф, к примеру ШРА-1 или СШ-2.
2. Номер на генплане цеха и название определенного электроприемника.
3. Установленная мощность определенного электроприемника, приведенная к ПВ=100%, кВт.
4. Число электроприемников в группе.
5. Установленные мощности электроприемников, включенных на линейное, либо на фазное напряжение, кВт.

При относительно небольшой мощности (до 5 кВт) электроприемники подключаются на фазное напряжение (в этом случае при дальнейшем расчете не будут учитываться коэффициенты приведения к фазам), при больших

мощностях (свыше 5 кВт) электроприемники подключаются на линейное напряжение [1].

При подключении группы электроприемников на линейное напряжение, Пользователь должен стремиться распределить мощность электроприемников как можно более равномерно.

6. Коэффициент использования группы электроприемников.
7. Коэффициент мощности группы электроприемников.

Все остальные параметры считаются по формулам средствами Excel.

Автоматический расчет средствами Excel

В столбце 4 компьютер рассчитывает общую мощность группы электроприемников — ∑Рн, кВт;

В каждую ячейку внесены соответствующие столбцам формулы, по которым компьютер считает общую мощность группы электроприемников — ∑Рн, кВт;

$$\sum_{i=1}^{n} P_{\text{н}} = P_i \cdot n \qquad (1)$$

Далее расчет ведется по двум методикам. Первая методика предполагает, что электроприемники включены на линейное напряжение, а вторая — на фазное. Рассмотрим каждый случай в отдельности.

Методика 1 — расчет установленной мощности электроприемников, подключенных на линейное напряжение. Она подразумевает расчет коэффициентов приведения к фазам. Ниже в таблице 1 приведен подробный расчет этих коэффициентов средствами Excel с ссылками на формулы из [2].

Данный раздел таблицы разбит на 18 ячеек. В ячейки определенным образом вносятся формулы коэффициентов приведения. Рассмотрим, как заполняются ячейки в таблице Excel.

	Коэффициенты приведения к фазам		
	a	b	c
	8	9	10
1)	0	0	
2)	0,000	0	
3)		0	0
4)		0,000	0
5)	0,313		0,687
6)	0,613		0,033

Рисунок 2 — Расчет коэффициентов приведения к фазам

Так как на рисунке 2 отображен пример подключения электроприемника 62 с рисунка 1 на линейное напряжение ca, фаза b в расчете не участвует, компьютер выводит результат расчета только в ячейках фаз a и c.

Коэффициенты приведения рассчитываются для каждого линейного напряжения отдельно. Для наглядности обозначим их цветами: жёлтым для линейного напряжения ab, зеленым для напряжения bc и красным для напряжения ca. Более светлым оттенком обозначены ячейки коэффициентов приведения для расчетов активной мощности (эти строки обозначены номерами 1, 3 и 5), более темным - для реактивной (эти строки обозначены номерами 2, 4 и 6).

Рассмотрим формулы для ячеек расчета коэффициента приведения к фазам. Используем наглядную демонстрацию подставляемой формулы для ячейки H11 на рисунке 3 (верхняя левая красная ячейка на рисунке 2), которая вычисляет коэффициент приведения к фазе a для расчета активной мощности при подключении электроприемника на линейное напряжение ca.

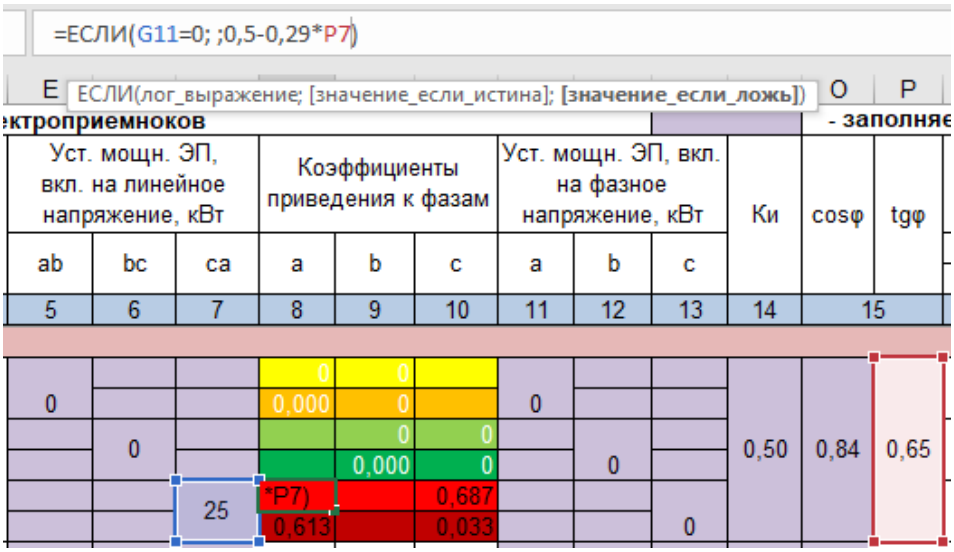


Рисунок 3 — Расчет коэффициента приведения к фазе a для расчета активной мощности

В данной ячейке внесенная пользователем установленная мощность электроприемника, включенного на линейное напряжение ca, сравнивается с 0. Возможны два случая:

1. Если пользователь ничего не вписывал в данную ячейку, то есть не подключал приемник на данное линейное напряжение, программа считает значение равным нулю и в ячейке коэффициентов приведения к фазам не выводит ничего.

2. Если пользователь вводил значение мощности, подключенной на данное линейное напряжение, как в рассмотренном примере. Рассмотрим подробнее этот конкретный случай.

Применяется следующая формула для расчета коэффициента приведения к фазе:

Для коэффициента, участвующего в расчете активной мощности:

$$p_{(ca)a} = \frac{1}{2} - \frac{\tan\varphi}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 - 0{,}29 \cdot \tan\varphi \quad (2)$$

Формула из Excel: =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5-0,29*P7)

Для коэффициента, участвующего в расчете реактивной мощности:

$$q_{(ca)a} = \frac{\tan\varphi}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 \cdot \tan\varphi + 0{,}29 \quad (3)$$

Формула из Excel: =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5*P7+0,29)

В данном случае ячейка P7 - тангенс данного электроприемника, который вычисляется с помощью значения из ячейки косинуса по следующей формуле:

Формула в математическом виде:

$$\tan\varphi = \tan\left(\cos^{-1}\varphi\right) \quad (4)$$

Формула из Excel: =TAN(ACOS(O7))

Так как сейчас рассматривается подключение электроприемника на линейное напряжение ac, ячейки для коэффициента приведения к фазе b остаются пустыми.

В ячейки коэффициента приведения к фазе c записаны следующие формулы:

Для коэффициента, участвующего в расчете активной мощности:

Формула в математическом виде:

$$p_{(ca)c} = \frac{1}{2} + \frac{\tan\varphi}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 + 0{,}29 \cdot \tan\varphi \quad (5)$$

Формула из Excel: =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5+0,29*P7)

Для коэффициента, участвующего в расчете реактивной мощности:

Формула в математическом виде:

$$q_{(ca)c} = \frac{\tan\varphi}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 \cdot \tan\varphi - 0{,}29 \quad (6)$$

Формула из Excel: =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5*P7-0,29)

По аналогии заполняются все ячейки в разделе расчета коэффициента приведения к фазам. Для удобства они сведены в таблицу 1.

Таблица 1 — Расчет коэффициентов приведения активной и реактивной составляющей однофазной нагрузки, включенной между фазами, к активной и реактивной нагрузке фаз и фазному напряжению

Название рассчитываемого коэффициента	Формула в математическом представлении	Формула для расчета в Excel
Коэффициент приведения активной составляющей однофазной нагрузки, включенной между фазами a и b, b и c, c и a к активной нагрузке фазы a, b, c и фазному напряжению Ua, Ub, Uc соответственно	$p_{(ab)a} = p_{(bc)b} = p_{(ca)c} = \frac{1}{2} + \frac{\tan\varphi}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 + 0{,}29 \cdot \tan\varphi \quad (5)$	=ЕСЛИ(E7=0; ;0,5+0,29*P7) =ЕСЛИ(F9=0; ;0,5+0,29*P7) =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5+0,29*P7)
Коэффициент приведения активной составляющей однофазной нагрузки, включенной между фазами a и b, b и c, c и a к активной нагрузке фазы b, c, a и фазному напряжению Ub, Uc, Ua соответственно	$p_{(ab)b} = p_{(bc)c} = p_{(ca)a} = \frac{1}{2} - \frac{\tan\varphi}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 - 0{,}29 \cdot \tan\varphi \quad (7)$	=ЕСЛИ(E7=0; ;0,5-0,29*P7) =ЕСЛИ(F9=0; ;0,5-0,29*P7) =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5-0,29*P7)
Коэффициент приведения реактивной составляющей однофазной нагрузки, включенной между фазами a и b, b и c, c и a к реактивной нагрузке фазы a, b, c и фазному напряжению Ua, Ub, Uc соответственно	$q_{(ab)a} = q_{(bc)b} = q_{(ca)c} = \frac{\tan\varphi}{2} - \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0{,}5 \cdot \tan\varphi - 0{,}29 \quad (6)$	=ЕСЛИ(E7=0; ;0,5*P7-0,29) =ЕСЛИ(F9=0; ;0,5*P7-0,29) =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5*P7-0,29)

Продолжение таблицы 1

Название рассчитываемого коэффициента	Формула в математическом представлении	Формула для расчета в Excel
Коэффициент приведения реактивной составляющей однофазной нагрузки, включенной между фазами a и b, b и c, c и a к реактивной нагрузке фазы b, c, a и фазному напряжению Ub, Uc, Ua соответственно	$q_{(ab)b} = q_{(bc)c} = q_{(ca)a} = \frac{\tan\varphi}{2} + \frac{1}{2\sqrt{3}} = = 0{,}5 \cdot \tan\varphi + 0{,}29 \quad (8)$	=ЕСЛИ(E7=0; ;0,5*P7+0,29) =ЕСЛИ(F9=0; ;0,5*P7+0,29) =ЕСЛИ(G11=0; ;0,5*P7+0,29)

Методика 2 подразумевает, что электроприемник подключен на фазное напряжение. В этом случае Пользователь записывает значение мощности в одну из трех ячеек в столбцах 11, 12 и 13 на рисунке 1.

Далее происходит расчет средних нагрузок группы электроприемников за наиболее загруженную смену – активной Рсм и реактивной Qсм для фаз a,b,c.

Общая структура расчета следующая: сначала программа проверяет, вводил ли Пользователь значение мощности, подключенной на фазное напряжение в столбцы 11-13.

1. Если вводил, тогда эта мощность умножается на коэффициент использования из столбца 14 и вносится в соответствующую ячейку в столбцах 16-18. Реактивная мощность находится умножением значения активной на значение тангенса из столбца 15, результаты вносятся в соответствующие ячейки столбцов 19-21.

2. Если Пользователь вводил значение мощности группы электроприемников, включенных на линейное напряжение в столбцы 5-7, тогда для нахождения активной мощности это значение умножается на соответствующий коэффициент приведения к фазам для активной мощности из столбцов 8-10, затем умножается на коэффициент использования из столбца 14, а после вносится в соответствующую ячейку столбцов 16-18. Реактивная мощность находится умножением заданного значения мощности на соответствующий коэффициент приведения к фазам для реактивной мощности из столбцов 8-10, на коэффициент использования из столбца 14, а также на значение тангенса из столбца 15.

На рисунках 4 и 5 показан принцип расчета активной и реактивной сменной мощности группы электроприемников средствами Excel.

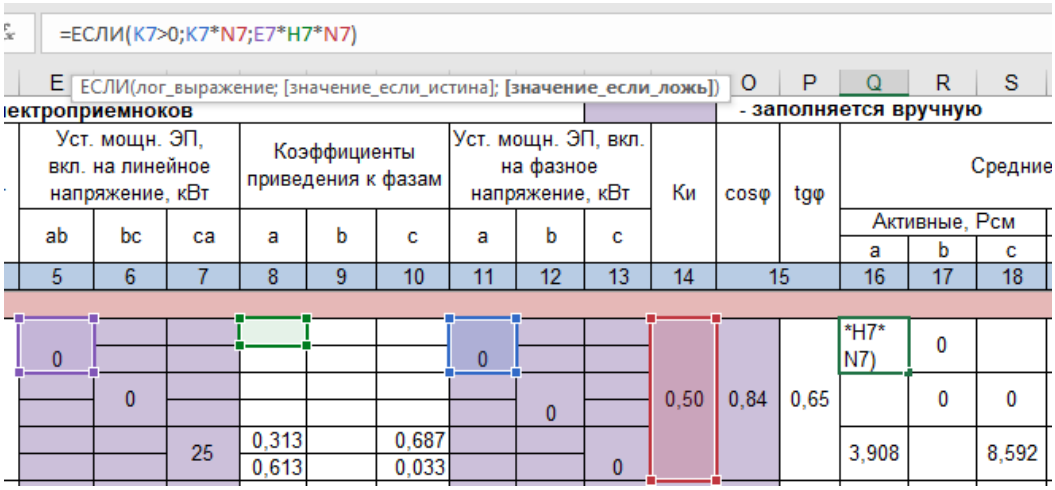


Рисунок 4 — Принцип расчета активной сменной мощности группы электроприемников

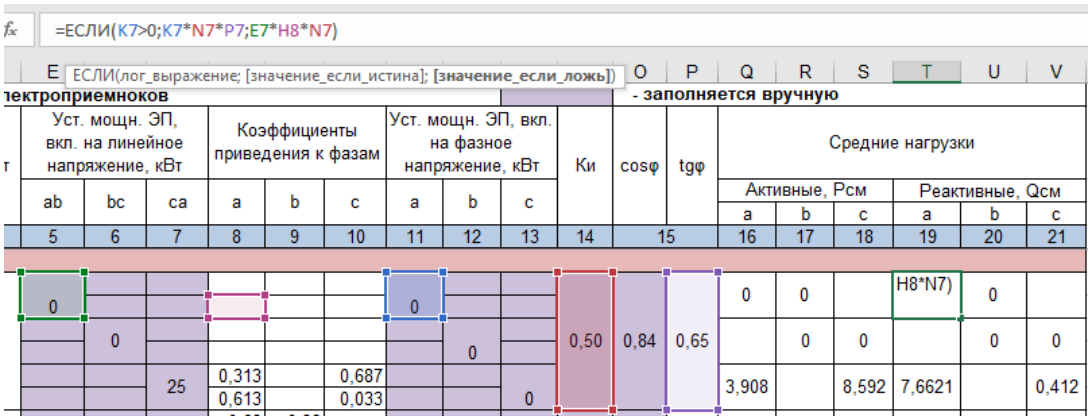


Рисунок 5 — Принцип расчета реактивной сменной мощности группы электроприемников

Важно учитывать, что по условиям работы программы группа электроприемников может быть подключена только на фазное, либо только на линейное напряжение. Если часть электроприемников предполагается подключить на фазное, а часть – на линейное напряжение, нужно разграничить их, создав новую строку в таблице и рассматривая, как отдельные группы электроприемников.

Далее вычисляется суммарная сменная мощность групп электроприемников, подключенных к узлу питания по фазам: активная и реактивная сменные мощности каждой группы ЭП складываются с мощностями других групп ЭП в соответствии с формулами 9-14.

Суммарная сменная мощность фазы а:

Активная:

$$\sum P_a = \sum P_{ab} \cdot p_{(ab)a} \cdot K_и + \sum P_{ca} \cdot p_{(ca)a} \cdot K_и + \sum P_{a0} \cdot K_и \quad (9)$$

Реактивная:

$$\sum Q_a = \sum P_{ab} \cdot q_{(ab)a} \cdot K_и + \sum P_{ca} \cdot q_{(ca)a} \cdot K_и + \sum P_{a0} \cdot \tan\varphi \cdot K_и \quad (10)$$

Суммарная сменная мощность фазы b:
Активная:

$$\sum P_b = \sum P_{bc} \cdot p_{(bc)b} \cdot K_и + \sum P_{ab} \cdot p_{(ab)b} \cdot K_и + \sum P_{b0} \cdot K_и \quad (11)$$

Реактивная:

$$\sum Q_b = \sum P_{bc} \cdot q_{(bc)b} \cdot K_и + \sum P_{ab} \cdot q_{(ab)b} \cdot K_и + \sum P_{b0} \cdot \tan\varphi \cdot K_и \quad (12)$$

Суммарная сменная мощность фазы c:
Активная:

$$\sum P_c = \sum P_{ca} \cdot p_{(ca)c} \cdot K_и + \sum P_{bc} \cdot p_{(bc)c} \cdot K_и + \sum P_{c0} \cdot K_и \quad (13)$$

Реактивная:

$$\sum Q_c = \sum P_{ca} \cdot q_{(ca)c} \cdot K_и + \sum P_{bc} \cdot q_{(bc)c} \cdot K_и + \sum P_{c0} \cdot \tan\varphi \cdot K_и \quad (14)$$

Далее таблица рассчитывает неравномерность загрузки фаз, сравнивая значения активной мощности по фазам, выбирая максимальное и минимальное значение из трех и применяя следующую формулу:

Формула в математическом виде:

$$\Delta P = \frac{P_{\text{макс ф}} - P_{\text{мин ф}}}{P_{\text{макс ф}}} \cdot 100\% \quad (15)$$

Формула для расчета средствами Excel:
=(((МАКС(Q31:S31))-(МИН(Q31:S31)))/(МАКС(Q31:S31)))*100

Затем вычисляются эквивалентные трехфазные сменные активная и реактивная мощности групп электроприемников, подключенных к узлу питания. При неравномерности загрузки фаз менее 15% сменные мощности всех фаз складываются и учитываются как эквивалентная трехфазная нагрузка той же суммарной мощности. В случае, если неравномерность загрузки фаз

превышает 15%, максимальная из сменных мощностей фаз умножается на 3 и принимается эквивалентной трехфазной нагрузкой той же мощности [2].

Формула в математическом виде:

1. Случай, когда неравномерность загрузки фаз меньше 15%:

$$P_{\text{см.у}} = P_{\text{см}(a)} + P_{\text{см}(b)} + P_{\text{см}(c)} \quad (16)$$

$$Q_{\text{см.у}} = Q_{\text{см}(a)} + Q_{\text{см}(b)} + Q_{\text{см}(c)} \quad (17)$$

2. Случай, когда неравномерность загрузки фаз больше 15%:

$$P_{\text{см.у}} = 3 \cdot P_{\text{см.макс}} \quad (18)$$

$$Q_{\text{см.у}} = 3 \cdot Q_{\text{см.макс}} \quad (19)$$

Формула для расчета средствами Excel:
=ЕСЛИ(O32>15;3*МАКС(Q31:S31);СУММ(Q31:S31))

Далее вычисляется общий косинус однофазной нагрузки, подключенной к данному узлу питания, как эквивалентной трехфазной:

Формула в математическом виде:

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{см.у}}}{\sqrt{P_{\text{см.у}}{}^2 + Q_{\text{см.у}}{}^2}} \quad (12)$$

Формула для расчета средствами Excel:
=R32/КОРЕНЬ(R32*R32+T32*T32)

Рсм = 67,33	Qсм = 47,956	cosφ = 0,81

Рисунок 6 — Итоги расчета эквивалентной трехфазной нагрузки

Итогом расчета являются приведенные на рисунке 6 значения сменных активной и реактивной мощностей эквивалентной трехфазной нагрузки и её коэффициент мощности, которые в дальнейшем могут быть использованы в расчете трехфазных нагрузок.

Заключение

В данной статье были рассмотрены особенности учета однофазных нагрузок электроприемников как эквивалентных трехфазных при расчете

электроснабжения промышленных предприятий, приведены развернутые объяснения принципов ведения данного расчета в таблице с помощью средств Excel.

Список литературы

1 Лекции по электроснабжению: учебное пособие. / В.Б. Шлейников; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2022. – 101 с.

2 Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский , Г. М. Каялов , П. Н. Клейн , Б. С. Мешель - М. -Л.: Энергия, 1964. - 154 с

СПОСОБ РАСШИРЕНИЯ РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ ИЗМЕРИТЕЛЯ АЧХ

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

В [1] отмечено, что основными недостатками измерителей амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) электронных устройств являются высокая стоимость и ограниченный рабочий диапазон частот. Например, цена современного измерителя АЧХ АКИП-4601 превышает 300 тысяч рублей. Рабочий диапазон частот составляет от 20 Гц до 140 МГц, что ограничивает его применение при проверке современных электронных устройств, используемых в более высоком диапазоне частот.

С целью снижения стоимости измерителя АЧХ в [1] предложено упростить его функциональную схему за счет замены операции нахождения отношения амплитуд напряжений на выходе и входе исследуемого электронного устройства операцией вычитания натуральных логарифмов амплитуд указанных напряжений с последующим применением к полученному результату обратной (экспоненциальной функции):

$$K(\omega)=\frac{U_{m\,вых}(\omega)}{U_{m\,вх}(\omega)}=\exp\left\{\ln\left[U_{m\,вых}(\omega)\right]-\ln\left[U_{m\,вх}(\omega)\right]\right\}. \qquad (1)$$

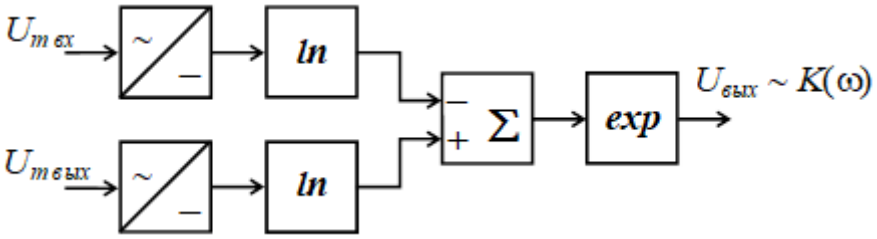
Выражение (1) может быть реализовано с помощью схемы на операционных усилителях (ОУ). Но типовые значения частоты единичного усиления операционных усилителей составляют единицы мегагерц, что не позволяет использовать ОУ в высокочастотных устройствах. В то же время выражение для модуля комплексного коэффициента передачи устройства (описывающее его АЧХ) можно записать следующим образом

$$K(\omega)=\left|\dot{K}(\omega)\right|=\frac{U_{m\,вых}(\omega)}{U_{m\,вх}(\omega)}=\frac{U_{вых}(\omega)}{U_{вх}(\omega)}=\frac{U_{ср\,вых}(\omega)}{U_{ср\,вх}(\omega)}, \qquad (2)$$

где $U_{m\,вых}$, $U_{вых}$, $U_{ср\,вых}$ – амплитуда, среднеквадратичное и средневыпрямленное значения напряжения на выходе устройства соответственно;

$U_{m\,вх}$, $U_{вх}$, $U_{ср\,вх}$ – амплитуда, среднеквадратичное и средневыпрямленное значения напряжения на входе устройства соответственно.

С учетом (2), с целью расширения рабочего диапазона частот измерителя, реализованного на ОУ, на входы устройства следует подавать средневыпрямленные значения напряжений, присутствующих на входе и



выходе исследуемого электронного устройства. В этом случае функциональная схема измерителя АЧХ примет вид, представленный на рисунке 1.

Рисунок 1 – Функциональная схема измерителя АЧХ

Гармонические колебания с амплитудами $U_{m\,вх}$ и $U_{m\,вых}$ подают на входы преобразователей переменного напряжения в постоянное, на выходах которых формируются средневыпрямленные значения (постоянные составляющие) этих напряжений (рисунок 2):

$$U_{ср\,вх}(\omega) = \frac{2U_{m\,вх}(\omega)}{\pi}, \tag{3}$$

$$U_{ср\,вых}(\omega) = \frac{2U_{m\,вых}(\omega)}{\pi}. \tag{4}$$

Далее выполняются функциональные преобразования постоянных напряжений в соответствии с выражением (1). На выходе измерителя АЧХ (рисунок 1) формируется напряжение, численно равное отношению напряжений $U_{ср\ вых}$ и $U_{ср\ вх}$ (то есть значению коэффициента передачи исследуемого устройства на заданной частоте ω).

Известны схемы логарифмирующего и антилогарифмирующего усилителей на ОУ [2, 3]. Для реализации указанных функциональных преобразователей напряжений в цепь отрицательной обратной связи схемы на ОУ включают *p-n*-переход диода или переход эмиттер-база биполярного транзистора [2, 3]. На рисунке 2 представлена схема, реализующая выражение (1), в которой логарифмирующий и антилогарифмирующий усилители выполнены с использованием полупроводниковых диодов.

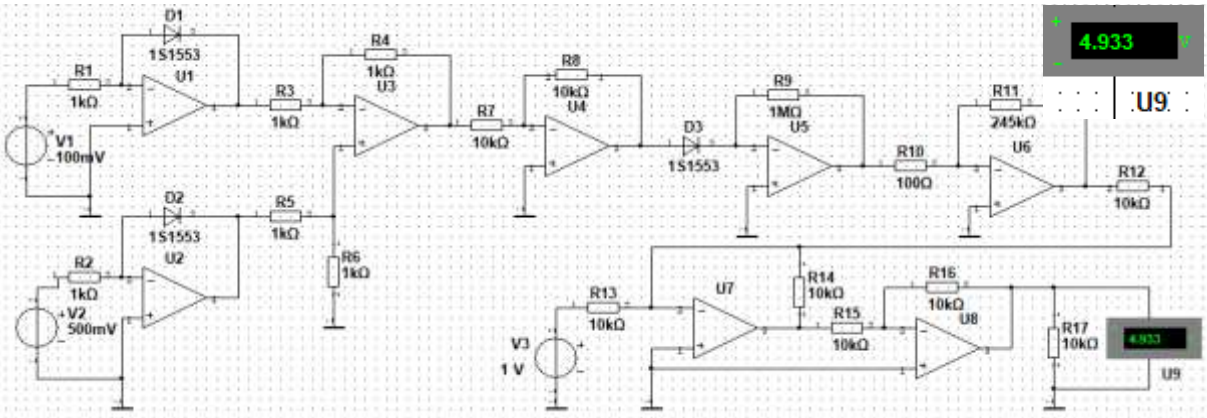


Рисунок 2 – Схема устройства, вычисляющего результат деления двух напряжений

Проведем анализ работы схемы, изображенной на рисунке 2. Логарифмирующие усилители выполнены на ОУ *U1* и *U2*. Напряжения на их выходах связаны с напряжениями на входах выражениями:

$$u_{U1} = -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{V1}}{I_{OD1}R_1} + 1\right), \tag{5}$$

$$u_{U2} = -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{V2}}{I_{OD2}R_2} + 1\right), \tag{6}$$

где $\varphi_T = \frac{kT}{e}$ – температурный потенциал;

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ – постоянная Больцмана;

T – абсолютная температура, К;

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ – заряд электрона;

I_{OD1}, I_{OD2} – обратный ток диодов *D1* и *D2* соответственно;

U_{V1}, U_{V2} – средневыпрямленные значения напряжений с входа и выхода исследуемого электронного устройства соответственно.

Если выполняются условия $U_{V1} >> I_{OD1}R_1$, $U_{V2} >> I_{OD2}R_2$, $I_{OD1} = I_{OD2} = I_{OD}$ и $R_1 = R_2 = R$, то выражения (5) и (6) можно привести к виду:

$$u_{U1} \approx -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{V1}}{I_{OD}R}\right), \tag{7}$$

$$u_{U2} \approx -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{V2}}{I_{OD}R}\right). \tag{8}$$

При выполнении условия *R3 = R4 = R5 = R6* напряжение на выходе ОУ *U3* равно разности напряжений

$$u_{U3} = u_{U2} - u_{U1} \approx -\varphi_T \left[\ln\left(\frac{U_{V2}}{I_{OD}R}\right) - \ln\left(\frac{U_{V1}}{I_{OD}R}\right)\right] = -\varphi_T \ln\left(\frac{U_{V2}}{U_{V1}}\right). \tag{9}$$

ОУ *U4* используется для изменения полярности напряжения u_{U3}. Следовательно, напряжение на выходе ОУ *U4* равно:

$$u_{U4} = \varphi_T \ln\left(\frac{U_{V2}}{U_{V1}}\right). \tag{10}$$

Напряжение на выходе антилогарифмирующего усилителя (выполнен на ОУ *U5*) определяется по формуле

$$u_{U5} = -I_{OD3}R_9 \cdot \left(e^{\frac{u_{U4}}{\varphi_T}} - 1 \right) = -I_{OD3}R_9 \cdot \left(\frac{U_{V2}}{U_{V1}} - 1 \right). \quad (11)$$

Коэффициент передачи инвертирующего усилителя на ОУ *U6* выбран равным

$$K_{U6} = -\frac{R_{11}}{R_{10}} = -\frac{1}{I_{OD3}R_9}, \quad (12)$$

благодаря чему

$$u_{U6} = \frac{U_{V2}}{U_{V1}} - 1. \quad (13)$$

На инвертирующем сумматоре (ОУ *U7*) реализована операция:

$$u_{U7} = -\left(u_{U6} + 1\right) = -\left(\frac{U_{V2}}{U_{V1}} - 1 + 1 \right) = -\frac{U_{V2}}{U_{V1}}. \quad (14)$$

И, окончательно, после инвертирования с помощью каскада на ОУ *U8* получаем:

$$u_{U8} = -u_{U7} = \frac{U_{V2}}{U_{V1}}. \quad (15)$$

В таблице 1 приведены результаты моделирования функционирования устройства, схема которого представлена на рисунке 2, в среде Multisim.

Таблица 1 – Результаты исследования работы схемы (рисунок 2)

U_{V1}, В	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
U_{V2}, В	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K_U	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
u_{U8}, В	1	1,971	2,951	3,938	4,933	5,937	6,948	7,968	8,996	10,03
δ,%	0	1,4	1,6	1,5	1,3	1,1	0,7	0,4	0,04	0,3

Как видно из таблицы 1, для выбранного диапазона значений напряжений на входе устройства (сотни милливольт), относительная погрешность вычисления результата деления двух напряжений не превышает 2%. Таким образом, устройство, схема которого представлена на рисунке 2, может быть использовано в измерителях АЧХ в качестве функционального узла, предназначенного для вычисления результата деления напряжений,

присутствующих на выходе и входе исследуемого электронного устройства. Благодаря использованию преобразователей переменного напряжения в постоянное (рисунок 1), рабочий диапазон частот устройства зависит только от частотных свойств полупроводниковых диодов, используемых в преобразователях. С учетом этого верхняя граничная частота рабочего диапазона частот может составлять единицы – десятки гигагерц.

Погрешность вычисления отношения напряжений с помощью предложенного устройства зависит, в первую очередь, от погрешностей, вносимых логарифмирующими и антилогарифмирующим усилителями. Некоторые рекомендации по уменьшению погрешностей логарифмирующих усилителей приведены в [3].

Список литературы

1 Сильвашко, С. А. Применение функциональных преобразователей на ОУ в средствах измерения / С. А. Сильвашко // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2023. – С. 200 – 203. – ISBN 978-5-7410-3164-3.

2 Булатов, В. Н. Основы электроники и электронных устройств [Электронный ресурс] : учебник для обуч. по образов. программам высш. образов. по направл. подгот. 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств и 11.03.04 Электроника и наноэлектроника / В. Н. Булатов, С. А. Сильвашко. – Оренбург : ОГУ. – 2020. – 733 с. – ISBN 978-5-7410-2459-1.

3 Гусев, В. Г. Электроника : учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 2-е изд., перераб и доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 622 с. – ISBN 5-06-000681-6.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА

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

Долгосрочные прогнозы энергопотребления являются важным этапом при разработке программ и стратегий развития энергетики на уровне страны и регионов. Суммарное энергопотребление населения России за последние десять лет практически не изменилось при росте использования электроэнергии на 30%. В соответствии со ст.11 Федерального закона от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» здания, строения, сооружения, за исключением указанных в части 5 настоящей статьи зданий, строений, сооружений, должны соответствовать требованиям энергетической эффективности, установленным уполномоченным федеральным органом исполнительной власти в соответствии с правилами, утвержденными Правительством Российской Федерации. Правительство Российской Федерации вправе установить в указанных правилах первоочередные требования энергетической эффективности.

На основании ряда проведенных исследований представлены результаты, которые позволяют экономить энергию и проблемы, связанные с тепловым комфортом и качеством воздуха. Проводили анализ путем сравнения двух систем вентиляции.

Традиционная централизованная система, которая используется в большинстве плавательных бассейнов, но современным решением является - децентрализованная система, содержащая ряд решений для улучшения условий в зале бассейна с точки зрения энергопотребления, теплового комфорта и качества воздуха. Ранее проведенные исследования включали различные явления, происходящие в плавательных бассейнах, но не давали четкого представления о потенциальных связях между ними.

Предлагаем комплексное решение, сочетающее в себе лучшие элементы, упомянутые выше:

1. Зонирование вентиляционной системы с раздельным регулированием параметров воздуха: для зоны пловцов, зоны зрителей и сотрудников, ограждающего бассейна.
2. Использование вентиляционных установок, оснащенных трехступенчатой рекуперацией тепла, включающих: тепловой насос, теплообменник и двойную рециркуляцию воздуха, воздушный конденсатор в качестве

основы для нагрева воздуха и дополнительный водяной конденсатор, обеспечивающий теплоотдачу для нагрева воды.

3. Защита ограждающих конструкций здания от конденсации влаги с помощью отдельной системы вентиляции, которая экономит энергию, так как циркулирующий воздух используется только для этой цели.

Схема предлагаемой децентрализованной системы вентиляции с системой распределения воздуха и приточно-вытяжной установки бассейна с тепловым насосом представлена на рис.1.

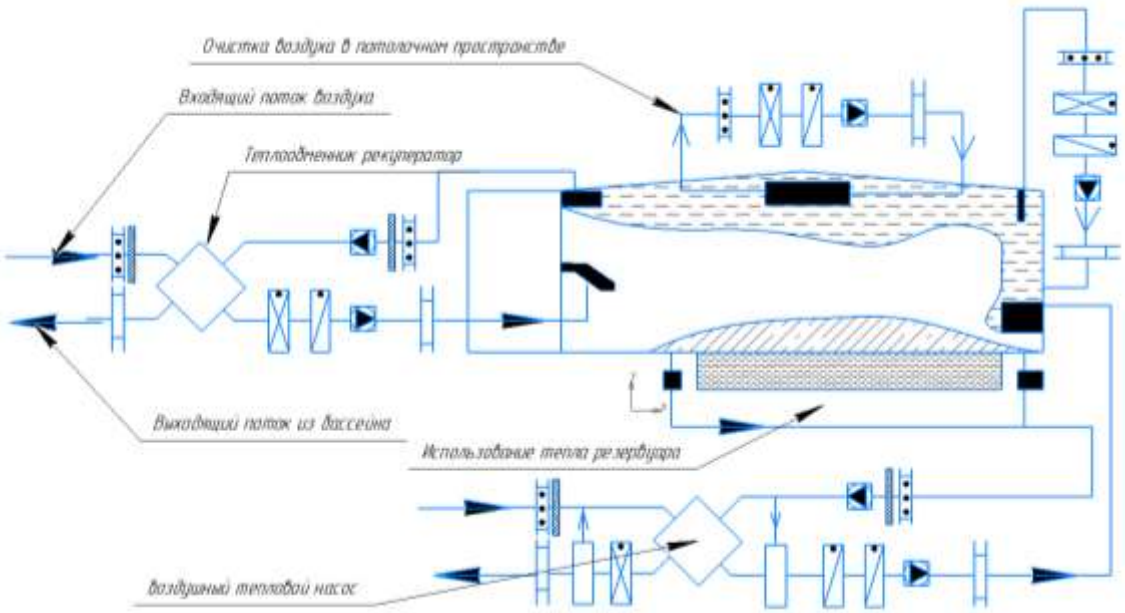


Рисунок 1 – Схема предлагаемой децентрализованной системы вентиляции

Применение данных элементов обеспечивает стратегию снижения энергопотребления за счет:

- экономии электроэнергии за счет обеспечения правильной температуры приточного воздуха, обусловленной тепловым и влажностным балансом бассейновой зоны, а не необходимостью покрытия тепловых потерь всего зала, как это происходит в большинстве бассейнов;

- экономии электроэнергии за счет разделения вентиляционных установок (основного и опорного блоков - оконных ограждений) и адекватного регулирования их работы;

- децентрализованная система распределения воздуха, то есть подача свежего воздуха в зону, занятую людьми, и удаление побочных продуктов, появляющихся в воздухе по месту их происхождения (от обеззараживания воды), в конечном итоге обеспечит надлежащие условия для здоровья пользователей;

- новый алгоритм управления подготовкой воздуха, основанный на изменении процентного содержания наружного воздуха, позволяет

использовать достаточное количество наружного воздуха при работе бассейна и отсутствие наружного воздуха при закрытом бассейне. Чем меньше холодного воздуха снаружи зимой, тем меньше тепла требуется для подготовки приточного воздуха.

Предлагаем разделить бассейн на разные зоны, а также провести комплексный анализ потребления тепловой и электрической энергии вентиляционной системой в соответствии с предложенным алгоритмом управления агрегатом, используя климатические данные для Оренбургской области.

Если объект оборудован децентрализованной системой, то бассейн разделяется на зоны, т.е. пространства, характеризующиеся разными требованиями по параметрам воздуха (температуре и относительной влажности):

Зона бассейна – занятая зона, где должен быть обеспечен тепловой комфорт пользователей. В эту зону должен подаваться наружный воздух. В этой зоне расположен бассейн бассейна, поэтому прирост влаги, образующийся в этой зоне, и летучие соединения хлора (побочные продукты обеззараживания воды в бассейне) должны быть удалены отсюда. Это может быть достигнуто с помощью правильной системы распределения воздуха, показанной на рис. 1

Зона внешней перегородки – пространство рядом с внешними перегородками бассейна, которое необходимо защитить от конденсации влаги. Использование модулей внутренней рециркуляции для защиты перегородок требует осушения воздуха, поступающего из зала бассейна.

Зона аудитории - зона аудитории должна быть разделена, потому что люди в аудитории одеты, поэтому их чувство комфорта отличается от ощущения комфорта у пловцов.

В противовес этой децентрализации вентиляционной системы для бассейна выступает традиционная (централизованная) система вентиляции. Он состоит только из одной приточно-вытяжной установки, которая покрывает потребность в тепле для всего зала и должна работать постоянно круглый год, в то время как в случае децентрализованной системы каждая установка может работать только при необходимости.

На рис.2 представлена технологическая схема расчетов по предложенной методике, включая расчеты температуры подаваемого воздуха, основанные на допущениях по тепловлажностному балансу и переходу к расчету относительно вентиляционной установки.

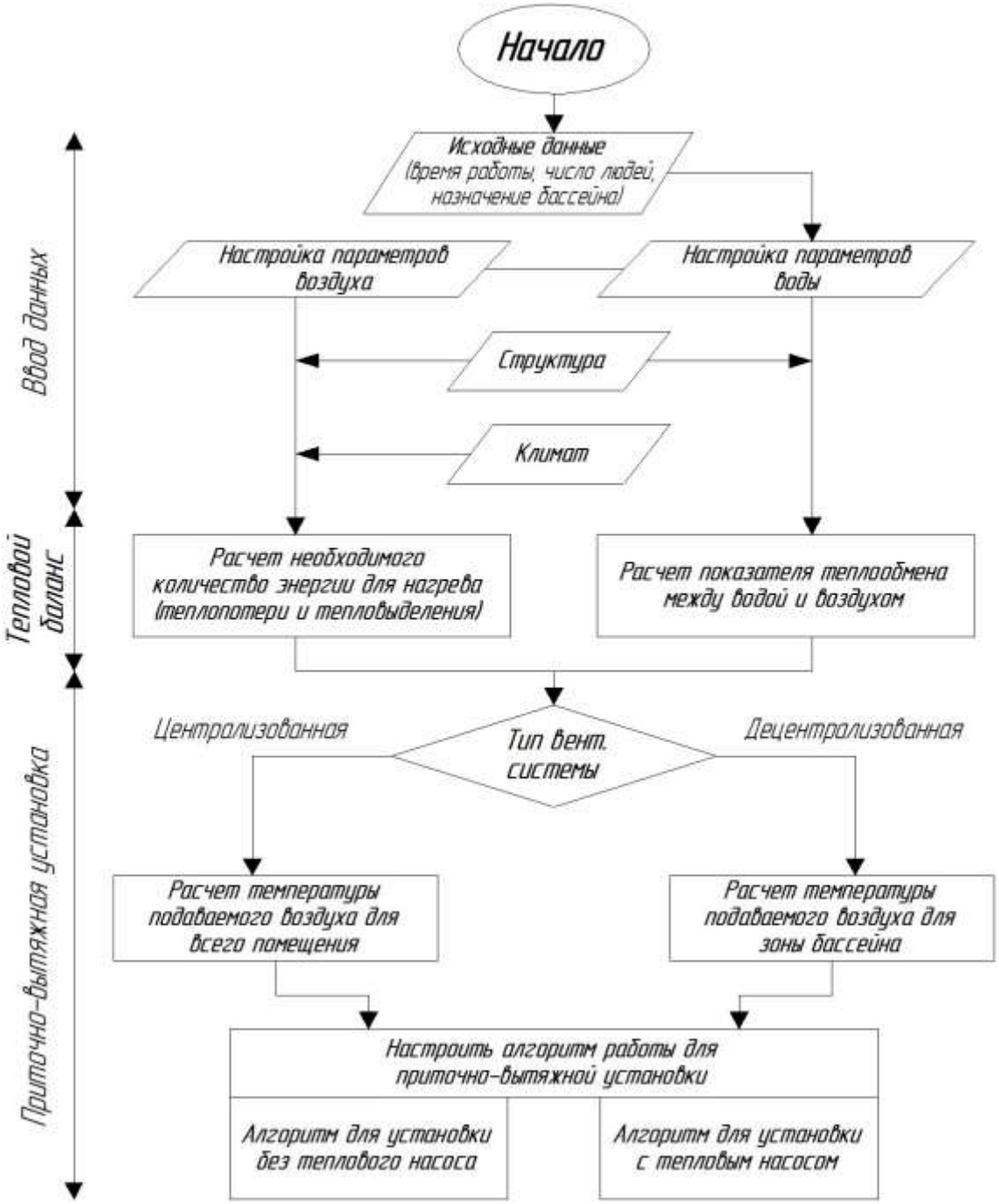


Рисунок 2 – Расчетная модель, используемая для анализа

Итак, нами был рассмотрен новый, комплексный подход к проектированию вентиляционной системы бассейна. Она предусматривает децентрализацию вентиляционной системы, использование вентиляционной установки с трехступенчатой рекуперацией тепла и двойным конденсатором, а также алгоритм расчетов параметров воздуха на основе изменяющегося количества наружного воздуха, установлено, что:

- зонирование вентиляционной системы позволяет раздельно регулировать параметры воздуха: для зоны пловцов и в остальном объеме помещения бассейна;

- экономия энергии в результате децентрализации системы вентиляции крытого бассейна может достигать 30% при использовании агрегата без теплового насоса и 40% при оснащении вентиляционной установки тепловым воздушным насосом.

- снижение тепла в результате децентрализации системы вентиляции для блоков без теплового насоса составляет 13%, а для блоков с тепловым насосом - на 20%.

Список литературы:

1. Соколов, В. Ю. Проект ЦТП предназначенного для рационального и экономичного распределения тепловой энергии в системах отопления, горячего водоснабжения, вентиляции производственных и административно-бытовых зданий [Электронный ресурс] / В. Ю. Соколов, Е. Г. Васянин, А. П. Козловцев // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), Оренбург, 26-27 янв. 2022 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Пыхтин. - Оренбург : ОГУ,2022. - . - С. 1180-1184. - 5 с.

2.Энергосбережение в системах жизнеобеспечения: учебное пособие / В.Ю. Соколов, С.В. Митрофанов, А.В. Садчиков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 200 с.

3. http://www.vavilonn.ru/tehnologii-sberezhenija-jenergozatrat-v-bassejne.php Технологии сбережения энергозатрат в бассейне

4. https: //calculators.vip/ru/kalkulyator-rascheta-podogreva-basse / Калькулятор расчета подогрева бассейна

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, Соломко П.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В важнейшие функции, выполняемые релейной защитой и автоматикой (РЗА), входит предотвращение негативных последствий коротких замыканий и иных ненормальных режимов работы электрической сети. В виду этого корректный выбор устройств РЗА обеспечивает устойчивое функционирование электрической сети [1].

Выбор устройств релейной защиты и автоматики происходит в несколько этапов. На первом этапе, на основании исходных данных защищаемого объекта и краткой характеристики электрической сети, в которой он установлен, производится предварительный выбор необходимых устройств РЗА. Затем, опираясь на расчетные параметры и стоимость устройств, принимается решение о том, какие устройства РЗА будут установлены [2].

Однако, если на указанных этапах выбора устройств РЗА возникает неопределенность, например, в исходных данных для расчета, то в процессе принятия решения о целесообразном оборудовании следует использовать соответствующие методы.

В решении вопроса корректного выбора устройств РЗА в условиях неопределенности могут быть использованы различные методы, анализ которых позволил условно разделить их на три группы.

К первой группе отнесены классические методы однокритериального выбора такие как: метод Лапласа, метод Вальда, метод Сэвиджа и метод Гурвица [3, 4]. Нижеприведенные математические модели методов записаны для минимизируемого критерия принятия решения.

В основе метода Лапласа лежит предположение, что каждый из представленных вариантов не более вероятен, чем другой, и тогда выбор следует осуществлять по минимуму средневзвешенного показателя риска:

$$a^* = \min_{a_i} \left\{ \frac{1}{n} \sum_{n} f_{ni} \right\} \quad (1)$$

где a_i – альтернативы (возможные варианты решения);

f_{ni} – оценочный функционал в виде критерия принятия решения;

n – количество состояний внешней среды.

Согласно критерию Вальда, вариант с максимальным выигрышем из всех минимальных при различных вариантах условий (состояний внешней среды) окажется самым благоприятным:

$$a^* = \min_{a_i} \max_{\Theta_n} \{f_{ni}\} \tag{2}$$

где Θ_n – возможные состояния среды (система параметров, влияющих на исход решения;

Метод Сэвиджа используется для предотвращения большой степени риска при любых условиях. Сущность метода заключается в применении минимаксного критерия к матрице риска:

$$a^* = \min_{a_i} R_i^{max} = \min_{a_i} \max_{\Theta_n} \{R_{ni}\} \tag{3}$$

где R_i – матрица риска.

$$R_{ni} = \begin{cases} f_{ni} - \min\limits_{k} \{f_{nk}\}, & \text{если } f \to \min \\ \max\limits_{k} \{f_{nk}\} - f_{ni}, & \text{если } f \to \max \end{cases} \tag{4}$$

Согласно методу Гурвица, решение необходимо принимать, ориентируясь не только на благоприятные, но и на неблагоприятные возможные внешние условия. Для этих целей задается субъективная оценка возможных неблагоприятных внешних условий, так называемый «коэффициент пессимизма» α – число в диапазоне от 0 до 1. При принятии решений в области энергетики рекомендуется выбирать значения коэффициента Гурвица в диапазоне $0{,}5 < \alpha < 1$.

Выбор наилучшего варианта осуществляется по следующему выражению:

$$a^* = \min_{a_i} \left[\alpha \max_{\Theta_n} f_{ni} + (1 - \alpha) \min_{\Theta_n} f_{ni} \right] \tag{5}$$

где α – коэффициент пессимизма Гурвица.

Вышеперечисленные методы отлично подходят для решения задач в условиях неопределенности, основной причиной которой является недостаток исходной информации. Однако, основным недостатком этих методов является их применимость только для однокритериального выбора.

Ко второй группе отнесены методы экспертного оценивания, суть которых сводится к опросу специалистов-экспертов и последующей обработки их мнений [3,5].

Экспертные оценки можно разделить на две группы:

1) Индивидуальные оценки, которые основаны на использовании мнений независимых друг от друга экспертов.

2) Коллективные оценки, основанные на использовании коллективного мнения экспертов.

Наиболее распространены следующие методы экспертных оценок:

1) Метод непосредственного оценивания – это метод, основанный на разделении диапазона изменения какой-либо количественной переменной на несколько интервалов. Каждому интервалу присваивается определенная оценка в баллах, например, от 0 до 10.

2) Метод парных (бинарных) сравнений. Сущность метода заключается в последовательном попарном сравнении объектов, после чего эксперт выносит решение в пользу одного из них или же заключение об их равноправности [5].

3) Метод ранжирования предполагает расположение экспертом вариантов в приоритетном порядке, в зависимости от их свойств.

К недостаткам методов экспертного оценивания следует отнести субъективизм, так как достоверность и надежность принятия решения зависят от компетентности и квалификации специалистов-экспертов. Указанный недостаток может быть сведен к минимуму посредством привлечения большего числа компетентных экспертов. Однако, это в свою очередь может сказаться на увеличении сложности и трудоемкости проведения процедуры опроса и дальнейшей обработки полученных результатов.

К третьей группе методов принятия решения в условиях неопределенности отнесены методы, использующие теорию нечетких множеств (ТНМ). ТНМ основана на анализе неопределенных данных, в которых описание неопределенностей реальных явлений и процессов проводится с помощью понятия о множествах без четких границ [3, 6].

Под нечетким множеством A понимается совокупность упорядоченных пар, составленных из элементов x универсального множества X и соответствующих степеней принадлежности $\mu_A(x)$:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (6)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности (ФП), принимающая значения в интервале [0, 1] и указывающая степень принадлежности элемента *x* нечеткому множеству *A*.

Использование ТМН в задачах принятия решений в условиях неопределенности сводится выбору альтернатив, удовлетворяющих всем заданным критериям со значениями функций принадлежности, находящимися в установленных экспертами пределах.

В многокритериальных задачах принятия решений, частные критерии $C\{c_1, c_2, \dots, c_k\}$, после соответствующей обработки могут быть интерпретированы как функции принадлежности. Для этих целей используют один из способов [7]:

$$\mu_{R_k} = \frac{c_i - c_{min}}{c_{max} - c_{min}} \tag{7}$$

$$\mu_{R_k} = \frac{c_{max} - c_i}{c_{max} - c_{min}} \tag{8}$$

$$\mu_{R_k} = \frac{c_i}{c_{max}} \tag{9}$$

$$\mu_{R_k} = \frac{c_{min}}{c_i} \tag{10}$$

Выражения (7) и (9) применяются, когда частные критерии должны стремиться к максимуму. Если же частные критерии должны быть минимизированы, то необходимо использовать выражения (8) или (10).

Многокритериальный выбор альтернатив с применением ТНМ может быть реализован на основе пересечения нечетких множеств, либо на основе нечеткого отношения предпочтений [7-9].

Согласно первому способу наилучшая альтернатива a^* из множества допустимых $A=\{a_1,a_2,\dots,a_j,\dots,a_m\}$ по сформированным критериям принятия решения $C=\{c_1,c_2,\dots,c_i,\dots,c_n\}$ определятся пересечением нечетких множеств всех критериев [7]:

$$D = C_1 \cap C_1 \cap \dots \cap C_n \tag{11}$$

Операция пересечения может быть реализована посредством нахождения минимума:

$$\mu_D(a_j) = \min_{i=1,..,n} \mu_{C_i}(a_j), \qquad j = 1, \dots, m \tag{12}$$

Наилучшей альтернативой считается a^*, с максимальным значением функции принадлежности:

$$\mu_D(a^*) = \max_{i=1,..,n} \mu_D(a_j) \tag{13}$$

В выборе наилучшего решения на основе нечеткого отношения предпочтений на первом этапе осуществляется попарное сравнение альтернатив $A=\{a_1,a_2,\dots,a_j,\dots,a_m\}$ по каждому критерию $C=\{c_1,c_2,\dots,c_i,\dots,c_n\}$, информация о котором вносится в m отношений предпочтения R_j. Таким образом, задача сводится к выбору наилучшей альтернативы из множества $\{A,R_1,\dots,R_m\}$.

Поиск решения состоит из последовательного выполнения следующих операционных действий [7]:

1) Построение нечеткого отношения Q_1, являющегося пересечением исходных отношений предпочтения:

$$\mu_{Q_1}(a,b) = \min(\mu_{R_1}(a,b), \dots, \mu_{R_m}(a,b)) \tag{14}$$

2) Определение нечеткого подмножества недоминируемых альтернатив в множестве (A,μ_{Q_1}):

$$\mu_{Q_1}^{\text{нд}}(a) = 1 \sim \sup_{b \in A}(\mu_{Q_1}(b,a) - \mu_{Q_1}(a,b)) \tag{15}$$

3) Построение нечеткого отношения Q_2:

$$\mu_{Q_2}(a,b) = \sum_{j=1}^{m} w_j \, \mu_{R_j}(a,b) \tag{16}$$

где w_j – коэффициент относительной важности j-го критерия принятия решения.

4) Определение нечеткого подмножества недоминируемых альтернатив в множестве (A,μ_{Q_2}):

$$\mu_{Q_2}^{\text{нд}}(a) = 1 \sim \sup_{b \in A}(\mu_{Q_2}(b,a) - \mu_{Q_2}(a,b)) \quad (17)$$

5) Определение пересечения множеств: $\mu_{Q_1}^{\text{нд}}$ и $\mu_{Q_2}^{\text{нд}}$:

$$\mu^{\text{нд}}(a) = \min(\mu_{Q_1}^{\text{нд}}(a), \mu_{Q_2}^{\text{нд}}(a)) \quad (18)$$

6) Формирование множества недоминируемых альтернатив:

$$A^{\text{нд}} = \left\{a' | a' \in A, \mu^{\text{нд}}(a') = \sup_{a \in A} \mu^{\text{нд}}(a))\right\} \quad (19)$$

7) Выбор наилучшей альтернативы из множества $A^{\text{нд}}$.

Достоинствами методов, использующих ТНМ являются: возможность использования качественного и количественного типа исходных данных; построение моделей, приближенных к естественным рассуждениям специалистов; высокая устойчивость при действии на систему всевозможных возмущений; возможность использования при многокритериальном выборе.

К недостаткам следует отнести: невозможность обучения нечетких систем; отсутствие их математического анализа существующими методами; отсутствие стандарта написания методики нечетких систем.

Сравнительный анализ всех рассмотренных групп методов принятия решений в условиях неопределенности представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки методов выбора в условиях неопределенности

	Методы	Достоинства	Недостатки	Примеры решенных задач
1	Классические однокритериальные методы	- относительная простота реализации.	- применяются для однокритериального выбора.	- выбор оптимального варианта развития электрической сети (Л.А. Семенова, И.Д. Вороньжев, Д.В. Сазонов)
2	Методы экспертного оценивания	- получение количественных оценок в случаях, когда нет статистики или показатель имеет качественную природу.	- достоверность и надежность зависят от компетентности эксперта; - потребность в высококвалифицированных специалистах для проведения опроса;	- выбор устройств РЗА (С.В. Романов, А.И. Авсеенко, Е.П. Вишняков); - оценка работоспособности электротехнического оборудования (Д.К.

			- трудоемкий процесс опроса экспертов и обработки полученных результатов.	Елтышев).
3	Теория нечетных множеств	- оперирование качественными и количественными данными; - построение моделей, приближенных к рассуждениям человека; - сопротивляемость возмущениям; - возможность применение при многокритериальном выборе.	- отсутствие возможности обучения нечетких систем; - невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами; - отсутствие стандарта написания методики нечетких систем.	- оценка энергетической безопасности территорий и принятие решений по развитию электроэнергетических систем (П.Е. Мезенцев) - выбор параметров элементов сельских электрических сетей (Ю.И. Березнев).

Принимая во внимание все достоинства и недостатки рассмотренных методов принятия решений, можно сделать вывод, что наиболее подходящим для задачи выбора устройств РЗА по многокритериальной модели в условиях неопределенности является метод с применением нечетких множеств.

Список литературы

1. Козлов, А.Н. Релейная защита и автоматика электрических систем: учебное пособие/ А.Н. Козлов, В.А. Козлов, Ю.В. Мясоедов; 3-е изд., испр. и доп. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. – 158с.

2. Романов, С.В. Подход к выбору устройств релейной защиты и автоматики / С.В. Романов, А.И. Авсеенко, Е.П. Вишняков // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2022. – № 2. – С. 685-689.

3. Семенова, Н.Г. Исследование и моделирование электроэнергетических объектов: учебное пособие / Н.Г. Семенова, Л.А. Влацкая; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2022. – 125 с.

4. Семенова, Л.А. Методика выбора оптимального варианта развития электрической сети по однокритериальной модели в условиях неопределенности / Л.А. Семенова, Д. В. Сазонов, И. Д. Вороньжев // Автоматизация, энерго- и ресурсосбережение в промышленном производстве: сборник материалов I Международной научно – технической конференции. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2016. – С. 375-378.

5. Орлов, А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие / А.И. Орлов. – М.: ИВСТЭ, 2011. – 486 с.

6. Конышева, Л.К. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие / Л.К. Конышева, Д.М. Назаров. – СПб.: Питер, 2011. – 192 с.

7. 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. – 24 с.

8. Мезенцев, П. Е. Оценка энергетической безопасности территорий и принятие решений по развитию электроэнергетических систем с применением теории нечетких множеств: дис. … канд. техн. наук: 05.14.02 / П. Е. Мезенцев. – Екатеринбург, 2004. – 191 с.

9. Березнев, Ю. И. Выбор параметров элементов сельских электрических сетей в условиях неопределенности / Ю. И. Березнев // Электричество. – 2008. – № 2.– С. 23-32.

О ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Сорокин В.А., Пичугин А.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016г. № 642, отмечена необходимость перехода к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, созданию систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Понимание перспективности внедрения цифровых систем/технологий во все сферы промышленности в том числе системы наблюдателей состояния в электроприводе, а также необходимости процессов цифровизации.

Особенное внимание уделяется системам бездатчикового управления двигателями переменного тока, данный интерес обусловлен преимуществом в низкой стоимости и высокой надежности.

Для векторного управления как асинхронными, так и синхронными двигателями такими как: SPM, IPM, BLDC необходимо получение информации о положении/скорости ротора, управления скоростью и контроля положения.

Где:

– Surface mounted permanent magnet (SMPM или SPM) motor – синхронный двигатель с поверхностными постоянными магнитами;

– Interior mounted permanent magnet (IMPM или IPM) motor –синхронный двигатель созданный при помощи технологии, основанной на использовании встроенных постоянных магнитов;

– BLDC двигатели, как правило, используются в высокоскоростных электроприводах (при скоростях вращения в десятки тысяч оборотов в минуту) и низкоскоростных, не требовательных к пульсациям момента, двигатель, у которого постоянные магниты встроены в тело ротора.

Информация о положении и скорости ротора может быть получена при помощи датчиков на валу двигателя. Этими датчиками могут быть датчики положения, например такие как энкодер, резольвер или датчик Холла. В некоторых случаях использовались датчики потока, такие как поисковые катушки на двигателе.. Использование этих катушек делает метод неприменимым для двигателей общего назначения и имеет ограниченные характеристики движения. В тоже время использование датчиков на валу обеспечивает требуемую обратную связь, необходимую для управления двигателем, однако их использование приводит к возникновению ряда проблем.

В первую очередь, увеличение количества дополнительных преобразователей для контроля состояния двигателя, что влечет за собой дополнительные затраты на привод переменного тока и неизбежное усложнение системы контроля. И в некоторых случаях это приводит к многократному увеличению стоимости датчика контроля, которая превышает стоимость самого приводного двигателя. Второй серьезный недостаток связан с механической установкой преобразователя на двигатель. Ибо точная и надежная установка датчика на валу требует механической обработки и больших усилий. Даже не смотря на качественное изготовление установки, возможны механические повреждения в ходе эксплуатации, вызванные агрессивными условиями окружающей среды, в следствии которых могут возникнуть электрические неисправности. Более того, интеграция датчика в привод переменного тока требует дополнительное оборудование (проводка, интерфейсные схемы, и т. д.) и программный интерфейс, что делает приводы переменного тока более сложными и более склонным к сбоям (учитывая большое количество сбоев на местах в заводских условиях, из-за плохих разъемов и ослабленных кабелей и условий эксплуатации). Подобно щеткам двигателя постоянного тока, вал датчика создает проблемы с обслуживанием и увеличивает стоимость привода двигателя переменного тока.

В следствии этого появляется желание исключить использование датчиков на валу из-за их стоимости и проблемы с надежностью, что привело к их устранению из систем электропривода в современных бездатчиковых системах управления переменного тока. Современные бездатчиковые приводные двигатели переменного тока используют интеллектуальные алгоритмы наблюдения для оценки угла потока ротора и скорости двигателя непосредственно из электрических измерений и параметров привода без использования какого-либо механического преобразователя на валу двигателя. Напряжение, приложенное к клеммам двигателя можно измерить и на шине постоянного тока, и рассчитать в двигателе переменного тока, поскольку само переменное напряжение формируется на инверторе, а потребляемые токи двигателя можно измерить по току преобразователя. Измеренные значения токов и выходных напряжений используются алгоритмами бездатчиковой оценки (наблюдателями) в приводе двигателя необходимы для получения угла потока ротора, скорости двигателя и, в некоторых случаях, информацию о положении ротора. Наблюдатели в своей основе обычно содержат модель двигателя, его параметры и физические свойства. Следовательно, крутящим моментом, скоростью, положение ротора двигателя переменного тока можно управлять только через силовые цепи без использования иных механических преобразователей на валу двигателя.

Бездатчиковое управление крутящим моментом, скоростью и положением в машинах переменного тока получило активное развитие в последние четыре десятилетия [1, 2]. Было проведено множество исследований и экспериментов в области исключения использования механического датчика на валу двигателя. Разработаны различные бездатчиковые методы для

различных типов двигателей. Первые разработанные методы для асинхронных двигателей опирались на стационарную модель двигателя и математические уравнения схемы замещения [3, 4]. Эти простые алгоритмы включают в себя анализ и решение математических уравнений с известными параметрами и переменным двигателя. Развитие бездатчиковых методов для асинхронных двигателей совершенствуются, что привело к появлению наблюдателей, основанных на фундаментальной модели двигателя (модель с использованием базовых электромагнитных уравнений машины, основанные на сосредоточенных параметрах) [5–8]. Наблюдатели состояния полагаются на фундаментальную модель и электромагнитные параметры двигателя и представляют собой методы интегрирования для оценки потока ротора, угла потока и скорость двигателя. В наши дни существуют и более продвинутые методы, такие как фильтров Калмана, также разрабатываются нечеткое управления, нейронные сети и т. д. [9, 10]. Однако при нулевой и низкой скорости, противо-ЭДС асинхронного двигателя, наблюдаемая прямо или косвенно, слишком мала и падение напряжения на статоре пренебрежимо мало. Кроме того, при очень низкой скорости и, следовательно, уровне напряжения, преобразователь имеет характеристику усиления по напряжению, которая не линейна и сложна для моделирования. Таким образом, используя фундаментальную модель асинхронного двигателя, поток ротора как состояние переменной не наблюдается при нулевой и низкой скорости. Фундаментальные методы, основанные на моделях, могут быть усовершенствованы для обеспечения работы на низких и около нулевых скоростях [11, 12], однако стабильное бездатчиковое управление двигателем не может быть обеспечено методами, основанными на фундаментальных моделях, для низких и около нулевых скорости. Тем не менее, существуют успешные применения бездатчиковых приводов асинхронных двигателей промышленного применения, которые стабильно работают при средних и высоких нагрузках. Скоростные диапазоны обычно 50–100 об/мин — это самая низкая скорость, которой управляет бездатчиковый привод с частотой вращения 1500 об/мин. На более низкой скорости поддержание полного крутящего момент без применения энкодера при сохранении возможности точного регулирования скорости невозможно. Таким образом, механизмы, требующие работы на нулевой скорости, например, лифты, требуют энкодер, что значительно увеличивает его стоимость и сложность. Чтобы нивелировать этот недостаток, для низких и около нулевых скоростей в бездатчиковых системах управления электроприводами применяются алгоритмы оценки на основе электромагнитных процессов протекающих в двигателях (пространственная анизотропия) [13–15]. Метод инжекции высокочастотного сигнала был успешно применен в асинхронном двигателе. Стандартный асинхронный двигатель, который, как известно, является неявно полюсным и пространственно-симметричным (магнитно), имеет слегка выступающий полюс из-за насыщения потока по одной оси и из-за вихревых токов, вызванные введением высокочастотного сигнала. В результате двигательный импеданс

становится зависимым от пространственного угла. Высокочастотный сигнал на основе этого метода обеспечивает бездатчиковое управление на низкой и около нулевой скорости. Однако этот метод вызывает различный отклик инжектированного сигнала по осям статорной обмотки, что приводит к различным показаниям изменения индуктивности по осям d и q. Поэтому трудно добиться высокой производительности без использования датчиков. Управление асинхронным двигателем с использованием инжекции высокочастотного сигнала имеет успешные результаты внедрения [15]. Утверждается, что этот метод хорошо работает с магнитным полем короткозамкнутого ротора, но имеет ограниченную производительность в асинхронных двигателях с фазным ротором. Модификация двигательной структуры путем создания преднамеренного и значительного магнитного поля путем увеличения выступа в роторе возможны только для двигателей нестандартной конструкции и данная методика применяется в некоторых областях [14]. Бездатчиковое управление производительных асинхронных двигателей в области низких и около нулевых скоростей можно усовершенствовать гибридными методами, в которых используются оценки как из метода наблюдателей на основе фундаментальной модели, так и метода высокочастотной инжекции сигнала [16–21].

Бездатчиковые методы управления синхронными двигателями с постоянными магнитами аналогично методам для асинхронного двигателя. Для двигателей BLDC существуют простые методы обнаружения противо-ЭДС двигателя с постоянными магнитами [22]. Бездатчиковое управление двигателями PMAC (SMPM и IPM) в области высоких скоростей успешно обеспечивается методами наблюдения состояния на основе фундаментальной модели [23–25] аналогично наблюдателям для асинхронных двигателей. Подобно асинхронному двигателю, противо-ЭДС двигателя PMAC равна нулю при нулевой скорости, и поток становится ненаблюдаемый в области низких и нулевых скоростях. Управление на низкой и около нулевой скорости при бездатчиковом методе управления используется вводом высокочастотного сигнала [26–30]. Для двигателей SMPM, которые несущественно отличаются по конструкции от асинхронных двигателей, метод высокочастотной инжекции сигнала не обеспечивает низкую производительность. Однако для двигателей IPM, которые, естественно, значительно отличны из - за своей структуры ротора, метод высокочастотного инжекции сигнала обеспечивает высокопроизводительный контроль без датчиков в области нулевой и низкой скорости. Следовательно, в дополнение к его энергоэффективности и преимуществам меньшего размера, двигатель IPM приносит и еще одно преимущество работы с датчиком вала с высокой производительностью. Считается, что комбинация характеристик свойственная мотору IPM и обуславливает его наиболее широкое использование в промышленности при условии, что цены на неодимий-магнит сохраняются в разумном диапазоне.

Список литературы

1. K. Rajashekara and A. Kawamura, “Sensorless Control of AC Motor Drives, Speed and Position Sensorless Operation,” IEEE Press, 1996.

2. J. Holtz, “State of the Art of Controlled AC Drives without Speed Sensor”, In Power Electronics and Drive Systems Conference Records, pp. 1-6, Singapore, 1995.

3. R. Joetten and G. Maeder, “Control Methods for Good Dynamic Performance Induction Motor Drives Based on Current- and Voltage as Measured Quantities,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol-IA-19, No.3, pp. 356-363, 1983.

4. A. Abbondanti. “Method of flux control in induction motors driven by variable frequency, variable voltage supplies," In IEEE-IAS Conf. Records., pp. 177-184, 1977.

5. T. Ohtani, N. Takada, and K. Tanaka, “Vector control of induction motor without shaft encoder,” In IEEE-IAS Conf. Records, pp. 500–507, San Diego, USA, 1989.

6. H. Tajima and Y. Hori, “Speed sensor-less field orientation control of induction motor,” In IEEE-IAS Conf. Records, pp. 385–391, Dearborn, USA, 1991.

7. C. Schauder, “Adaptive speed identification for vector control of induction motor without rotational transducers,” In IEEE-IAS Conf. Records, pp. 493- 499, 1989. 217

8. H. Kubota, K. Matsuse, and T. Nakano, “DSP-based speed adaptive flux observer of induction motor,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 29, no. 2, pp. 344-348, March/April 1993.

9. Y.-R. Kim, S.-K. Sul, and M.-H. Park, “Speed sensorless vector control of induction motor using extended Kalman filter,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 30, pp. 1125–1233, September/October 1994.

10. B. Akin, U. Orguner, A. Ersak, and M. Ehsani, “Simple derivative-free nonlinear state observer for sensorless AC drives,” IEEE/ASME Transactions on. Mechatronics, vol. 11, no. 5, pp. 634–643, October 2006.

11. H. Kubota, I. Sato, Y. Tamura, K. Matsuse, H. Ohta, and Y. Hori, “Regenerating-mode low-speed operation of sensorless induction motor drive with adaptive observer,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 38, no. 4, pp. 1081-1086, July/August 2002.

12. M. Depenbrock, C. Foerth, and S. Koch, “Speed sensorless control of induction motors at very low stator frequencies,” In European Power Electronics Conference Records, Lausanne, Switzerland, 1999.

13. P. L. Jansen and R. D. Lorenz, “Transducerless field orientation concepts employing saturation-induced saliencies in induction machines,” In IEEE-IAS Conf. Records, pp. 174–181, Orlando, USA, 1995.

14. P. L. Jansen and R. D. Lorenz, "Transducerless Position and Velocity Estimation in Induction and Salient AC Machines," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 31, No. 2, pp. 240-247, March/April 1995.

15. J. I. Ha and S. K. Sul, “Sensorless field-orientation control of an induction machine by high-frequency signal injection,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 1, pp. 45–51, January/February 1999. 218

16. K. Ide, J. I. Ha, M. Sawamura, H. Iura, and Y. Yamamoto, “A novel hybrid speed estimator of flux observer for induction motor drives,” In IEEE International. Symposium on Industrial Electronics Records, vol. 3, pp. 822- 827, L Aquila, Italy, July 2002.

17. E. Robeischl, M. Schroedl, and M. Krammer, “Position-sensorless biaxial position control with industrial PM motor drives based on INFORM-and back EMF model,” In IEEE Industrial Electronics Society Annual Conference Records, vol. 1, pp. 668-673, Seville, Spain, November 2002.

18. C. Silvia, G. M. Asher, and M. Sumner, “An HF signal-injection based observer for wide speed range sensorless PM motor drives including zero speed,” In European Power Electronics Conference Records, vol. 1, pp. 1-9, Toulouse, France, September 2003.

19. M. Tursini, R. Petrella, and F. Parasiliti, “Sensorless control of an IPM synchronous motor for city-scooter application,” In IEEE-IAS Conf. Records, vol. 3, pp. 1472-1479, Salt Lake City, USA, October 2003.

20. A. Pippo, M. Hinkkanen, and J. Luomi, “Sensorless control of PMSM drives using a combination of voltage model and HF signal injection,” In IEEE-IAS Conf. Records, vol. 2, pp. 964-970, Seattle, USA, October 2004.

21. K.Ide, J.I.Ha, M.Sawamura "A hybrid speed estimator of flux observer for induction motor drives" IEEE Transactions on Industry Electronics, vol. 53, no.1 pp. 130-137, February 2006.

22. R. C. Becerra, M. Ehsani, and T. M. Jahns, “Four-quadrant brushless ECM drive with integrated current regulation,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 28, pp. 833–841, July 1992. 219

23. R. Wu. And G. R. Slemon, “A Permanent motor drive without shaft sensor,” In IEEE-IAS Conf. Records, pp. 553-558, 1990.

24. Y. Li and N. Ertugrul, "A Novel, Robust DSP-Based Indirect Rotor Position Estimation for Permanent Magnet AC Motors Without Rotor Saliency," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 18, No. 2, pp. 539-546, March 2003.

25. A. B. Kulkarni and M. Eshani, “A novel position sensor elimination technique for the interior permanent magnet synchronous motor drive,” IEEE Transactions on Industry Applications, pp144-150, January/February 1992.

26. M. Corley and R. D. Lorenz, “Rotor position and velocity estimation for a permanent magnet synchronous machine at standstill and high speeds,” IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, pp. 784-789, July/August 1998.

27. J.-I. Ha, K. Ide, T. Sawa, and S. Sul, “Sensorless position control and initial position estimation of an interior permanent magnet motor,” In IEEE-IAS Conf. Records, pp. 2607-2613, Chicago, USA, September/October 2001.

28. Y. Jeong, R. D. Lorenz, T. M. Jahns, and S. K. Sul, “Initial rotor position estimation of an interior permanent magnet synchronous machine using

carrier-frequency injection methods," In International Electrical Machine and Drive Conference Records, pp. 1218-1223, June 2003.

29. J. I. Ha, K. Ide, T. Sawa, and S. K. Sul, "Sensorless rotor position estimation of an interior permanent magnet motor from initial states," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 39, no. 3, pp. 761–767, May/June 2003. 220

30. J. H. Jang, S. K. Sul, J. I. Ha, K. Ide, and M. Sawamura, "Sensorless drive of surface mounted permanent magnet motor by high frequency signal injection based on magnetic saliency," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 9, no. 4, pp. 1031–1039, July/August 2003.

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ РАЗВИТИЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Сорокин В.А., Пичугин А.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. №642, отмечена необходимость перехода к цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, созданию систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта. Понимание перспективности внедрения цифровых систем/технологий во все сферы промышленности в том числе системы наблюдателей состояния в электроприводе, а также необходимости процессов цифровизации.

Особенное внимание уделяется системам бездатчикового векторного управления всеми типами двигателей, данный интерес обусловлен преимуществом в низкой стоимости и высокой надежности. Для замены датчика, информация о скорости ротора извлекается из измеренных значений напряжений и токов статора на выводах двигателя. Векторное управление требует оценки амплитуды и пространственной ориентации основных магнитных потоков в статоре или роторе. В этих целях используются открытые оценщики или закрытые наблюдатели. Они различаются по точности, устойчивости и чувствительности к изменениям параметров модели.

Динамическая производительность и точность скорости в режиме низких скоростей могут быть достигнуты путем использования паразитных эффектов машины.

Преимущества бездатчиковых двигателей включают в себя уменьшение сложности оборудования, снижение размеров приводной машины, устранение кабеля датчика, лучшую устойчивость к помехам, повышенную надежность и уменьшенные требования к обслуживанию. Работа в агрессивных средах в большинстве случаев требует наличия двигателя без датчика скорости. В последние годы было предложено множество различных решений для бездатчиковых приводов переменного тока.

После изложенного у всех появляется логичный вопрос – А почему же тогда редко используются данные системы? Есть несколько причин такого редкого применения бездатчиковых систем.

Стоит сказать, что на данном этапе развития ЭВМ качество работы бездатчиковых систем уступает датчиковым, тому есть несколько веских

причин: в данных системах используются системы алгоритмов (наблюдателей), которые оценивают состояния привода, наблюдатели обладают определенной динамикой, что накладывает ограничения на быстродействие. Также стоит обратить внимание на отсутствие алгоритмов, позволяющих работать на около нулевых значениях. На функционирование алгоритмов оказывает значительное влияние такие параметры как точность задания параметров модели, точность измерения напряжения и тока, от принципа организации самого наблюдателя и т.д.

Так что же такое «наблюдатель». С точки зрения электропривода под данным термином подразумевают некую систему, позволяющую определять и оценивать неизвестные параметры на основе уже известных.

Для понимая сказанного обратимся к электроприводу переменного тока, в котором за известные величины мы можем взять ток, напряжение, скорость, то есть мы можем провести непосредственное измерение при помощи сторонних устройств, таких как датчик тока, датчик напряжения, энкодер и т.д. И при помощи данных параметров возможно построение систем уравнений для оценки потока и сопротивления асинхронного двигателя. Но что же делать, если исключить скорость из измеряемых величин, в таком случае в векторных приводах переменного тока нам и необходимо применение наблюдателя.

Разобрав первый этап «показания» следует второй «сбора данных». На данном этапе ведущую роль берут на себя наблюдатели. Данные устройства позволяют контролировать процессы, проходящие в системе, путем сбора и передачи информации на устройства управления. В общем случае наблюдателем является динамическая система, восстанавливающая вектор заданного состояния системы, на основе измерения входного и выходного воздействия при известной структуре данной системы.

На сегодняшний день сформировалась устойчивая классификация наблюдателей состояния, которая представлена на рисунке 1. Данная классификация включает в себя основные разновидности наблюдателей без учета все возможных разновидностей и подсистем [1].

На данный момент все наблюдатели делят на две большие группы [2]:

1) наблюдатели, основанные на модели двигателя;
2) наблюдатели, основанные на измеряющих устройствах.

Наблюдатели первой группы подразделяются на два вида:

1) на основе моделей электромагнитных процессов (ЭМ) двигателей;
2) на основе фильтра Калмана.

Модели на основе двигателей используются для оценки скорости вала двигателя и, в высокопроизводительных приводах с ориентированным полем, для определения изменяющегося во времени углового положения вектора потока. Кроме того, оценивается амплитуда вектора потока для управления полем. Для этой цели используются разные модели машин, в зависимости от решаемой задачи.

Модель машины реализуется в управляющем микропроцессоре путем решения дифференциальных уравнений машины в реальном времени с

использованием измеренных сигналов из системы привода в качестве внешних воздействий. Точность модели зависит от степени соответствия между моделью и моделируемой системой. Совпадение должно быть как по структуре, так и по параметрам. Параметры могут значительно изменяться с температурой или с рабочей точкой машины.

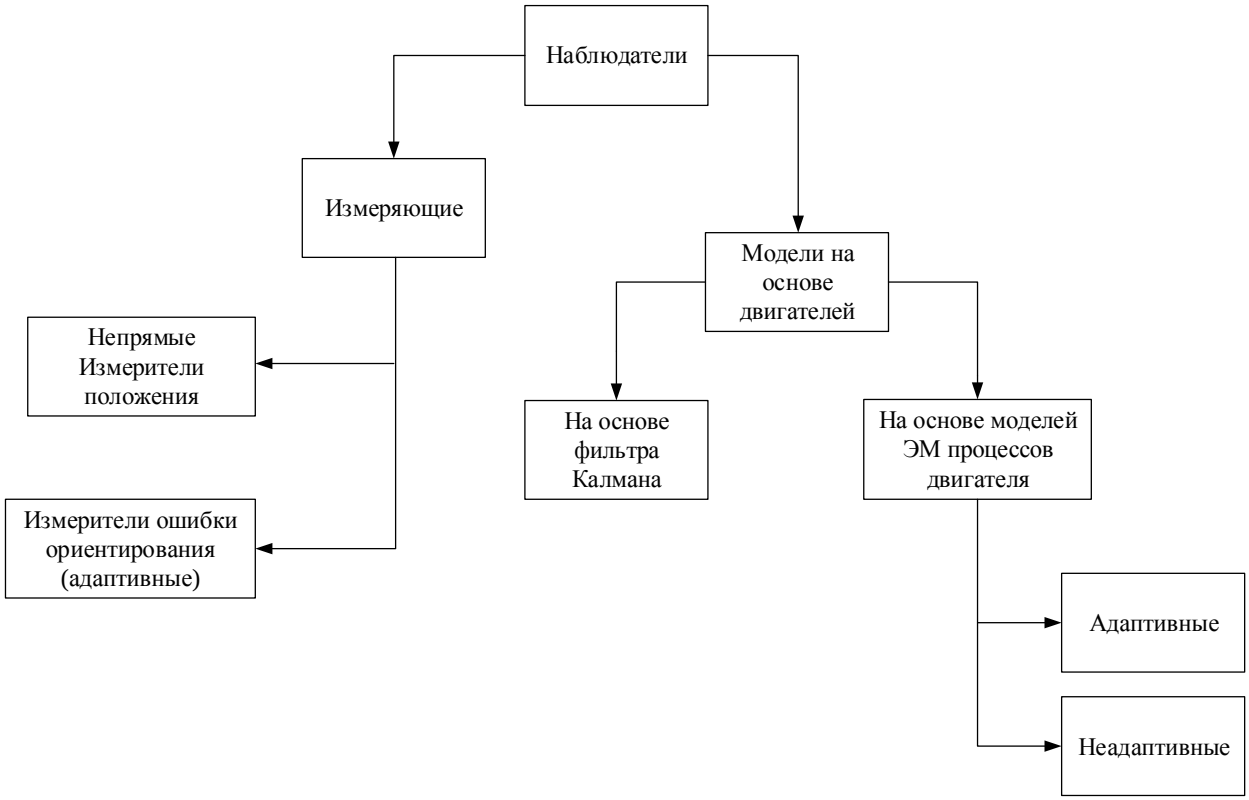


Рисунок 1 – Классификация наблюдателей состояния

С другой стороны, чувствительность модели к несоответствию параметров может различаться в зависимости от соответствующего параметра и переменной, которую оценивает модель.

В свою очередь наблюдатели основанные на модели ЭМ процессов двигателя подразделяются на две подгруппы: неадаптивные и адаптивные наблюдатели.

Неадаптивные наблюдатели получили свое распространение в системах управления, имеющих измерительный датчик, для определения необходимых параметров. Метод наблюдателя основан на математическом описании двигателя и использовании алгебраических выражений для вычисления необходимых параметров [3]. Также данную разновидность наблюдателей применяют в виде корректирующих устройств, основная цель которых увеличение эксплуатационных характеристик электропривода.

Адаптивные же системы в основе своей содержат эталонную модель, которая может быть получена при помощи нейронных сетей или нечёткой логике [4]. В отличии от неадаптивных систем данная находит применение как

в датчиковых так и в без датчиковых системах управления. Как уже было сказано система функционирует на базе эталонной математической модели двигателя, как и неадаптивная, только в адаптивную систему добавляют регулятор, который в режиме реального времени корректирует протекающие переходные процессы в двигателе. В свою очередь адаптивный наблюдатель может быть реализован для потока ротора двигателя с применением модели ротора и статора, при помощи которых вычисляется поток ротора. Модель статора используется для оценки вектора потока статора или вектора потока ротора, без необходимости сигнала о скорости. Поэтому это предпочтительная модель машины для бездатчиковых систем управления скоростью. В свою очередь по модели ротора вычисляется поток ротора при известной скорости ротора и тока статора.

В наши дни с развитием микропроцессорной техники на замену эталонным моделям приходят наблюдатели, в основе которые содержат нейронные сети и нечетную логику. Отличительной особенностью нечетной логики считается возможность обработки зашумлённых сигналов и возможность моделирования нелинейных систем, а нейронные сети отличны своей высокой производительностью и способностью аппроксимирования нелинейных функций, высокой устойчивостью к переменам в объектах управления.

Второй разновидностью модели, основанной на двигатели, называют фильтр Калмана. В свою фильтр подразделяется на три подвида: линейный, расширенный и сигма-точечный [5]. Данный метод обладает отличительными особенностями в сравнении с методом, основанным на ЭМ процессах двигателя: точный расчет показателя самим фильтром, что позволяет его использование при неизвестных параметрах [6]. При этом наблюдатель не нуждается в компенсации времени фильтра либо других дополнительных вычислений. Не смотря на существенные преимущества фильтр имеет и существенные недостатки, которые ограничивают его применение: наиболее существенным является невозможность применения в динамических системах в следствии неопределенности начальных значений.

Наблюдатели второй группы подразделяются на два вида:

1) непрямые измерители положения;

2) измерители ошибки ориентации.

Непрямые измерители положения используются в системе с бездатчиковыми приводами для измерения положения ротора используя магнитную неоднородность свойств машины.

Сам метод представляет собой генерацию высокочастотных тестирующих сигналов и определения положения ротора по ответной реакции системы. Скорость в свою очередь возможно определить, как дифференциал положения.

Измерители ошибки ориентирования используются в бездатчиковых приводах. Данный тип наблюдателей сводится к определению положения вращающейся системы координат, которое зависит от ошибки ее ориентации.

Системы являются адаптивными т.к. они сводят ошибку ориентации к нулю, контролируя скорость ротора по положению вращающейся системы координат.

Для удобства представления проведенного анализа все полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Наблюдатели состояния

№	**Классификация наблюдателей состояния**	**Достоинства**	**Недостатки**
1	Наблюдатели, основанные на моделей ЭМ процессов двигателей (адаптивные, не адаптивные)	• Повышенные эксплуатационные характеристики электропривода • Возможность применения в динамических системах • Применяется в системах требующих предельного быстродействия	• Высокая чувствительность к несоответствию математической модели с параметрами привода • Невозможно применение в системах с неизвестными переменными • Нуждается в компенсации времени фильтра
2	Наблюдатели, основанные на фильтре Калмана	• Высокая точность расчета показателя самим фильтром • Возможность использования в системах с неизвестными параметрами • Не нуждается в компенсации времени фильтра и дополнительных вычислений	• Не возможность применения в динамических системах
3	Наблюдатели непрямого измерителя положения	• Точный • Простота интеграции в систему управления	• Увеличивает дополнительные потери • Повышенный уровень шума • Зависимость свойств от конкретного двигателя • Неадаптивные
4	Наблюдатели-измерители ошибки ориентации	• Простота метода • Адаптивность системы	• Применяется в системах не требующих предельно быстродействия • Ограниченность в регулировании

Цифровые системы управления превосходят стандартные датчиковые системы контроля и управления как в производительности, так и в надежности, единственное ограничения ограничивающее повсеместное применения таких систем является сложность составления систем уравнений в динамических системах.

Список литературы

1. K. Rajashekara, A. Kawamura, and K. Matsuse, Eds., Sensorless Control of AC Motors. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1996.

2. D. Schroder, Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen, Berlin: Springer-Verlag, 2015.

3. Mader G. Regelung einer Asynchronmaschine unter alleiniger Verwendung an den Klemmen messbarer Groessen. Dissertation, TH Darmstadt, 1981.

4. Данилов В.В. Повышение энергоэффективности работы систем частотного асинхронного электропривода металлургических транспортных механизмов: дис. ... канд. техн. наук: Владимир Владимирович Данилов; Липецк. гос. техн. ун-т. - Липецк, 2019. - 182 с.

5. Масленников А. Дискретные системы автоматического управления. - М., 2019. - 257 с.

6. Володин Е.В., Осипов О.И. Наблюдатели в системах векторного управления синхронным частотно-регулируемым приводом герметичного электронасоса // Электротехнические системы и комплексы. - 2017. - № 3(36). - С. 17-22.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ СОЛНЕЧНОГО ТРЕКЕРА

Шелихов Е.С., канд. техн. наук, доцент,
Греков Э.Л., канд. техн. наук, доцент, Стародумов Д.Д.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На сегодняшний день интенсивное развитие энергетического комплекса в России обусловлено растущим спросом на электричество. Ключевыми факторами в данном случае являются запуски новых и реконструкции имеющихся производств в промышленной сфере, увеличение количества бытовых приборов и их мощностей.

Согласно мировому опыту (строительство мощных солнечных и ветровых электростанций, внедрение в них современной автоматики и накопителей) исследования и проекты в области альтернативной энергетики становятся одним из основных, экономически выгодных путей для решения задач повышения выработки энергии. При эксплуатации солнечных панелей наиболее эффективным средством считается применение механизмов позиционирования – трекеров (повышение КПД до 50 %), позволяющих поддерживать оптимальный угол их освещения в реальном времени. По конструкции их разделяют на одноосные и двуосные. Классификация в общем виде представлена на схеме рисунка 1 [1].

Цель данной работы – проект конструкции двуосного солнечного трекера на несущем столбе.

Задачи:

– разработка чертежей и модели устройства;

– разработка поворотных частей;

– описание практических особенностей проектирования конструкции.

Выбор такого типа конструкции обусловлен в первую очередь её неоспоримыми достоинствами, относительно одноосных систем: отсутствие затенений, подстройка под ветровые нагрузки и осадки (очень актуальны для умеренного и резко континентального климата на открытых пространствах) [2]. Во-вторых, оптимальным для исследования различных систем автоматизации и алгоритмов управления (научный задел).

На начальных этапах проектирования была произведена оценка максимальных ветровых нагрузок относительно размеров предполагаемых к установке солнечных панелей Восток ФСМ 150 М10 (производство Китай, разработаны и сертифицированы для эксплуатации в России) [3]. Габаритные размеры металлической рамы, и высота трекера выбирались исходя из особенности конструкции крыши. Для устойчивости нагрузка распределялась по двум несущим балкам, по 1 м^2 на каждую. Расчёты учитывают значительный запас для увеличения мощности выработки электроэнергии.

Чертёж разработанного трекера в общем виде представлен на рисунке 2.

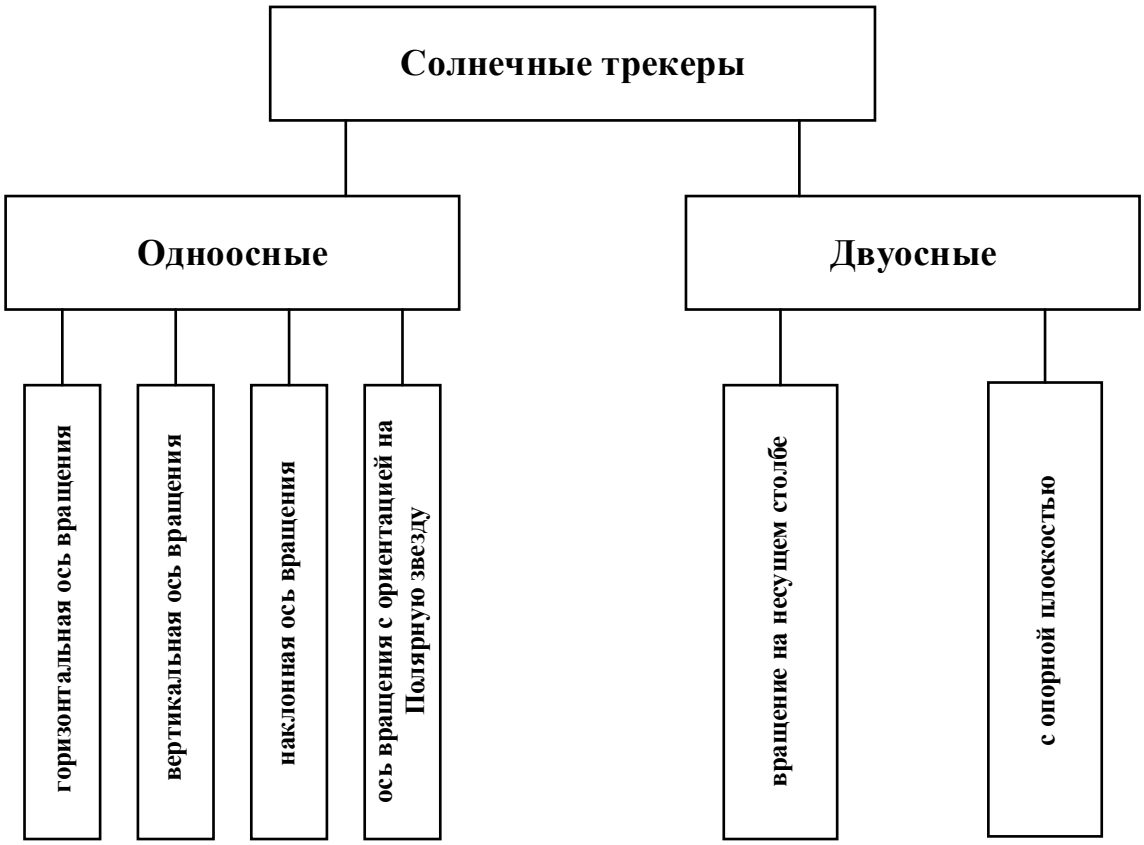


Рисунок 1 – Классификация солнечных трекеров

Для уменьшения нагрузки на поверхность крыши в бетонное основание (высота 140 мм) разместили пластиковые трубы диаметром 100 мм. Заливка осуществлялась на основе пескобетонной смеси М300.

Металлический каркас сформирован из профильной трубы 20х40 мм. В процессе реализации сборочных и сварных работ установлены дополнительные рёбра жёсткости.

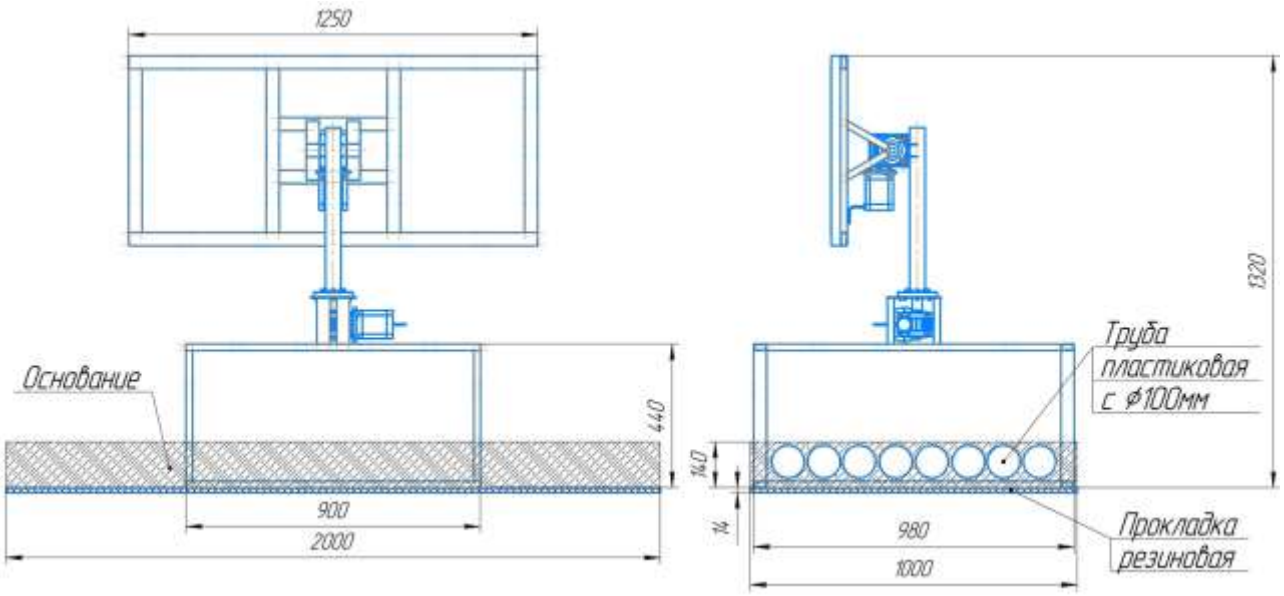


Рисунок 2 – Двухосевой солнечный трекер

Привод поворота жёстко закреплён в конструкции основания и защищён металлическим корпусом. Для реализации такого механизма чаще всего используют готовые ОПУ (опорно-поворотные устройства), установка которых в данном случае экономически не целесообразна [4]. Поэтому разработано крепление трубы на основе специального подшипника, представленное на рисунке 3.

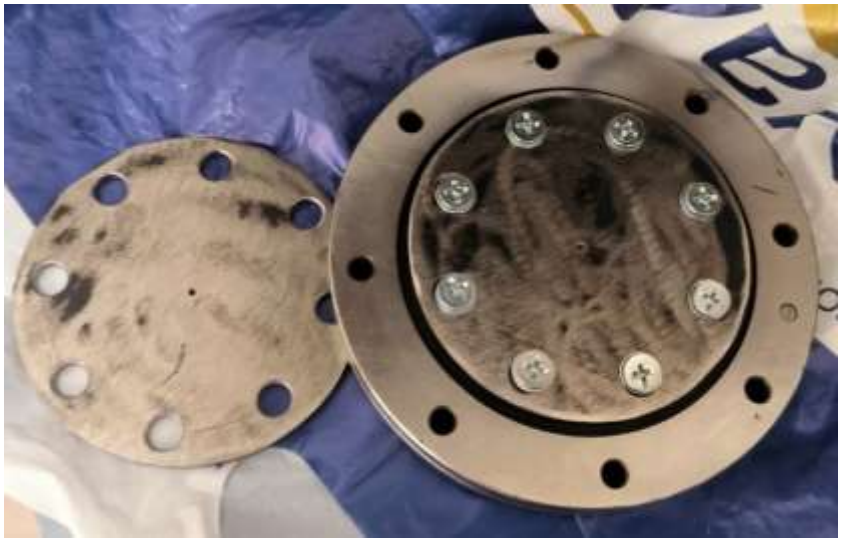


Рисунок 3 – Крепление несущей трубы

Рама установки солнечной панели сделана из профильной трубы 10х10 мм с целью снижения массы. Крепеж труба-редуктор-рама выполнен разборным.

3-D модель всей установки представлена на рисунке 4а, её реализация 4б.

(а) (б)

Рисунок 4 – Разработанный солнечный трекер

Полученная конструкция прошла успешные испытания в ветреную, дождливую и снежную погоду.

В завершении работы стоит отметить ряд наиболее важных практических рекомендаций или особенностей:

– с целью предотвращения впитывания влаги в бетонное основание, его поверхность необходимо гидроизолировать;

– при проектировании металлического каркаса необходимо учитывать размеры электрического шкафа для размещения системы управления и мониторинга;

– все вращающиеся элементы и узлы выполняются разборными для дальнейшей реконструкции, модернизации, обслуживания и ремонтов;

– необходимо проработать возможность установки дополнительных влагоизолирующих элементов (чехлов, водоотводов и т.д.) для экстремальных погодных условий (высокой влажности, низких и высоких температур);

– поверхность металла необходимо обрабатывать антикоррозионной краской или лаком;

– для возможности дальнейшей транспортировки необходимо установить специальные крепления на этапе заливки основания;

– для обеспечения целостности покрытия крыши необходимо использовать резиновую прокладку (например, отработанную конвейерную ленты 16-25 мм толщиной).

Список литературы

1. Обухов С.Г., Плотников И.А. «Выбор параметров и анализ эффективности применения систем слежения за солнцем» Известия Томского

политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 10. 95–106

2. Немков Д. А. «Результаты испытаний двухосного солнечного трекера в условиях уральского» [Электронный ресурс] / Д.А. Немков, А.В. Матвеев, С.Е. Щеклеин, Ю.Е. Немихин материалы конференции молодых ученых., Екатеринбург, 2016 г. / УрФУ,2016. - С. 156-159.

3. Технические характеристики солнечной панели. – Режим доступа: https://delta-solar.ru/product/solnechnye-moduli/boctok-fsm/vostok-fsm-150-m10/?ysclid=lrky9g52w4497508457

4. Приводы и поворотные устройства для солнечных трекеров. – Режим доступа: https://drive-v.ru/otrasli/alternativnaja-jenergetika/privody-i-povorotnye-ustrojstva-dlja-solnechnyh-trekerov/?ysclid=lrkyb7guwo186724499

5. Мозохин А.Е., Шведенко В.Н. Анализ направлений развития цифровизации отечественных и зарубежных энергетических систем Научно-технический вестник информационных технологий, механики оптики. 2019 Т. 19 № 4 pp 657–672 Preprint doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-4-657-672.

ВЫБОР МАГНИТОВ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВНЕШНИМ РОТОРОМ

Сурков Д.В., канд. техн. наук, Падеев А.С., канд. техн. наук, доцент, Ямансарин И.И. , канд. техн. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Увеличение количества беспилотных летательных аппаратов, используемых в различных устройствах (игрушки, доставка посылок, контроль местности, военная разведка, диагностика оборудования), требует совершенствования методик проектирования и технологии производства. Растущая потребность в летательных аппаратах влечет за собой рост рынка электродвигателей, что требует поиска наиболее технически и экономически выгодных решений.

Одним из наиболее важных элементов конструкции ВДПТ являются постоянные магниты. При разработке опытных образцов были рассмотрены несколько вариантов постоянных магнитов из сплава неодим-железо-бор (NdFeB), доступных на рынке – таблица 1.

Был проведен расчет нескольких вариантов вентильных двигателей постоянного тока (ВДПТ) с внешним ротором, имеющих большое применение в малых летательных аппаратах. Результаты расчета магнитного поля ВДПТ с указанными магнитами приведены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1 – Параметры постоянных магнитов

Вариант	1	2	3	4	5
Размеры, мм	4x2x10	4x1x10 (2 слоя)	5x2x8,5	5x2x8,5	5x2x8,5
Сплав	N40	N42H	N45UH	N50	N55
Максимальная рабочая температура	100 °C	120 °C	180 °C	–	–
Остаточная индукция после нагрева до 100 °C	60 %	90 %	100 %	–	–
Антикоррозийное покрытие	никель	никель	нет	–	–
Средняя индукция в зубце при максимальном токе обмотки статора, Тл	1,810	1,816	1,824	1,834	1,842
Относительное значение, %	100,00	100,33	100,77	101,33	101,77
Средняя индукция в зубце при токе обмотки статора I=0, Тл	1,681	1,776	1,824	1,834	1,842
Относительное значение, %	100,00	100.95	102.20	103.75	104.94
Поток через зубец, 10^{-5} Вб	3,385	3,396	3,410	3,429	3,445

Относительное значение, %	100,00	100,32	100,74	101,30	101,77

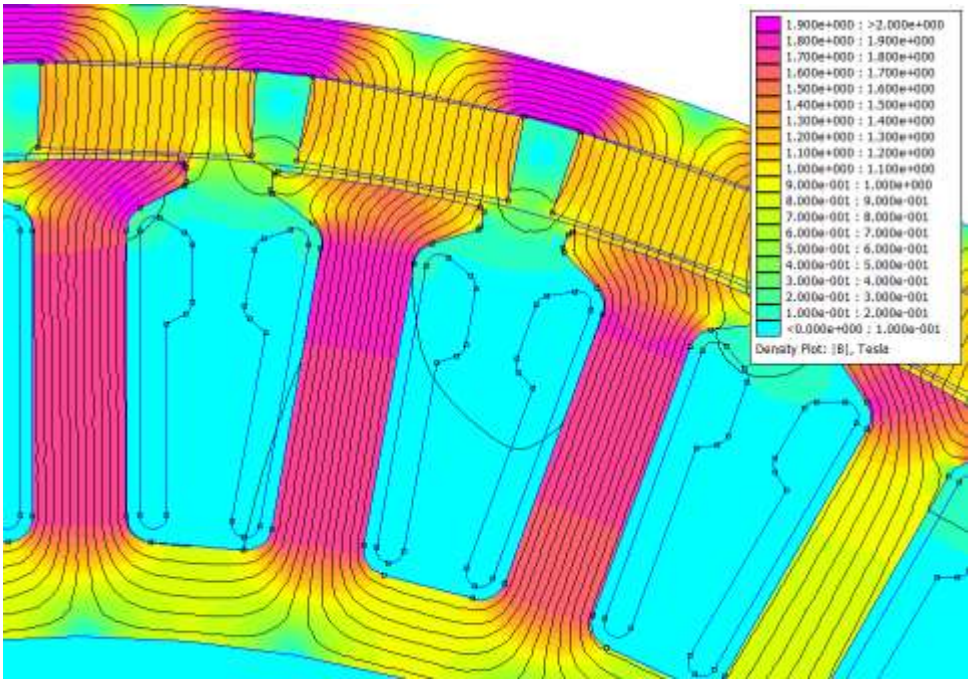


Рисунок 1 – Результаты расчета магнитного поля в среде FEMM 4.2

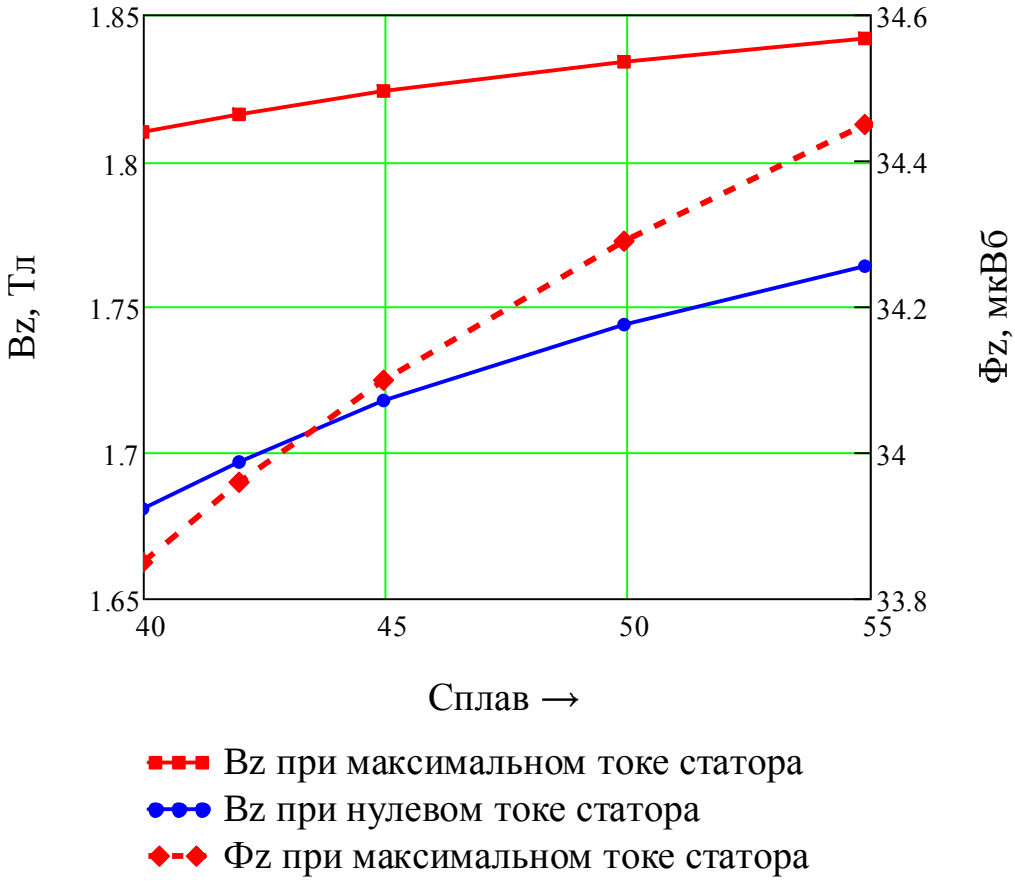


Рисунок 2 – Результаты расчета магнитного поля в среде FEMM 4.2

Магниты вариантов 1 и 2 имели длину, большую длины магнитопровода статора (8,5 мм). Расчет магнитного поля был проведен в программе FEMM, количество конечных элементов $5 \cdot 10^5$.

Результаты расчета показывают, что марка сплава постоянного магнита незначительно влияет на величину максимального магнитного потока в зубцах статора, что связано с высокой степенью насыщения отдельных участков магнитной цепи.

Экспериментальные образцы двигателей были изготовлены с магнитами марок N42H и N45UH и также показали незначительные отличия параметров двигателя (при одинаковом токе статора и несущем винте разница частоты вращения и силы тяги составила не более 8 %).

Из полученных результатов можно сделать вывод, что создание высокоэффективных двигателей для БПЛА возможно с относительно недорогими марками магнитов, доступных на рынке.

Список литературы

1. Проектирование электрических машин [Текст] : учебник для студентов электромеханических и электроэнергетических специальностей вузов / под ред. И. П. Копылова.- 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2011. - 767 с. : ил. - (Основы наук). - Библиогр.: с. 755-756. - Предм. указ.: с. 757-762.

2. Сурков, Д. В. Опыт расчета магнитного поля бесколлекторного электродвигателя постоянного тока [Электронный ресурс] / Д. В. Сурков, А. С. Падеев, И. И. Ямансарин // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 26-27 янв. 2023 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А. В. Пыхтин. - Оренбург : ОГУ,2023. - . - С. 1178-1182. . - 5 с.

3. Сурков, Д. В. Опыт проектирования вентильных двигателей постоянного тока с внешним двигателем [Электронный ресурс] / Д. В. Сурков, А. С. Падеев, И. И. Ямансарин // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы : материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф., Оренбург, 25-27 окт. 2022 г. / Оренбург. гос. ун-т ; под общ. ред. Л. А. Влацкой .- Оренбург : ОГУ,2022. - . - С. 197-199. . - 3 с.

АНАЛИЗ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ В ОБЛАСТИ РАЗРАБОТКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ВНЕШНИМ РОТОРОМ

Устабаев Д.Б.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В приказе Министерства экономического развития РФ от 22 марта 2021 г. № 131 “О требованиях энергетической эффективности в отношении товаров, указанных в приложении к Правилам установления требований энергетической эффективности товаров, работ, услуг при осуществлении закупок для обеспечения государственных и муниципальных нужд, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2009 г. N 1221” говорится о необходимости разработки энергоэффективных электрических машин, в том числе асинхронных двигателей. В настоящее время, они мало используются для личных нужд, включая асинхронные электродвигатели с внешним ротором.

Анализ научно-технической литературы в области разработки асинхронных электродвигателей позволил заключить, что асинхронные электродвигатели с внешним ротором намного эффективнее использовать для бытового применения. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым внешним ротором являются одним из самых распространенных и востребованных типов электрических двигателей в современной промышленности и инфраструктуре. Они обладают рядом преимуществ, таких как простота конструкции, надежность, экономичность и эффективность. Однако, с развитием технологий и повышением требований к энергосбережению, возникает необходимость в постоянном совершенствовании и оптимизации этих двигателей.

Проектировка асинхронных двигателей с короткозамкнутым внешним ротором остается актуальной по следующим причинам:

1) Повышение энергоэффективности: улучшение характеристик двигателей, таких как коэффициент мощности и КПД, позволяет снизить затраты на электроэнергию и уменьшить воздействие на окружающую среду.

2) Уменьшение веса и размеров: благодаря использованию новых материалов и технологий, можно уменьшить вес и размеры двигателя, что позволяет использовать его в более компактных и легких устройствах.

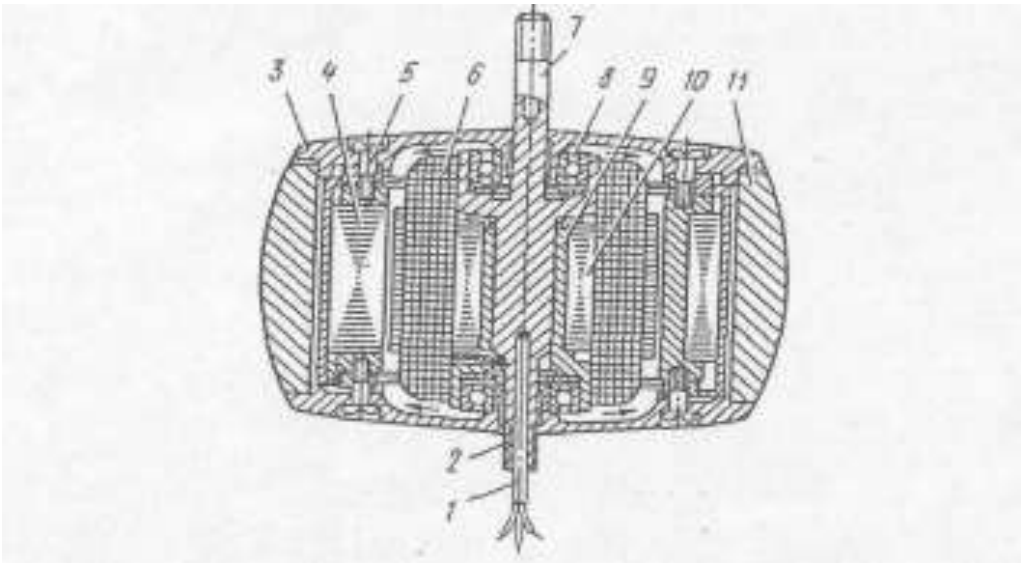
3) Увеличение надежности и срока службы: разработка новых методов расчета и проектирования, а также использование современных материалов, может повысить надежность и срок службы двигателей, что снижает затраты на обслуживание и замену.

4) Повышение экологической безопасности: асинхронные двигатели потребляют меньше электроэнергии и выделяют меньше вредных веществ в сравнении с другими типами двигателей, что делает их более экологичными.

Однако исследований, посвященных проектированию и разработки асинхронных электродвигателей с внешним короткозамкнутым ротором, недостаточно.

Анализ научно-технической литературы позволил условно выделить две группы: асинхронные электродвигатель с короткозамкнутым ротором и асинхронный электродвигатель с внешним короткозамкнутым ротором. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором в литературах М.В. Антонова, И.П. Копылова, А.М. Кутарева и О.Д. Гольдберга указываются следующие достоинства: легкая конструкция, долговечность, высокая степень защиты от влияния окружающей среды. Недостатками являются меньший пусковой момент и высокий спусковой ток.

Асинхронный элетродвигатель с внешним короткозамкнутым ротором в литературе И.И. Ямансарина говорится о малых габаритах, высокой степени защиты от окружающей среды, долговечности, большой инерции, что помогает снизить пульсации крутящего момента, более высокий крутящий момент. Сложность конструкции является недостатком асинхронного элетродвигателя с внешним короткозамкнутым ротором. Асинхронный электродвигатель с внешним короткозамкнутым ротором (рис. 1) состоит из шихтованного сердечника статора, собранного на втулке, которая напрессована на стальную невращающуюся ось. Обмотка статора имеет три вывода, которые проходят через полую часть оси. Внешний ротор состоит из шихтованного сердечника, в пазах которого расположены стержни обмотки, замкнутые с двух сторон замыкающими кольцами. Наружная поверхность ротора образована ободом, форма которого зависит от назначения двигателя, то есть он может быть колесом, шкивом, роликом или просто массивным элементом – маховиком. С двух сторон обод закреплен крышками посредством винтов, крышки, в свою очередь, сочленяются с подшипниками [3].



1 – вывод обмотки статора, 2 – полая часть оси, 3 – крышки, 4 – шихтованный сердечник ротора, 5 – винты, 6 – обмотка статора, 7 – стальная вращающая ось, 8 – подшипники, 9 – втулка, 10 – шихтованный сердечник статора, 11 – обод

Рисунок 1 – Устройство асинхронного двигателя с внешним ротором.

Применение вентиляторов и воздуходувок является одним из наиболее распространенных применений двигателей с внешним ротором благодаря особому конструктивному преимуществу: внешний ротор может служить ступицей рабочего колеса вентилятора или воздуходувки. Это обеспечивает компактную конструкцию и позволяет крыльчатке выполнять роль большого вращающегося теплоотвода и способствовать охлаждению двигателя [4].

Представленный анализ научно-технической литературы кратко приведен в таблице 1.

Таблица 1- Анализ научно-технической литературы

АД	Достоинства	Недостатки	Литература
С короткозамкнутым ротором	-Легкая конструкция -Долговечность -Высокая степень защиты от влияния окружающей среды	-Меньший пусковой момент -Высокий спусковой ток	-Антонов М.В. -Копылов И.П. -Кутарев А.М. -Гольдберг О.Д.

С внешним короткозамкнутым ротором	-Малые габариты - Высокая степень защиты от влияния окружающей среды -Долговечность -Большая инерция, что помогает снизить пульсации крутящегося момента -Более высокий крутящий момент	-Сложная конструкция	-Ямансарин И.И.

Таким образом, проведенный анализ позволил заключить, что для проектирования вентиляторов наиболее целесообразно применять асинхронный электродвигатель с внешним короткозамкнутым ротором.

Список литературы

1 Саввин Н. Ю., Рылов И. В., Ратушняк В. Р., Кайдалов М. В. Асинхронный электродвигатель // фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : статья в сборнике трудов конференции. — ООО "Наука и Просвещение", Пенза, 2021. – . 76-80 с.

2 Елизаров, В.В. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором / В. В. Елизаров // Форум молодых ученых, 2017. №12 (16). Электронный источник – [Режим доступа]: https://cyberleninka.ru/article/n/asinhronnyy-dvigatel-s-korotkozamknutym-rotorom - 07.12.2023.

3 Проскуряков, В.С. Электротехника. Асинхронный двигатель. / В.С. Проскуряков // Учебное электронное текстовое издание, 2008. Электронный источник – [Режим доступа]:https://studylib.ru/doc/6375713/e-lektrotehnika.-asinhronnyj-dvigatel._

4 Collins, D. External rotor motor basics: Design and applications / D. Collins // Motion Control Tips, june 6, 2018 https://www.motioncontroltips.com/external-rotor-motor-basics-design-applications/

АСПЕКТНЫЙ ПОДХОД В СОЗДАНИИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОДСТАНЦИИ В СРЕДЕ SIMINTECH. АНАЛИЗ КАЧЕСТВ

Валиуллин К.Р., канд. техн. наук, доцент, Шамов И.В.,
Соколова Т.Ю., канд. экон. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В работе рассматривается создание «цифрового двойника» подстанции в среде Simintech для диспетчеризации подстанций и обучения студентов оперативным переключениям.

SimInTech это – среда динамического моделирования и разработки математических моделей, алгоритмов управления, мнемосхем. Программное обеспечение (ПО) Simintech включает несколько математических ядер, базу данных, графическую среду разработки, автоматическую генерацию кода и другие модули. Программа осуществляет моделирование сложных технических объектов и технологических процессов, с одновременным моделированием системы управления, и позволяет проводить детальную проверку работы модели на любой стадии.

Simintech предназначен для исследования и анализа нестационарных процессов в различных объектах управления, которые могут быть представлены в виде системы дифференциально-алгебраических уравнений и/или реализованы методами структурного моделирования. Среда может: моделировать нестационарные процессы физики, электротехники, теплопроводности, динамики машин, механизмов и другие; использоваться в многокомпьютерных комплексах; функционировать как САПР.

В среде разработана главная понизительная подстанция «Иээис», высшая сторона которой имеет напряжение 220 кВ, сторона среднего напряжения спроектирована на номинальное напряжение 110 кВ, а низшая сторона рассчитана на напряжение 35 кВ.

Открытое распределительное устройство высшего напряжения подстанции имеет четыре линии, а также подключено к двум автотрансформатора. Схема собрана на основе типовых решений схем принципиальных электрических распределительных устройств подстанций [1], в соответствии с нормами технологического проектирования подстанций переменного тока [2] и при соблюдении рекомендаций по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций [3]. В соответствии с типовыми решениями схем подстанций [1], данная схема имеет цифровое обозначение – 16 и наименование «Трансформаторы – шины с полуторным присоединением линий».

Сторона среднего напряжения подстанции Иээис выполнена на напряжение 110 киловольт, имеет семь присоединений, спроектирована с соблюдением нормативов [2,3], а также в соответствии с типовыми решениями

схем подстанций [1], открытое распределительное устройство имеет наименование: «12Н – Одна рабочая секционированная и обходная система шин с подключением трансформаторов через развилку из двух выключателей».

Сторона низшего напряжения подстанции спроектирована под номинальное напряжение 35 кВ. Распределительное устройство выполнено в соответствии с нормативной документацией [2,3], на основе типовых решений [1] имеет девятый номер схемы и название «Одна секционированная система шин».

Оперативная схема подстанции Иээис в ПО «Компас-График»[1] приведена на рисунке 1, в среде simintech – на рисунке 2.

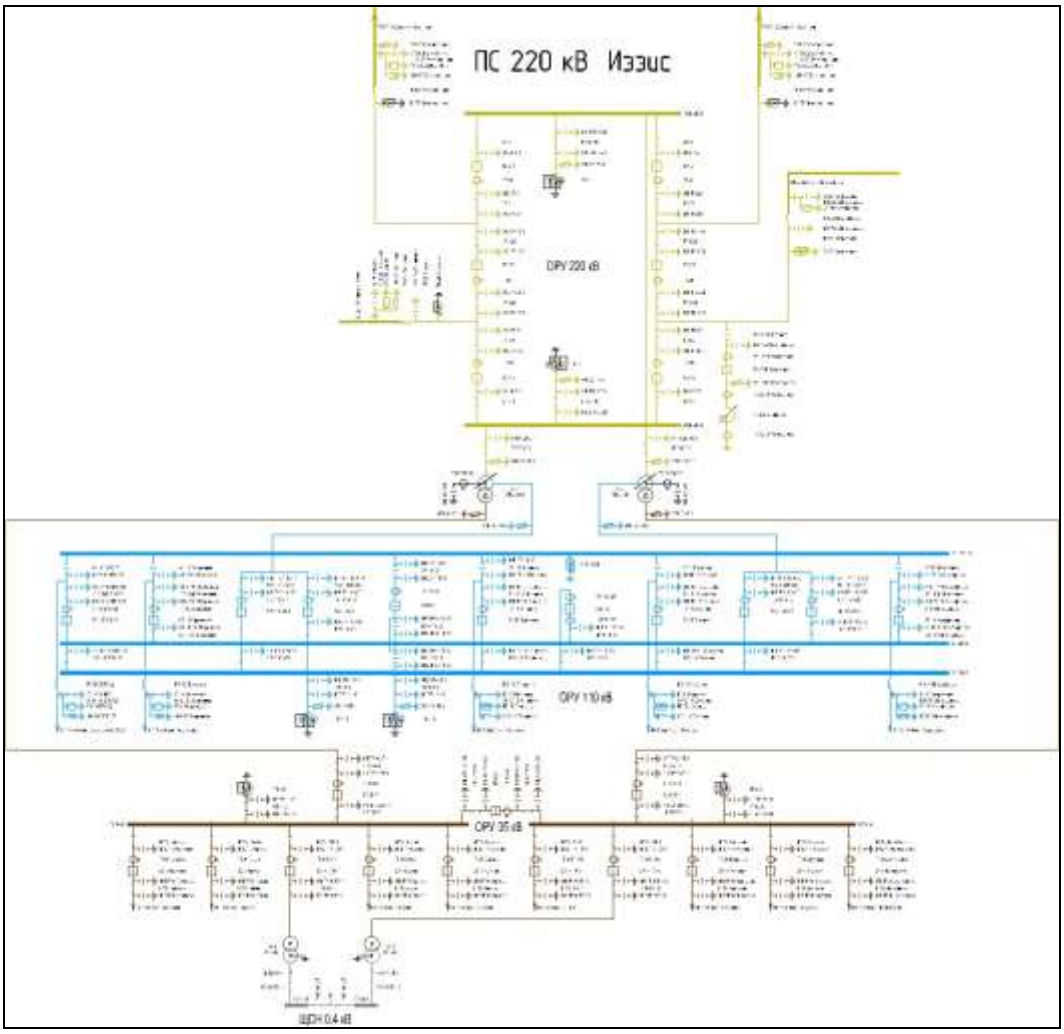


Рисунок 1 – Оперативная схема подстанции Иээис

Модель подстанции в среде simintech разработана как комплексная модель [4], иначе называемая пакетом проектов, то есть, это набор работающих совместно математических моделей подсистем. В созданной имитации в

[1] Система «Компас–График» — это специализированное программное обеспечение для персонального компьютера, выполненное как универсальная система трехмерного автоматизированного проектирования.

первую подмодель вынесена схема подстанции (рисунок 2), на второй подмодели представлена панель кнопок управления элементами первой подмодели: разъединители, нагрузка, генерация.

Помимо деления на подмодели, в пакете проектов имеется возможность построения всевозможных зависимостей произвольного элемента из любой подмодели. В данной работе были отображены графики: тока, напряжения, мощности. Имитация в виде пакета проектов с частично указанными блоками второго проекта представлен на рисунке 3.

Взаимосвязь между подмоделями осуществляется с помощью специализированной базы сигналов[4], которая подключается отдельно. Стоит отметить, сигналы для записи в базу могут быть переданы из сторонней по отношению к программе среде.

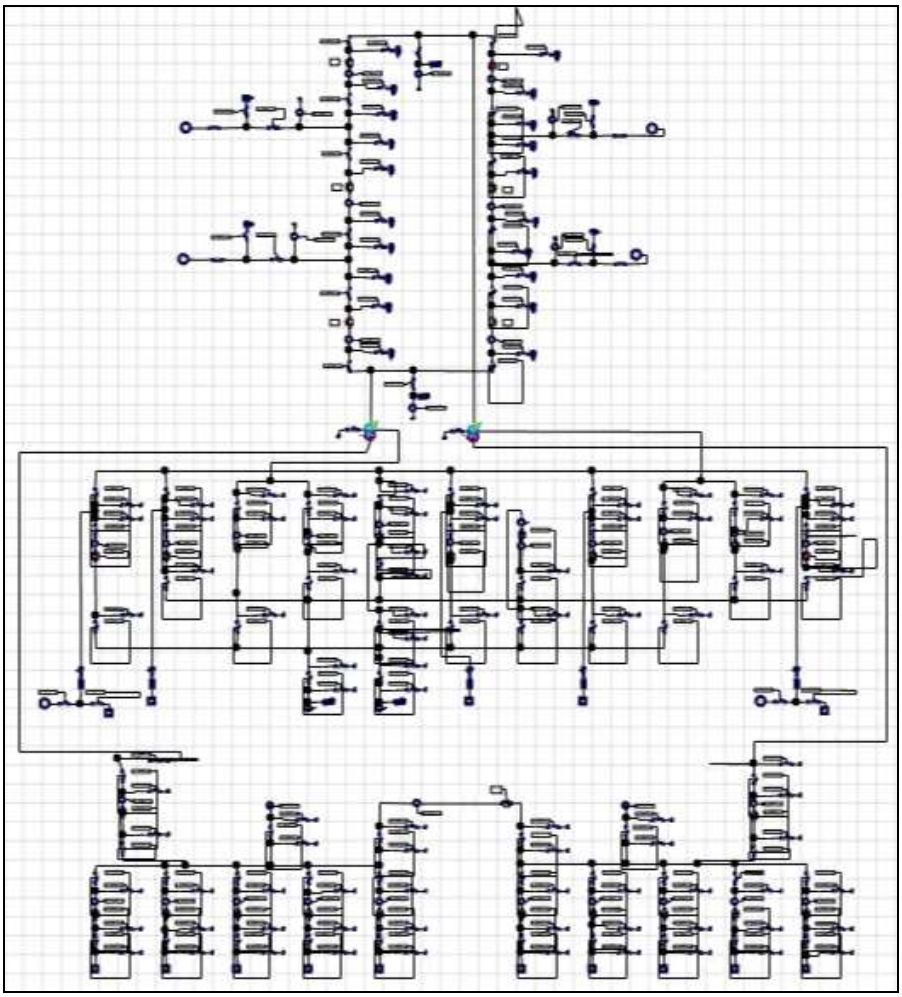


Рисунок 2 – Схема ПС Иээис в среде simintech

Цифровая модель подстанции разработана для повышения уровня знаний и навыков оперативно-диспетчерского персонала при диспетчеризации, и призвана решить проблему обучения, не имеющих знаний и навыков в оперативных переключениях студентов. Созданная модель позволяет в полном объеме решить только вторую задачу, но плохо решает проблему диспетчеризации. Повышение квалификации специалистов может быть

значительно эффективнее при индивидуальном моделировании схемы для каждой отдельно взятой подстанции.

Решить первую задачу и значительно расширить функционал подстанции помогла бы синхронизация цифровой модели с реальными текущими параметрами токов и напряжений на текущей подстанции посредством базы сигналов. Такой прием позволил бы отслеживать потери , тестировать релейную защиту, создавать аварийные ситуации для параметров текущего режима и многое другое. Для реализации необходимо посредством программного обеспечения обеспечить синхронизацию персонального компьютера и электроустановки, передача параметров режима в среду simintech возможна с помощью USB-порта персонального компьютера. Данные с амперметров и вольтметров, а также состояние коммутационных аппаратов возможно выводить на подмодель управления.

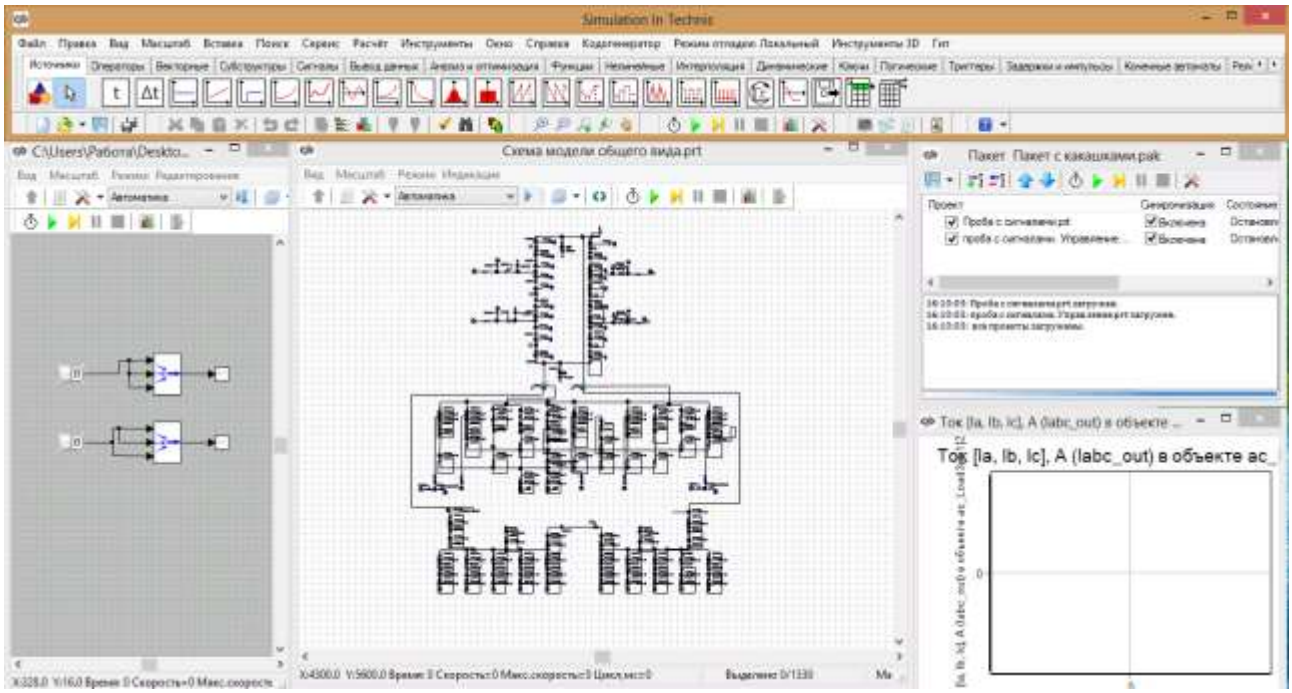


Рисунок 3 – Пакет проектов в simintech

Созданная цифровая модель позволяет исследовать и анализировать протекающие процессы, проводить оперативные переключения, изучать параметры каждого отдельного элемента электроустановки. В модели отсутствуют какие-либо ограничения при моделировании различных режимов, что дает возможность провести различного рода испытания без ущерба для реальной подстанции. Модель отлично подходит для анализа режима и процессов, но будет иметь низкую эффективность и применяемость для решения задачи диспетчеризации.

Как среда моделирования электрических цепей Simintech имеет ряд положительных качеств:

– возможность создания пакета проектов;

– возможность подключения внешних сигналов для считывания информации;

– возможность автоматической генерации кода;

– возможность подключения внешних модулей;

– возможность детального изучения процессов посредством просмотра параметров, графиков;

– возможность просмотра имитационных моделей программы;

– возможность создания своих блоков и корректировки существующих;

– возможность моделирования сразу нескольких различных процессов в одном проекте для полного просчета не только основного процесса, но и всех зависимых и зависящих подпроцессов.

Главными недостатками среды являются:

– низкая используемость графической и анимационной среды: медленная разработка;

– программа плохо настроена на взаимодействие с пользователем посредством графики;

– долгий отклик при работе с большими схемами;

– различные сбои линий связи.

Таким образом, текущая модель позволяет решить проблему обучения студентов, посредством моделирования аварий и изучения режима текущей подстанции. Для решения задачи диспетчеризации необходимо связать параметры цифровой схемы с её аналогом в реальном мире, что обеспечит более широкий функционал программы.

Список литературы

1. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кв. Типовые решения / СТО 56947007-29.240.30.010-2008 [Текст] : Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». – Дата введения 20/12/2007 – Электрон. текстовые дан. – [Россия?] , 2007 – . — Загл. с титул. экрана.

2. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС) / СТО 56947007-29.240.10.248-2017 [Текст] : Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС». – Дата введения 25/08/2017 – Электрон. текстовые дан. – [Россия?] , 2017 – . — Загл. с титул. экрана.

3. Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35-750 кВ / СТО 56947007-29.240.30.047-2010 [Текст] : Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». – Дата введения 16/06/2010 – Электрон. текстовые дан. – [Россия?] , 2010 – . — Загл. с титул. экрана.

4. Справочная система SimInTech (v13.04.2023) [Электронный ресурс] : ООО «3В Сервис» / SimInTech.– Версия 13/04/2023. — Электрон. текстовые дан. – [Россия?] , 2023 – . – Режим доступа : https://help.simintech.ru/. — Загл. с титул. экрана.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТРАСС ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ 0,4-10 КВ

Влацкая Л.А., канд. техн. наук, доцент, доцент, Швидок Д.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

С целью более полного удовлетворения потребностей в электрической энергии и обеспечении «централизованного» электроснабжения населения пригородных и сельских районов, а также в развивающихся дачных массивах и строящихся коттеджных поселках требуется строительство новых воздушных линий (ВЛ) напряжением 0,4-10 кВ по ненаселенной местности.

В условиях капитального строительства ВЛ 0,4-10 кВ актуальным остается вопрос выбора оптимальных (или близких к ним) трасс прохождения линий. Проектирование воздушных линий электропередач 0,4-10 кВ – достаточно трудоемкий процесс, требующий инженерных изысканий, которые зависят не только от природных условий (рельеф местности, районирование территории по климатическим условиям среды и т.д.), но и от характера проектируемых объектов. Как и для большинства проектов, связанных со строительством объектов, основным критерием выбора наилучшего варианта является экономический критерий – затраты.

Следует отметить, что в настоящее время отсутствуют четкие алгоритмы выбора оптимальных трасс воздушных линий. В руководящих документах, ПУЭ указаны лишь требования, которым должны соответствовать строящие ВЛ и ограничения на прохождение их трасс.

Встречаются работы [1-3], в которых освещаются лишь частные вопросы оптимального проектирования ВЛ. Методы и подходы, изложенные в них, несомненно, имеют практическую значимость, однако, не позволяют усовершенствовать процесс проектирования ВЛ с точки зрения разработки алгоритма выбора оптимальной трассы их прохождения.

Таким образом, разработка алгоритма выбора оптимальной трассы прохождения ВЛ 0,4-10 кВ по ненаселенной территории с учетом накладываемых ограничений на ее маршрут является актуальной задачей.

С точки зрения математики логистическую задачу выбора оптимальной трассы воздушной линии электропередач 0,4-10 кВ можно свести к решению оптимизационной задачи линейного программирования (к транспортной задаче) [4]. В такой постановке затраты на строительство ВЛ (F) равны сумме произведений удельных стоимостей передачи электроэнергии (c_{ij}) на величины передаваемых мощностей (x_{ij}) от источников i, $i=\overline{1,\ldots,n}$ к потребителям j, $j=\overline{1,\ldots,m}$.

Следовательно, подлежащая минимизации целевая функция, имеет вид:

$$F = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} c_{ij} x_{ij} \to \min \quad (1)$$

С учетом баланса мощностей в каждом из узлов, формируются (n+m) ограничений, имеющих вид равенств:

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = A_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = B_j \quad (3)$$

где A_i, B_j – мощности i-го источника и j-го потребителя соответственно.

Поскольку все передаваемые мощности (x_{ij}) от источников к потребителям неотрицательны, то граничные условия имеют вид:

$$x_{ij} \geq 0,\ i = \overline{1,\ldots,n},\quad j = \overline{1,\ldots,m} \quad (4)$$

Выражения (1-4) представляют собой математическую модель транспортной задачи.

Проведенный анализ научно-технической литературы [5; 6; 9] показал, что для решения транспортных задач используются разнообразные методы, среди которых: метод потенциалов, распределительный метод, венгерский метод, метод динамического программирования.

В данной статье представлен сравнительный анализ указанных методов.

Метод потенциалов позволяет, оттолкнувшись от некоторого допустимого решения, найти оптимальное за конечное число итераций [3].

Алгоритм метода потенциалов состоит из следующих этапов и процедур.

Этап 1. Составление начального (опорного) плана.

1.1 Формирование транспортной матрицы размерностью $n \times m$.

1.2 Определение допустимого решения.

Этап 2. Вычисление потенциалов и проверка критерия оптимальности плана.

2.1 Составление системы уравнений для базисных (заполненных) клеток $u_i + v_j = c_{ij}$. Поиск всех остальных потенциалов u_i и v_j при $u_i = 0$.

2.2 Определение косвенных стоимостей (оценок) Δ_{ij} для свободных ячеек: $\Delta_{ij} = u_i + v_j - c_{ij}$.

2.3 Проверка критерия оптимальности (условий): если все $\Delta_{ij} < 0$, то план перевозок оптимальный.

Этап 3. Формирование цикла пересчета и построение нового (улучшенного) плана.

3.1 Поиск начальной вершины цикла пересчета с $\max(\Delta_{ij})$ в ячейке. Если таких ячеек несколько, то выбирается $\min(c_{ij})$.

3.2 Построение цикла пересчета – ломаной линии, вершины которой расположены в базисных ячейках. Начальной вершине цикла присваивается знак «+». Далее знаки вершин чередуются.

3.3 Поиск среди отрицательных вершин цикла $\lambda = \min x_{ij}^{(-)}$ и последующее его перераспределение в соответствии со знаками вершин. В ячейках, не вошедших в цикл, переменные остаются неизменными.

3.4 Переход к этапу 2.

Венгерский метод. Основная идея метода заключается в переходе от исходной матрицы к эквивалентной ей матрице с неотрицательными элементами и системой n независимых нулей, из которых никакие два не принадлежат одной и той же строке или одному и тому же столбцу.

Алгоритм венгерского метода условно можно разбить на следующие этапы.

1. Подготовительный этап

Сформировать транспортную матрицу $X_0 = (x_{ij}[0])$ размерностью $n \times m$, элементы которой неотрицательны и удовлетворяют неравенствам:

$$\begin{aligned} &\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\left[0\right] \le a_i, i = 1,\ldots,n; \\ &\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\left[0\right] \le b_i, i = 1,\ldots,m. \end{aligned} \qquad (5)$$

Если условия (5) являются равенствами, то матрица X_0 – решение задачи.

2. Итерационный процесс поиска оптимального решения

Если среди условий имеются неравенства, то осуществляется переход к первой итерации. На k-й итерации строится матрица X_k. Близость этой матрицы к решению задачи характеризуется суммарной невязкой Δ_k:

$$\Delta_k = \sum_{i=1}^{m} a_i + \sum_{j=1}^{n} b_j - 2\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\left[k\right]. \qquad (6)$$

В результате первой итерации строится матрица X_1, состоящая из неотрицательных элементов, при этом $\Delta_1 < \Delta_0$. Если $\Delta_1 = 0$, то X_1 – оптимальное решение задачи. Если $\Delta_1 > 0$, то осуществляется переход к следующей итерации. Они проводятся до тех пор, пока Δ_k не станет равным нулю. Соответствующая матрица X_k является решением транспортной задачи.

Сущность *распределительного метода* состоит в последовательном улучшении опорного плана путем отыскания на каждом шаге выгодных циклов прокладки трассы.

Алгоритм распределительного метода состоит из следующих этапов.

1. Формирование транспортной матрицы размерностью $n \times m$.

2. Определение допустимого решения.

3. Производится оценка свободной клетки посредством построения для нее цикла и вычисляется величина s_{ij}.

Если $s_{ij} < 0$, то переход к этапу 4.

Если $s_{ij} \geq 0$, то оценивается следующая свободная клетка и так далее, пока не обнаружится клетка с $s_{ij} < 0$.

Если оценки всех свободных клеток положительны, то полученное решение является оптимальным.

4. По циклу, имеющему $s_{ij} < 0$, перемещается значение, равное наименьшей из поставок, размещенных в четных клетках цикла. То есть, в клетках, имеющих нечетные номера, значение увеличивается на минимальную поставку, а в четных уменьшается. Клетка, по которой выбиралась минимальная перемещаемая поставка, остается свободной. Далее возвращение к пункту 3.

В основе *метода динамического программирования* лежит разбиение сложных задач на мелкие подзадачи с последующим решением каждой из них, причем все подзадачи могут быть уникальными и чередоваться друг с другом.

Задачу динамического программирования в общем виде можно сформулировать следующим образом. Предположим, что некоторая управляемая система S находится в начальном состоянии $S_0 \in \overline{S_0}$. Посредством осуществления некоторого управления U система может перейти из начального состояния S_0 в конечное $S_k \in \overline{S_R}$, перемещаясь например, вдоль линии, изображенной на рисунке 1.

При этом качество управления U траекторией движения системы характеризуется соответствующим значением функции $W(U)$ (например, длина пути, пройденного системой под воздействием данного управления). Задача сводится к тому, чтобы из множества возможных траекторий движения системы найти такую, которая получается в результате реализации управления U^*, обеспечивающего наилучшее значение функции $W(U^*)$.

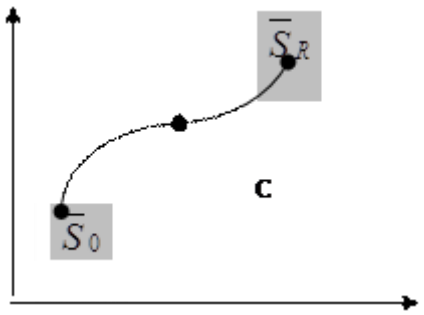


Рисунок 1 – Иллюстрация метода динамического программирования

Решении задач динамического программирования основано на соблюдении следующих принципов:

– отсутствие последствий. Считается, что состояние S_k, в которое пришла система из состояния S_{k-1} на k-ом шаге $(k = \overline{1..n})$ в результате

реализации управления U_k, зависит только от S_{k-1} и выбранного U_k и не зависит от того, каким образом система пришла в состояние S_{k-1}.

– аддитивность целевой функции. Если на k-м шаге ($k=\overline{1..n}$) получено значение целевой функции $W_k(S_{k-1},U_k)$, зависящее от исходного состояния системы S_{k-1} и выбранного управления U_k, то значение целевой функции за n шагов составит:

$$F=\sum_{k=1}^{n} W_k(S_{k-1},U_k). \quad (7)$$

В таблице 1 приведены достоинства и недостатки рассмотренных методов выбора оптимальных трасс воздушных линий.

Таблица 1 – Сравнительный анализ рассмотренных методов

	Наименование	Достоинства	Недостатки
1	Метод потенциалов	• простота применения; • эффективность для больших задач; • возможность учета ограничений.	• найденное решение не всегда оптимально; • невозможность учета динамических изменений.
2	Распределительный метод	• простота разработки алгоритма; • не требует вычисления потенциалов строк и столбцов.	• большое количество циклов пересчета, которые необходимо строить на каждой итерации.
3	Венгерский метод	• возможность оценивать близость результата каждой из итераций к оптимальному плану.	• трудоемкий процесс разработки алгоритма; • время работы алгоритма кубически зависит от размера матрицы.
4	Метод динамического программирования	• получение решения для полиэкстремальных задач, при дискретности переменных, недифференцируемости целевой функции и многошаговом характере решения; • размерность задачи по сравнению с исходной значительно ниже; • возможность решения как статических, так и динамических задач.	• большой объем накапливаемой промежуточной информации в памяти ЭВМ; • не универсальность (не все задачи поддаются разбиению на подзадачи)

Проведенный анализа позволил сделать вывод, что для решения поставленной задачи наиболее целесообразным является метод динамического программирования.

Список литературы

1. Горлов, А. Н. Оптимизация трассы прохождения воздушной линии электропередачи / А. Н. Горлов, В. Э. Деденко, И. В. Брежнев // Наука молодых – будущее России : сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 8-ми томах. – Издательство: Юго-Западный государственный университет (Курск), 2019. – С.64-68.

2. Болонова, И. Е. Выбор оптимальной трассы кабельных линий 6-10 кв для прокладки в городской среде / И. Е. Болонова, Ю. В. Викулова, Н. С. Быков // Научный электронный журнал «Инновации. Наука. Образование \ Отв. ред. Сафронов А.И. – Тольятти, 2020. − № 20 (октябрь). − С. 903-908.

3. Коновалов, С.И. Моделирование случайных процессов автомобильного транспорта. Часть I. / С.И. Коновалов, В.В. Савин. – Владимир : ВлГУ, 2004. – 322 с.

4. Коновалов, С.И. Моделирование производственных процессов автомобильного транспорта. Учебн. пособие / Владим. гос. ун-т; Сост. С.И. Коновалов, С.А. Максимов, В.В. Савин. – Владимир, 2005. – 244 с.

5. Алехин, Р.В. Анализ вариаций транспортных задач / Р.В. Алехин, О.В. Косенко // Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика : сборник трудов IV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2015. – Издательство: Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону), 2015. – С. 159-161.

6. Пилипчук, Л.А. Алгоритм решения производственно транспортной задачи на обобщенной сети с дополнительными ограничениями / Л.А. Пилипчук // VIII Белорусская математическая конференция: Тезисы докладов международной конференции. 2000. – Издательство: Институт математики НАН Беларуси (Минск), 2000. – С. 82-83.

7. Решение транспортной задачи на примере строительства протяженных объектов / А. С. Кадыров и [др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 6–2. – С. 224-227.

8. Бестембек, Е. С. Разработка алгоритма решения многофакторной модель транспортной и складской задач при механизации строительных работ / Е. С. Бестембек, А.Ф. Секербаева // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации. – 2015. – 196 с.

9. Таха, Хемди А. Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – 7-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 236 с.

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

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

Данная тема актуальна, в виду программы Российской Федерации “Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности” от 30 ноября 2010 г. Данная программа направлена на развитие промышленного потенциала, для повышения производительности, а в нынешнее время и импортозамещению российскими промышленными компаниями на внутреннем и мировом рынках [1].

Прогресс в промышленности страны неразрывно связан с уровнем развития машиностроения и, в частности, станкостроения. На сегодняшний день предприятиям требуется модернизировать станки, работающие еще со времен СССР. Эта проблема представляет особый интерес и является актуальной для исследования и разработки.

При анализе научно-технической литературы в области систем управления электропривода, были выбраны следующие системы: ПЧ-АД, ТП-ДПТ и сервопривод.

В настоящем научном исследовании предполагается проведение проектировочных расчетов модернизированных ЭП и их моделирование. Далее на основе анализа технических характеристик разработанных ЭП и сравнении стоимости проведения их модернизации будет рекомендован наилучший, для внедрения на машиностроительное предприятие.

Станок, рассматриваемый в моем исследовании (марки 2620В), имеет три привода, главный привод, привод подачи и привод поворота стола, изображенных на кинематической схеме станка, рисунок 1 [2].

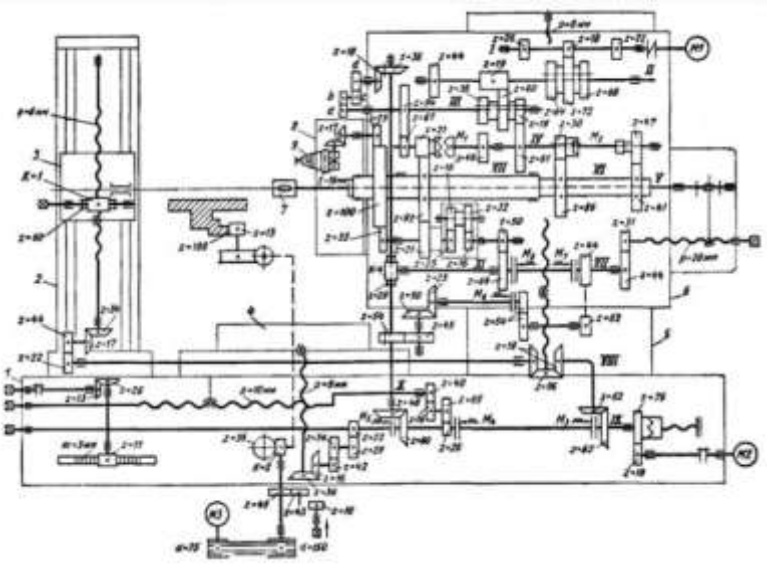


Рисунок 1 – Кинематическая схема станка

Станок включает в себя следующие двигатели:

М1 – электродвигатель АО2-52-4/2-СI;

М2 – электродвигатель ПБСТ-42;

М3 – электродвигатель АОЛС2-22-4.

Сам термин “система управления электропривода” подразумевает комплекс технических средств, формирующих и осуществляющих воздействия на двигатель с целью управления рабочего органа производственной установки в соответствии с технологическими требованиями.

Система управления преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД), является основным способом регулирования скорости, путем изменения частоты напряжения на статоре. Позволяет обеспечить бесконтактный реверс, а также с его помощью возможно плавное или ступенчатое регулирование оборотов двигателя. Однако при применении в данную модель станка необходимо также установить энкодер. Типичным представителем закона частотного регулирования является закон $U/f = const$, когда соотношение напряжения и частоты статора поддерживается постоянным. При этом в систему электропривода можно не включать отрицательную обратную связь, при этом система обладает ограниченном диапазоном регулирования скорости [3].

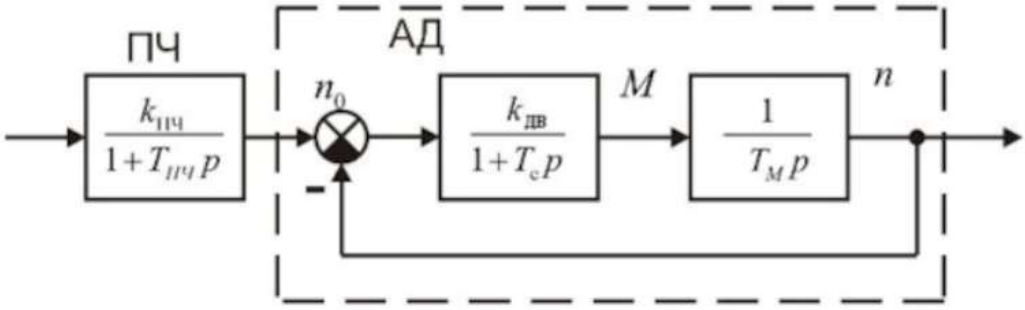


Рисунок 2 – Функциональная схема системы ПЧ-АД

В настоящее время в автоматизированных электроприводах с широким диапазоном регулирования скорости преобладает система тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока. Для данного станка возможна доработка существующего привода подачи, но при этом усложняется система управления приводом.

Данная система управления может быть выполнена в двух вариантах, таких как трёхфазный нулевой нереверсивный преобразователь и трехфазный нулевой реверсивный преобразователь. Данные схемы представлены на рисунке 3.

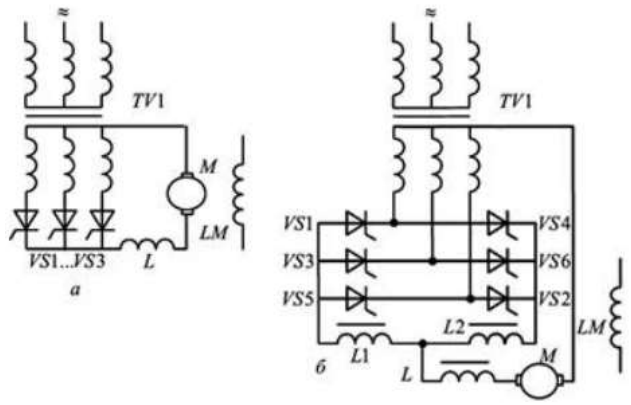


Рисунок 3 – Схемы электроприводов с тиристорными преобразователями

Третьим рассмотрим сервопривод, который включает в себя электродвигатель с блоком управления, который за счет обратной связи может точно поддерживать заданное положение вала или постоянную скорость вращения. Данный тип привода используется для управления механизмом перемещения, позиционирования и обработки деталей на производственных линиях. В промышленности для управления чаще все используют ЧПУ – контроллеры, на основе программируемых логических контроллерах (ПЛК). При его установке увеличивается плавность и точность перемещений, в скупе с надежностью и безотказностью, возможно использование его в ответственных устройствах, но в данном случае потребуется демонтаж нынешнего привода подачи электромеханического устройства вместе с двигателем, с применением ПЛК происходит и удорожание модернизации. Схема подключения сервопривода изображена на рисунке 4.

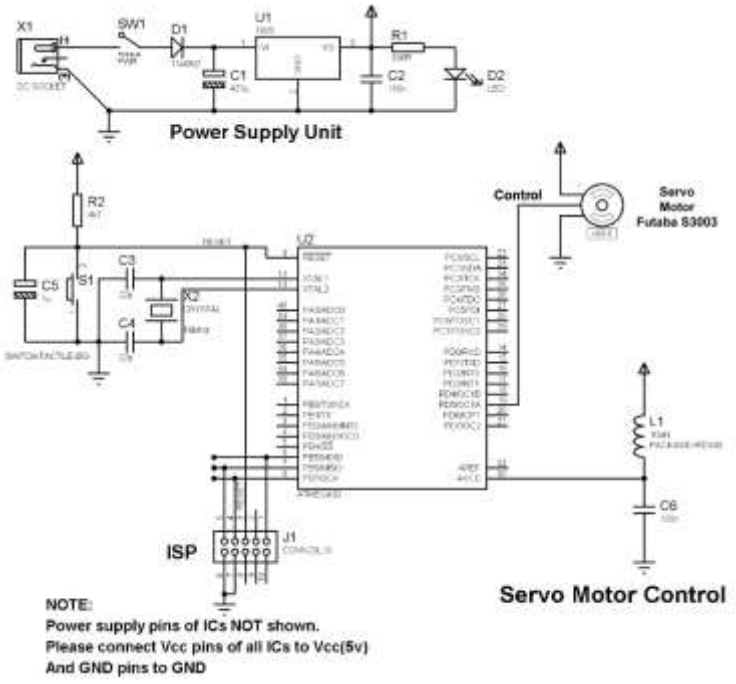


Рисунок 4 – Схема подключения сервопривода

По окончанию анализа научно-технической литературы, были выявлены следующие достоинства и недостатки выбранных систем управления электроприводом для модернизации станка модели 2620В, для удобства представления проведенного анализа полученные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки систем управления электроприводом

Выбранные системы управления	Достоинства	Недостатки
ПЧ-АД	1. Обеспечивает бесконтактный реверс привода. 2. Возможность плавного и/или ступенчатого регулирования / установки оборотов.	1. Необходимость установки энкодера для ОС по скорости. 2. Учитывание защиты от перенапряжения.
ТП-ДПТ	1. Доработка существующего привода подачи. 2. Увеличение точности задания перемещения заготовки.	1. Дорогая разработка тиристорного преобразователя под конкретную модель станка. 2. Усложнение системы управления приводом.
Сервопривод	1. Плавность и точность перемещений. 2. Надежность и безотказность, а следовательно, возможность использовать его в ответственных устройствах.	1. Демонтаж имеющегося привода ЭМУ и двигателя подач. 2. Дороговизна из-за применения ПЛК.

Рассмотренные системы управления электроприводами являются наиболее распространёнными и достаточно эффективными для использования их в модернизации горизонтальнорасточного станка модели 2620В.

Список литературы

1. Электронный ресурс: Документы Правительства РФ. Стр. 1, Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. N 328 " (garant.ru)

2. Руководство по эксплуатации горизонтальнорасточного станка. Модель 2620В. – Ивановский завод тяжелого станкостроения, 1973. - 85с.

3. Воронин, П.А. Системы управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода: методические указания по курсу «Системы управления электроприводов» / П.А. Воронин; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2011. - 51 с

АНАЛИЗ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И НОМЕНКЛАТУРЫ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РАЙОНОВ ГОРОДА

Влацкая Л.А., канд.техн.наук, доцент, Яковлев Н.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В российских городах темпы градостроительства увеличиваются с каждым годом, так, например, градостроительный потенциал за период с июня 2022 года по июнь 2023 года вырос на 6% (заявление зам. Пред. Правительства РФ от 08.06.2023), а общий градостроительный потенциал в перспективе будущих пяти лет составляет 400 млн. $м^2$ (заявление Минстроя РФ от 27.03.23). В национальном проекте «Жилье и городская среда» (действует с 2019 года) выдвигается цель об увеличении объемов строительства жилищного фонда не менее чем до 120 млн. $м^2$ в год, что нераздельно связано со строительством новых систем электроснабжения (СЭС), реконструкцией и модернизацией существующих СЭС.

Анализ работ, связанных с принятием решения по развитию и функционированию СЭС [1-3], позволил заключить, что для обоснования выбора необходимо учитывать ряд критериев, как количественных, так и качественных. К количественным критериям могут быть отнесены критерии следующих групп:

– экономические, такие как: капитальные затраты на строительство СЭС; прибыль; рентабельность производства и др.;

– технические: критерии надежности (показатель безотказной работы оборудования; интенсивность отказов; среднее время восстановления и т.п.); показатели качества электрической энергии (отклонение напряжения от своего номинального значения; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения; отклонение частоты и др.); потери электроэнергии и др.;

– экологические, такие как: уровни шума, вибрации от эксплуатации оборудования; площадь вырубки зеленых насаждений и т.п.

К качественным критериям можно отнести критерии социокультурной группы, такие как: соответствие новых объектов энергетики общей градостроительной тенденции города; культурно-историческая ценность территории; риск ущерба престижа организации и др.

Следует отметить, что в процессе принятия решений по развитию и функционированию СЭС также необходим учет интересов различных сторон, каждая из которых выделяет свой наиболее значимый критерий (например, для инвесторов – это объем получаемой прибыли, для потребителей – обеспечение надежного электроснабжения надлежащего качества).

Таким образом, в задачах модернизации, реконструкции или строительства новых систем электроснабжения, связанных с оптимальным выбором силового оборудования, необходимо применение многокритериального анализа вариантов, что обуславливает актуальность темы исследования. А ввиду того, что критерии принятия решения могут быть представлены в различных формах (количественной и качественной), то целесообразным является разработка модели, сочетающей в себе формальные методы с опытом и интуицией экспертов и специалистов в этой области.

На сегодняшний день в электроэнергетике применяются различные методы многокритериального выбора, которые авторами условно разделены на четыре группы, в зависимости от характера используемых критериев и возможности их упорядочения:

– многокритериальные методы, сводящиеся к однокритериальным;

– методы свертки;

– методы экспертного оценивания;

– комбинированные методы.

К первой группе отнесены методы многокритериального выбора, сводящие решение задачи к однокритериальной модели: метод выделения главного критерия и метод последовательной уступки [4].

При использовании метода выделения главного критерия, один из критериев выбирается в качестве главного, а оставшиеся переводятся в ограничения.

Сущность метода последовательных уступок сводится к поочередному поиску экстремума каждого из частных критериев и заданием на каждом шаге величины уступки. Перед применением метода требуется осуществить ранжирование критериев по важности (значимости).

Ко второй группе отнесены методы свертки: аддитивной и мультипликативной [5]. Данные методы предусматривают «свертку» частных критериев для получения какого-либо итогового результирующего критерия, который будет являться скалярным.

Отличие данных методов состоит в том, что в методе аддитивной свертки производится суммирование нормированных значений частных критериев, а в методе мультипликативной – их перемножение.

К третьей группе отнесены методы экспертного оценивания: метод непосредственного оценивания; метод парных сравнений; метод обобщенных ранжировок [6,7]. Методы экспертного оценивания применяются при необходимости учета сильно различающихся критериев, влияющих на результат, а также для формирования разносторонних взглядов на изучаемую проблему. При использовании данных методов задействуются эксперты – люди, которым необходимо предписать числовые значения каким-либо характеристикам или свойствам рассматриваемого объекта, чтобы выразить степень его влияния на конечный результат.

В случае непосредственных оценок объект рассматривается отдельно взятым от других, а при проведении попарного сравнения выбираются два

объекта и сравниваются между собой с помощью заданных числовых значений. Сущность метода обобщенных ранжировок заключается в том, что экспертам необходимо расположить объекты в порядке предпочтения.

В четвертую группу выделен метод анализа иерархий (МАИ), так как он является комбинированным – сочетает в себе экспертные оценки и аналитические модели [8,9]. Данный метод предусматривает представление изучаемой проблемы в виде иерархии с возможностью ее структуризации, что позволяет выполнить исчерпывающую количественную оценку для определения наиболее подходящего решения среди нескольких альтернативных вариантов.

В таблице 1 представлены результаты выполненного сравнительного анализа методов многокритериального выбора, условно разбитых на 4 группы.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов многокритериального выбора

№ группы	Наименование	Достоинства	Недостатки
1	Сводящие многокритериальные задачи к однокритериальным: – выделение главного критерия; – метод последовательной уступки	– отсутствие высоких требований к подготовке экспертов; – отсутствие необходимости в нормализации критериев. – простота реализации в задачах с упорядоченными критериями; – возможность проведения анализа влияния уступок на принимаемое решение.	– сведение задачи к однокритериальной; – необходимость задания допустимых значений частных критериев, переводимых в разряд ограничений; – необходимость формирования экспертных оценок для назначения приоритетов локальных критериев и уступок по каждому из них; – вероятность исчерпания резерва поиска оптимального решения раньше, чем рассмотрены все локальные критерии.
2	Методы свертки: – аддитивная свертка; – мультипликативная свертка.	– простота их реализации в инженерных задачах; – возможность регулирования степени влияния критериев на конечный результат за счет весовых коэффициентов значимости локальных критериев.	– необходимость нормирования всех локальных критериев; – вероятность взаимной компенсации локальных критериев за счет весовых коэффициентов их важности.

Продолжение таблицы 1

3	Методы экспертного оценивания: – метод непосредственное оценивание; – метод попарных сравнений; – метод обобщенных ранжировок.	– возможность оценивания объектов, обладающих характеристиками, которые невозможно выразить в количественной форме (качественные характеристики).	– субъективность оценок экспертов по принимаемому решению; – ограниченная точность; – трудоемкость реализации при большом количестве сравниваемых объектов (решений).
4	Метод анализа иерархий (МАИ)	– попарность сравнений, что обеспечивает концентрацию внимания экспертов на паре сравниваемых вариантов, а не на их множестве; – возможность количественной оценки степени предпочтительности посредством рейтингования; – отсутствие необходимости удалять или заменять факторы в процессе решения; – наличие отношения согласованности; – наличие вербально-числовой шкалы.	– использование транзитивности для качественных показателей может привести к противоречию с логикой исследователя; – «обратная» логика в результате отклонения от некой статистической характеристики; – трудоемкий процесс формирования структуры модели принятия решения.

Проведенный анализ методов многокритериального выбора позволил заключить, что наиболее целесообразным методом принятия решений по развитию и функционированию СЭС является МАИ, поскольку он позволяет осуществить интеграцию аналитических и экспертных методов принятия решений.

Дальнейшее исследование планируется направить на разработку алгоритма экспертно-аналитической модели многокритериального выбора

основных параметров и номенклатуры силового оборудования СЭС района города на базе метода анализа иерархий.

Список литературы

1. Семенова, Л.А. Многокритериальный анализ моделей развития систем электроснабжения в условиях неопределенности / Л.А. Семенова // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2016. – № 4. – С. 39-46.

2. Малафеев, А.В. Выбор вариантов реконструкции системы электроснабжения на основе теории нечетких множеств и критериев теории принятия решений / А.В. Малафеев, А.И. Юлдашева // Проблемы энергетики, 2019. – Т. 29. – № 3-4. – С. 67-76.

3. Семенова Н.Г., Алгоритм принятия решения по развитию объекта систем электроснабжения / Н.Г. Семенова, А.Д. Чернова // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – №2(51). – С. 12-18.

4. Воропай, Н.И. Обоснование развития электроэнергетических систем: Методология, модели, методы, их использование / Н.И. Воропай, С.В. Подковальников, В.В. Труфанов. – Новосибирск: Наука, 2015. – 448 с.

5. Ванеева, М.В. Оптимальные алгоритмы свертки однородных показателей свойств (качества) сложных природных, природно-антропогенных и технических систем / М.В. Ванеева, В.Д. Попело, В.В. Мысив, Д.К. Проскурнин. – Модели и технологии природообустройства, 2017. – № 5. – С. 120-126.

6. Шабаева, Ю.И. Групповая экспертная оценка значимости факторов на основе использования метода парного сравнения / Ю.И. Шабаева // Инженерный вестник «Дона». – 2014. – № 4. – С. 109-118.

7. Самохвалов Ю.Я. Экспертное оценивания: Методический аспект / Ю.Я. Самохвалов, Е.М. Науменко. – Киев: ДУИКТ, 2007. – 264 с.

8. Тутыгин, А.Г. Преимущества и недостатки метода анализа иерархий / А.Г. Тутыгин, В.Г. Коробов // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. Естественные и точные науки. – 2010. – № 122. – С. 108-115.

9. Середенко, Н.Н. Развитие метода анализа иерархий (МАИ) / Н.Н. Серденко // Открытое образование. – 2011. – № 2. – С. 39-48.

МЕТОДИКА СНЯТИЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

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

Воль-амперная характеристика (ВАХ) солнечной панели представляет собой график, которой отображает зависимость выходного напряжения от выходного тока при различных условиях освещения и температуры.

Обычно ВАХ солнечной панели представлена в виде кривой, которая имеет несколько основных областей.

- Область короткого замыкания: в этой области солнечная панель имеет максимальный выходной ток, но при этом выходное напряжение близко к нулю. То есть, в данном случае вся вырабатываемая энергия тратится на протекание тока через внешнюю нагрузку.
- Область свободной работы: здесь выходной ток равен нулю, а выходной напряжение достигает своего максимального значения. Это происходит, когда обратное напряжение сильно препятствует протеканию тока через солнечную панель.
- Рабочая область: в этой области солнечная панель способна предоставить максимальную мощность. ВАХ в этой области является искривленной кривой, которая показывает, как изменяется выходное напряжение и выходной ток при изменении внешней нагрузки.

Форма и параметры ВАХ зависят от типа солнечных панелей и их конструкции. Каждая конкретная модель будет иметь свою уникальную характеристику. Она является важным инструментом для определения оптимальных условий работы солнечной панели и управления ее выходной мощностью.

Поэтому рассмотрим методику снятия ВАХ солнечной панели.

Методика получения вольт-амперной характеристики солнечной панели

Солнечная панель имеет нелинейную ВАХ из-за зависимости источника энергии от напряжения и тока. Внешняя характеристика солнечной панели имеет форму, близкую к кривой мощности, и может быть описана с использованием модели эквивалентного схемотехнического представления.

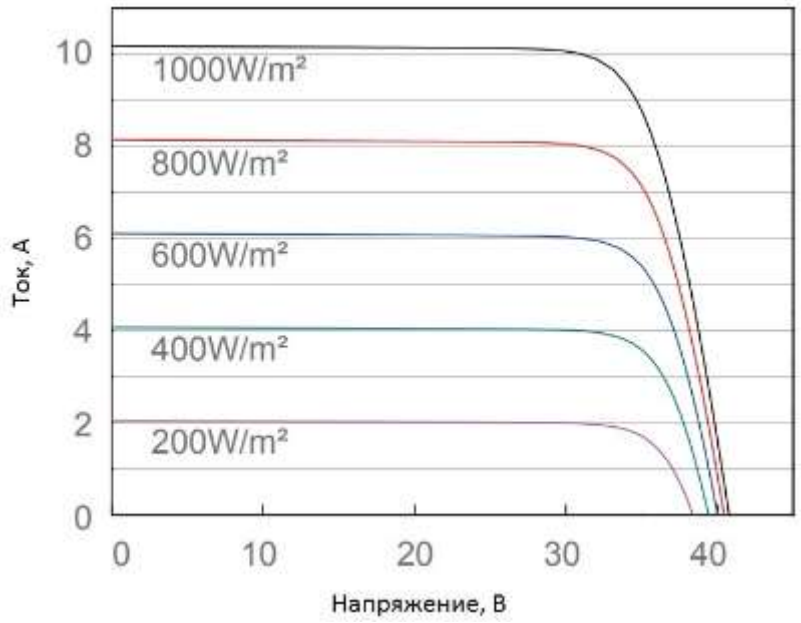


Рисунок 1 – Пример вольт-амперной характеристики солнечной панели [3]

На низких значениях напряжения, когда панель работает в состоянии короткого замыкания, ток через нее максимален, но напряжение равно нулю. На высоких значениях напряжения, когда панель работает в открытом состоянии, напряжение максимально, но ток приближается к нулю.

Максимальную мощность солнечной панели можно получить на точке максимальной точке на ВАХ, называемой точкой максимальной мощности (MPPT). При MPPT панель работает на оптимальном уровне энергопроизводительности, где учтены все внешние факторы, такие как интенсивность освещения, температура, загрузка и т.д.

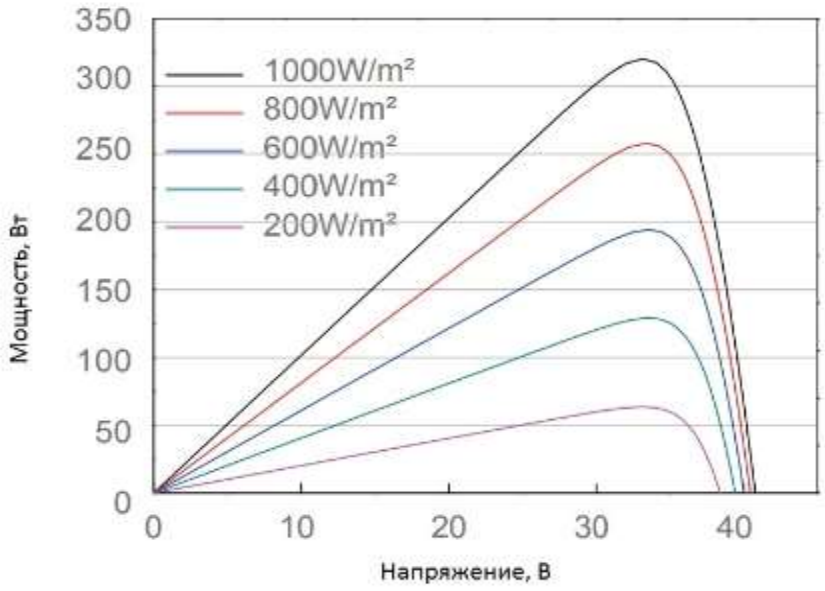


Рисунок 2 – Пример графика максимальной мощности солнечной панели [3]

Для получения вольт-амперной характеристики солнечной батареи необходимо произвести измерения напряжения на выводах солнечной батареи при различных нагрузках. Для изменения нагрузки солнечной батареи можно использовать различные устройства, которые влияют на вырабатываемый ток. Таким образом, схема изображенная на рисунке 3 позволяет производить измерения при различных нагрузках и получить информацию о вольт-амперной характеристике солнечной батареи.

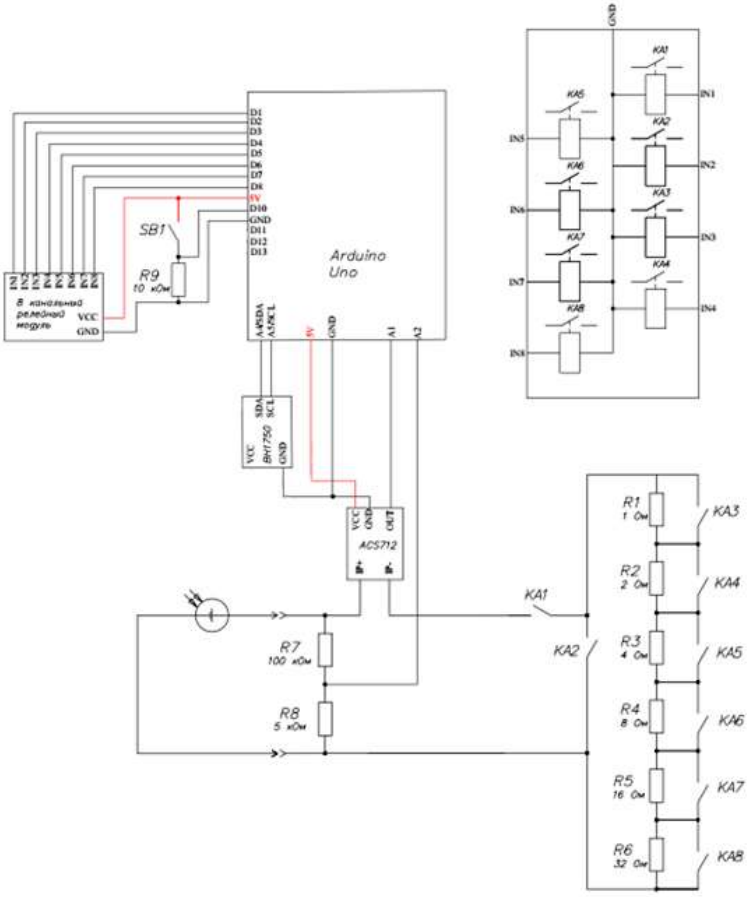


Рисунок 3 – Схема подключения компонентов для снятия ВАХ

Предлагается следующий алгоритм проведения измерений.

1. Солнечная батарея подключается к выводам стенда.
2. С помощью реостата R9 выставляется необходимый уровень освещенности солнечной батареи.
3. Нажатием на кнопку SB1 запускается процесс измерения.
4. Микроконтроллер считывает значения освещенности, записывает их для того, чтобы было известно для каких условий снимается ВАХ.
5. Микроконтроллер считывает напряжение при разомкнутых контактах реле. Ток при этом равен нулю, а напряжение – напряжению холостого хода. Напряжение может быть записано в память, либо передано в COM-порт.

6. Микроконтроллер замыкает контакт КА1, солнечная панель оказывается замкнутой на сопротивление 1+2+4+8+16+32=64 Ом.
7. Микроконтроллер считывает значения напряжения и тока и записывает их в память. Таким образом получена одна точка ВАХ.
8. После проведения измерения, микроконтроллер подает команду на замыкание контакта КА3, тем самым шунтируя резистор R1. В этом случае солнечная панель оказывается замкнутой на сопротивление в 63 Ом.
9. Микроконтроллер считывает значения протекающего напряжения и тока и записывает их в память. Таким образом получена еще одна точка ВАХ.
10. Процесс повторяется до тех пор, пока не произойдут измерения при всех возможных сочетаниях замыкания/размыкания контактов КА3-КА8 и измерение тока КЗ панели (замыкание контакта КА2).
11. После окончания измерений, по полученным точкам строится вольт-амперная характеристика солнечной батареи.

В результате можно сделать вывод, что солнечная панель является нелинейным элементом с зависимостью напряжения от тока по нелинейному закону. Это означает, что изменение тока, проходящего через панель, не пропорционально изменению напряжения на ней. Вместо этого, наблюдаются нелинейные взаимосвязи, обусловленные различными физическими процессами, происходящими внутри панели.

А так же ВАХ солнечной панели будет различаться в зависимости от уровня освещенности. Это означает, что с изменением освещенности количество генерируемой солнечной энергии и электрические параметры панели (напряжение и ток) также будут меняться. Этот вывод подчеркивает важность учета освещенности при анализе и оптимизации работы солнечных панелей.

Список литературы

1. Белова И. А. Фотоэлектрическая система генерирования на базе полупроводникового преобразователя с нейросетевой системой управления: дис. … канд. тех. наук: 05.09.03 / Белова Ирина Анатольевна – Новосибирск, 2022. – 164 с.

2. Зиновьев В.В., Бартенев О.А. Устройство автоматического снятия вольт-амперных характеристик фотоэлектрических преобразователей // Управление техносферой:электрон. журнал, 2019 Т.2. Вып.4. URL: http:// http://f-ing.udsu.ru/technosphere

3. «GreenPowerTalk» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://greenpowertalk.tech/blog/ru/вольт-амперная-характеристика-солне/