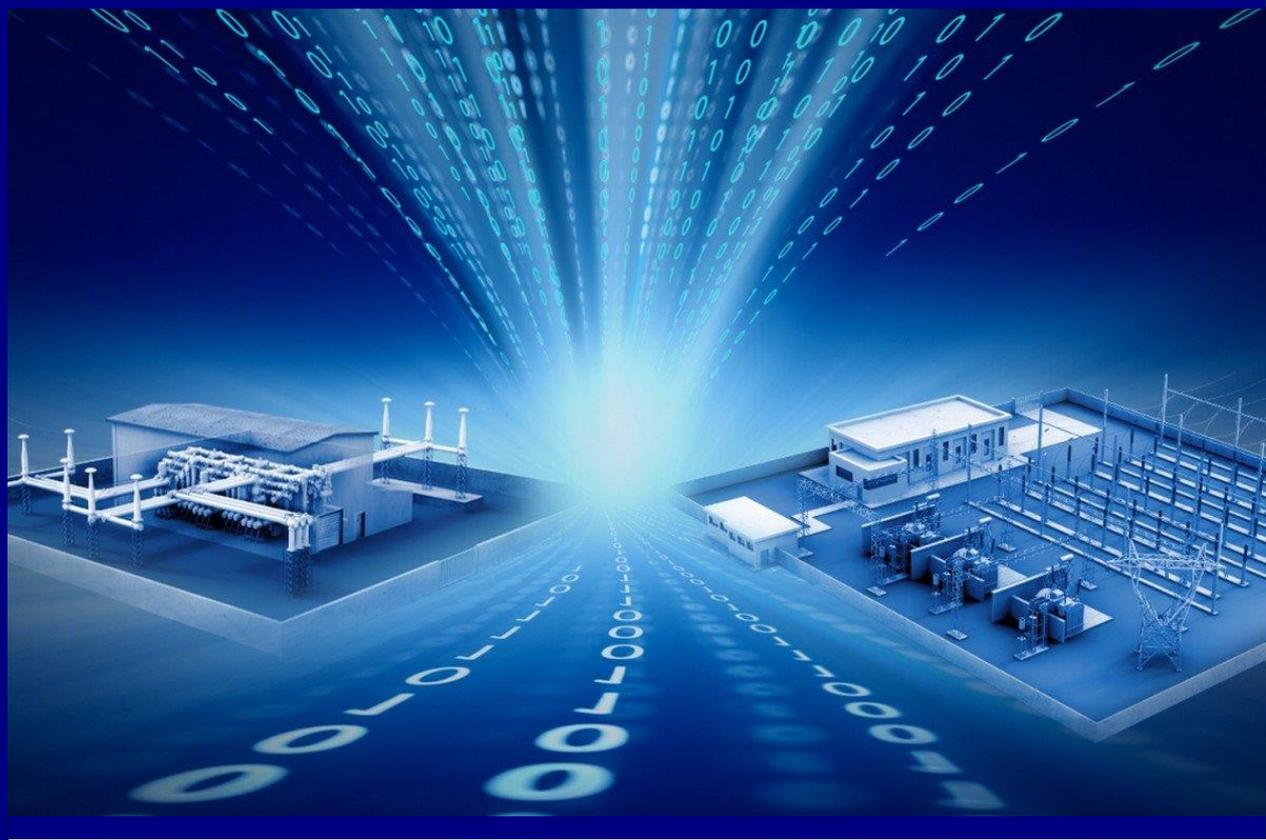


III ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО- ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



«ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО – ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

14-15 декабря 2022 г.

Липецк

Липецкий государственный технический университет

12+

2022

УДК 621.3

Рецензенты: С.Ю. Петрова, к.т.н., доцент;
В.Ф. Калинин, д.т.н., профессор.

Энергетика будущего – цифровая трансформация. Сборник трудов всероссийской научно-практической конференции. 14 – 15 декабря. – Липецк : Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2023. – 316 с. – Текст : электронный.

ISBN 978-5-00175-182-3

В сборнике представлены статьи научно-практической конференции по техническому направлению.

Издано в авторской редакции

ISBN 978-5-00175-182-3

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ**Председатель**

Сараев П.В. – ректор ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк., доктор технических наук.

Сопредседатели

Боев М. В. – начальник управления энергетики и тарифов Липецкой области, г. Липецк, кандидат технических наук.

Востриков К. В. – заместитель генерального директора ППК «Фонд развития территорий», г. Москва

Чеботарев С. В. – вице-президент по энергетике ПАО «НЛМК», г. Липецк.

Мордыкин В. В. – заместитель генерального директора — директор филиала ПАО «Россети Центр»- «Липецкэнерго», г. Липецк

Члены программного комитета

Косолапов А. Б. – заместитель директора по реализации и развитию услуг филиала «Россети Центр» -«Белгородэнерго», г. Белгород, кандидат технических наук

Вязовова О. В. – начальник управления по работе с персоналом филиала «ПАО Россети Центр» -«Тамбовэнерго», г. Тамбов

Колубанов И. В. – первый заместитель директора – главный инженер филиала ПАО «Россети Центр» -«Орелэнерго», г. Орел

Кузенков С.Е. – проректор по научной работе и инновациям, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк., кандидат технических наук

Галкин А. В. – декан факультета Автоматизации и информатики ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк., кандидат технических наук

Муромцев Д. Ю. – проректор по научной работе, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, доктор технических наук

Харин А. Н. – генеральный директор ООО «НОВИТЭН», г. Липецк

Воробцов С. В. – первый заместитель генерального директора ОАО «ЛЭСК», г. Липецк

Шейкин И. С. - генеральный директор ООО НПП «Комплексные интеллектуальные технологии», г. Санкт-Петербург

Шишов А.Ю. – директор НИИ конструкционных материалов и технологических процессов МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, кандидат технических наук

Сычев Ю. А. – профессор кафедры Электроэнергетики и электромеханики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Виноградов А. В. – Ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, доктор технических наук

Степанов В. М. – заведующий кафедрой «Электроэнергетика» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, доктор технических наук

Чернышова Т. И. – директор института энергетики, приборостроения, радиоэлектроники ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов, доктор технических наук

Петрова С. Ю. – заведующий кафедрой «Интеллектуальные сети энергоснабжения», ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, кандидат технических наук

Эзирбаев Т. Б. – директор института энергетики ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М. Д. Миллионщикова», г. Грозный, кандидат технических наук

Грачева Е. И. – профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», ФГБОУ ВО Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, доктор технических наук

Клюев Р. В. – заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ, доктор технических наук

Инаходова Л. М. – директор филиала в г. Белебей, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Белебей, кандидат технических наук, доцент

Бородин М. В. – заведующий кафедрой «Электроснабжение» ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, г. Орел; кандидат технических наук

**III ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО — ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»****14-15 декабря 2022 г.****ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ****Председатель**

Зацепина В. И. – профессор кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, доктор технических наук.

Сопредседатель

Зацепин Е. П. – заведующий кафедрой «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, кандидат технических наук, доцент

Члены оргкомитета

Шачнев О.Я. – доцент кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, кандидат технических наук

Телегин В.В. – доцент кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, кандидат технических наук

Лаврухин Р.В. – лаборант кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Деревнина В.С. – магистрант кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Трофимова Е.Р. – магистрант кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Кожевников В.Е. – магистрант кафедры «Электрооборудование» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк

Подготовлено Липецким государственным техническим университетом

Адрес редакции:**398055, Липецк, ул. Московская, 30.****E-mail: kaf-eo@stu.lipetsk.ru****Контактные телефоны: (4742) 32–80–48; 32–80–49.****Факс: (4742) 32–80–48****©ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», 2022**

СОДЕРЖАНИЕ

ЦИФРОВИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Кожевников В.Е., Зацепина В.И. Определение места повреждения на магистральных воздушных линиях электропередачи 6-35 кВ с изолированной нейтралью.....	8
Виноградова А.В., Виноградов А.В., Гладов Д.А. Структурная схема устройства сезонного резервирования электроснабжения.....	12
Виноградов А.В., Панфилов А.А., Большев В.Е., Калугин Е.С. Алгоритм работы комплекса мониторинга надёжности электроснабжения и отклонения напряжения	16
Фролов А.Л. Диагностика механического состояния обмоток силового трансформатора.....	22
Лисовин Г.Б. Цифровизация как фактор устойчивого развития ТЭК	25
Артамонов И.В., Зацепина В.И. Роботизированная система как наиболее эффективное средство осмотра электрооборудования на подстанциях	30
Покидов О.А., Зацепина В.И. Фильтр симметричных составляющих в качестве устройства РЗА.....	34
Минина В.Н., Зацепина В.И. О корректности срабатывания микропроцессорной релейной защиты на примере ГПП-9	37
Куликов Ф.А. Разработка алгоритма определения места повреждения воздушной линии на основе синхронизированных векторных измерений	41
Зимовец А.И., Зацепина В.И. Применение микропроцессорной релейной защиты в передвижных приключательных пунктах.....	45
Фролов К.В., Инаходова Л.М. Метод определения неисправности электрических изоляторов	48
Фомин И.Н. Разработка способов дистанционного контроля работы высоковольтных выключателей	52
Кретинин К.А., Зацепина В.И. Использование методов компьютерного зрения для упрощения работы нейронной сети, обрабатывающей результаты работы летательных аппаратов для анализа работы линий электропередачи.....	56

Степанов В.М., Свистунов Н.А., Карпунин Д.А. Принципы цифрового управления реактивно-вентильной электрической машиной.....	59
Зацепина В.И., Астанин С.С. Инновации в развитии цифровых подстанций	62
Зацепина В.И., Астанин С.С. Цифровые лаборатории ЛГТУ	65
Каменская М.А., Уютнов А.А., Артемова С.В. Цифровая система контроля и учёта электроэнергии.....	69
Кретинин К.А., Зацепина В.И. Перспектива применения нейронных сетей для обработки результатов работы беспилотных летательных аппаратов для анализа работы линий электропередачи	72

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭНЕРГО-
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Чернышова А.А. Влияние несинусоидальности и колебаний напряжений на работу потребителей.....	75
Моргоева А.Д., Клюев Р.В., Моргоев И.Д. Сравнительный анализ методов среднесрочного прогнозирования потребления электроэнергии для промышленных объектов.....	79
Петров А.Р., Грачева Е.И. Разработка моделей технических характеристик автоматических выключателей.....	82
Соловьёв С.С., Бабанова И.С. Повышение энергоэффективности и надёжности горных предприятий на основе анализа графиков электрических нагрузок	86
Козлова Ю.А. Актуальные проблемы и актуальные направления модернизации электроэнергетики	90
Каджаев О.В., Марзоев С.А., Кудзиев А.Б., Гаврина О.А. Анализ несинусоидальности напряжения на промышленных предприятиях... ..	92
Плащанский Л.А., Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю. Ограничение влияния высших гармоник в системе электроснабжения угольных шахт высокой производительности.....	96
Васильев А.П., Потетюлькин Е.И., Грибакин А.В. Анализ освещения дорожной сети микрорайона «Пробуждение» г. Орла.....	101
Деревнина В.С., Зацепина В.И. Увеличение надёжности линий электропередач с помощью использования проводов нового поколения	104
Губарев В.Я., Арзамасцев А.Г., Картель А.Ю. Влияние величины начального влагосодержания	

- на эффективность работы детандера..... 108
- Хатунцев Е.К., Зацепина В.И.** Грозопоражаемость линий электропередач и электроустановок на подстанциях из-за пассивной молниезащиты 113
- Трофимова Е.Р., Зацепина В.И.** Моделирование интеллектуальной сети на основе солнечной и ветровой энергии 116
- Кудрявцев А.Е., Зацепина В.И.** Исследование структур применения гибридной распределительной сети переменного и постоянного тока среднего напряжения .. 120
- Павлов И.В., Зацепина В.И.** Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе слияния моделей..... 125
- Аладьин М.Е., Сычев Ю.А.** Способы управления многофункциональными фильтрокомпенсирующими устройствами с активными преобразователями в условиях комбинированных систем электроснабжения и их контроль..... 129
- Шевченко А.А., Ведерников А.С.** Определение параметров установившихся аварийных режимов многоцепных ЛЭП с учетом электромагнитного влияния проводников 135
- Силаев В.И., Клюев Р.В.** Энергоэффективность и надёжность АЭС в российской федерации на примере Балаковской АЭС..... 139
- Юдин А.А., Казанцев А.А., Инаходова Л.М.** Разработка цифрового двойника силового трансформатора с аморфным магнитопроводом и сверхпроводниковыми обмотками..... 143
- Грачева Е.И., Табачникова Т.В.** Повышение качества режимных параметров скважинного погружного электродвигателя с учетом влияния пуска мощного нефтепромыслового насосного оборудования..... 146
- Назаров М.А., Хренников А.Ю.** Аккумуляция тепловой энергии для собственных нужд подстанций..... 151
- Куликов Ф.А.** Перспектива применения устройств синхронизированных векторных измерений для задачи определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи в энергосистеме РФ 155
- Ведерников А.С., Танаев Н.В.** Оценка загруженности трансформаторов в городских электрических сетях..... 158
- Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Солуянов В.И.** Исследование фактических электрических нагрузок жилых зданий для корректировки нормативных значений г. Москвы и Московской области 162
- Николюкина Е.М.** Техничко-экономический метод систематического наблюдения и анализа данных учета для повышения энергетической эффективности образовательной организации... 166
- Земцова Н.В., Щегольков А.В.** Многофункциональные наномодифицированные эластомеры для систем автоматизации и электронагрева..... 170
- Лаврухин Р.В., Зацепина В.И.** Печерезапитка установки «Печь-Ковш» КЦ-1 с ГПП-19 на ГПП-7 на производстве ПАО «НЛМК»..... 174
- Воронин М.С., Зацепина В.И.** Компенсация емкостных токов при однофазных замыканиях на землю на производстве ПАО «НЛМК» 177
- Гладких А.В., Зацепина В.И.** Модернизация диспетчерских комплексов на подстанциях 180
- Шаломов В.И.** Оценка эффективности внедрения промежуточного перегрева пара в паротурбинных установках на базе турбины Т-120/130-12,8 182
- Шамова Е.В., Новикова Е.Д., Середкин А.А.** Удельный расход топлива как индикатор экономичности на примере ТЭЦ Забайкальского края подстанций..... 187
- Яшин И.С.** Энергосбережение современных сушильных установок для овощей и фруктов путем внедрения термоэлектрического насоса 191
- Андреев Р.А., Зацепина В.И.** Повышение надежности воздушных линий электропередач 194
- Альзаккар А., Грачева Е.И.** Экономическая эффективность регулирования потребления электроэнергии..... 198
- Ибатуллин Э.Э., Грачева Е.И.** Повышение эффективности электроснабжения потребителей промышленных объектов средней мощности... 202
- Степанов В.М., Базыль И.М.** Принципы функционирования цифровых энергоэнергетических систем контроля качества электрической энергии при ее генерировании..... 207
- Конкин Д.В., Виноградов А.В.** Обоснование разработки системы удаленного мониторинга и управления приусадебным участком «умная дача»..... 210
- Петрова Р.М., Грачева Е.И.** Перегрузки и температурные режимы силовых трансформаторов 215
- Аббас Майтхам Худайр Аббас** Обзор исследований модели OPF 219
- Вальченко Н.А., Радюк Д.С.** Исследование процесса теплообмена при кипении ацетона на

поперечно-орбренных трубах, расположенных в кольцевом канале.....	223
Гогорян М.Л., Земцова Н.В., Щегольков А.В. Аспекты применения суперконденсаторов в электроэнергетике.....	227
Никулин П.Н., Плотницкий И.О., Щегольков А.В. Конструктивные и режимные параметры тепловых аккумуляторов для солнечных коллекторов	230
Евдокимова С.Ю., Земцова Н.В., Щегольков А.В. Автоматизированный комплекс для экспресс-анализа электрофизических параметров диэлектрической изоляции.....	233

ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Кононыхин А.Б., Разиньков Д.В., Грибакин А.В. Применение гибридной ветро-солнечной установки для повышения качества электроэнергии	236
Зелюкин В.И., Мальфанов Д.С., Мишин А.Е. Использование возобновляемых источников энергии для электроснабжения удаленных и труднодоступных территорий.....	239
Силаев В.И., Ключев Р.В. Проблематика использования «зелёной энергетики» в Российской Федерации и в мире в эпоху глобальных кризисов	243
Надыргулов Б.Г., Ахметшин А.Т. Солнечные фотоэлектрические установки для перекачки воды.....	247
Oussama V.1., Kalinin V.F. Optimal power point tracking in photovoltaic water pumping systems	252
Павленко И.А., Зацепина В.И. Применение геотермальной установки для получения биогаза в условиях городской среды	262
Шамова Е.В. Повышение экологической безопасности котельных агрегатов забайкальского края.....	265
Терехова А.А., Дмитриевский Б.С., Кобелева В.А. Цифровое управление энергопотреблением на промышленном предприятии.....	268

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

Долгов Г.Ф. Опыт эксплуатации погодозависимой автоматики в тепловом пункте многоквартирного дома	272
Гладков О.Б., Семенов А.Е., Беликов Р.П. Разработка автоматизированной информационно-измерительной системы прогнозирования профессиональных рисков на электросетевых предприятиях агропромышленного комплекса	275
Ермаков Н.В., Беспалов Д.В., Псарев А.И. Автоматизированная система управления и диагностики дорожным освещением.....	281
Комогоров К.Е., Журавлева Ю.А., Коваленко О.Ю. Исследование проблем уязвимости автоматизированных систем на примере системы «умный дом»	286
Алюнов А.Н. Идентификация параметров математических моделей силовых трансформаторов с применением методов машинного обучения	290
Фомин Е.Е., Тихомиров А.А. Применение метода кусочного наложения в разработке пускового органа БАВР.....	294
Левин М.Ю., Богачев Д.О. Современные методы проектирования и обучения нейронных сетей	299
Супрунов И.И., Шмырин А.М. Алгоритмы конвейерной обработки протяженного объекта.....	303

РАЗВИТИЕ УДАЛЕННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Белов О.А. Оценка эффективности электроснабжения в Паланском изолированном энергоузле Камчатского края	308
---	-----

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Окуньков Н.О., Кузина А.В. Создание цифровых «двойников» подземных объектов в условиях плотной городской застройки на базе 3D моделей в ГГИС	314
---	-----

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 6-35 кВ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

В.Е. Кожевников, В.И. Зацепина

Аннотация: На воздушных линиях электропередачи с изолированной нейтралью определение места повреждения дистанционными методами выполнить очень непросто. При замыкании одной из фаз на землю возникнут ёмкостные токи, которые будут мешать дистанционным замерам. Поэтому был рассмотрен топографический метод поиска повреждений с использованием беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Его применение позволит значительно уменьшить временные затраты на нахождение поврежденного участка. С этой целью беспилотник был доработан с помощью установки на него оборудования, действующим аналогично приборам «Зонд» или «Волна». Оно измеряет направление и силу токов нулевой последовательности в линии. Был разработан код, который должен дополнить навигационную систему БПЛА для возможности автоматического передвижения по показаниям с установленного оборудования. Также были приведены решения, которые помогут защититься от влияния электромагнитных помех двигателей БПЛА на измерения прибора.

Введение

На воздушных линиях электропередачи довольно часто происходят повреждения. При их возникновении нормальный режим работы линии нарушается, поэтому сокращение времени на поиски поврежденных участков и их ремонт является актуальной задачей. При замыкании одной фазы на землю в линиях электропередачи (ЛЭП) возникнут ёмкостные токи. В этом случае дистанционное определение места повреждения (ОМП) выполнить крайне сложно. Конечно, существуют специальные доработанные варианты дистанционных замеров [1,2], однако их достаточно сложно реализовать на практике. Целью работы является оптимизация поиска повреждения на линиях с изолированной нейтралью с помощью беспилотного летательного аппарата. Для этого необходимо доукомплектовать БПЛА специальным оборудованием. Необходимо также решить вопрос с влиянием на это оборудование помех от двигателей беспилотника.

Теория вопроса

Беспилотные летательные аппараты можно применить для поиска повреждений и осмотра линий [3,4]. Однако, обычно осмотр заключается в

визуальном подтверждении места повреждения. Но не всегда повреждение видно визуально. Поэтому, было принято решение по доработке БПЛА с установкой на него дополнительного оборудования.

Для выездных ремонтов применяют специальные приборы, способные улавливать токи в линии и с помощью этого определять величину и направление токов нулевой последовательности. К ним относят такие приборы, как «Волна» или «Зонд». Для решения задачи создания БПЛА для поиска повреждений на ЛЭП с изолированной нейтралью, необходимо установка специальных измерительных катушек, которые действуют также, как вышеназванные приборы. Далее необходимо техническое и программное объединение. Для этого необходима доработка кода навигационной системы БПЛА.

Методика проведения исследований

Как уже было сказано выше, необходимо доукомплектовать беспилотник оборудованием, реагирующим на направление аварийного тока в линии. Для их технической совместимости необходимо, чтобы обмен данными между элементами происходил определенным образом (рисунок 1). Измеренные прибором данные влияют на то, как будет двигаться БПЛА и где он будет останавливаться.



Рис. 1. Блок-схема элементов для объединения БПЛА и прибора для измерения направления и силы тока аварийного замыкания на землю

Описание метода исследований

Для того, чтобы система навигации БПЛА могла быть использована для поиска повреждений был разработан специальный код, который должен будет дополнять исходную систему навигации (рисунок 2). Для написания кода был использован язык C++. Вводными данными являются координаты местоположения x и y . Также поступают данные с датчика о местоположении над развилкой R и данные об измеряемой установленным прибором величине тока P .

Движение БПЛА будет продолжаться до тех пор, пока величина P растет. Аппарат должен двигаться строго по направлению роста величины. Код позволяет определять повреждение как на прямом участке линии, так и на развилке.

```
1 #include<iostream>
2 int main() {
3     int x, y, P, R, A, N;
4     A=0;
5     N=0;
6     prov:
7     std::cin >> x;
8     std::cin >> y;
9     std::cin >> P;
10    std::cin >> R;
11    if (P>A) {
12        A=P;
13        goto prov;
14    }
15    if (R==0) goto ending;
16    if (N==1) goto ending; else {
17        N=1;
18        A=P;
19        goto prov;
20    }
21    ending:
22    std::cout << x;
23    std::cout << y;
24 }
```

Рис. 2. Программный код движения до места повреждения

Однако, на показания прибора, измеряющего токи в линиях, очень сильно влияют окружающие помехи [5]. Самыми сильными будут являться помехи от двигателя БПЛА. Для уменьшения их влияния можно воспользоваться усиленным экранированием двигателей. Также можно использовать специальные фильтры. Один из них изображен на рисунке 3.

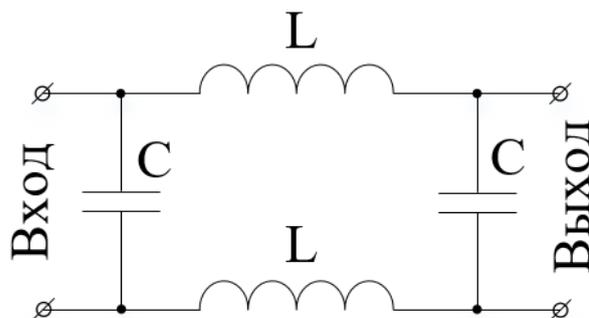


Рис. 3. Схема фильтра для ДПТ БПЛА

Параметры L и C подбираются индивидуально для разных моделей двигателей у БПЛА. Комбинация фильтра с экранирующими элементами должна значительно понизить влияние помех от двигателя на измерительный аппарат.

Заключение

Доукомплектованный беспилотный аппарат можно применять на любых линиях 6-35 кВ с изолированной нейтралью. Также, возможно применение и для других объектов, однако, если там нейтраль заземлена, то лучше использовать

дистанционные методы. В целом, применить БПЛА будет проще, чем создавать на подстанциях сложные варианты дистанционных методов, которые возможно применить на рассматриваемых типах линий электропередачи.

Предложенный способ должен помочь сократить временные затраты на поиск повреждения и ремонт линии. Для его реализации требуется добавить разработанный код в навигационную систему БПЛА. Также необходимо сделать хорошую защиту измерительной аппаратуры от внешних помех. В дальнейшем предложенные способы защиты должны быть проверены на практике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Козлов В.К., Киржацких Е.Р., Гиниатуллин Р.А.** Исследование влияния переходного сопротивления на определение места однофазного замыкания на землю в распределительных сетях с изолированной нейтралью // Вестник Чувашского университета. 2019. №1. С. 39-46.

2. **Солдатов В.А., Полонский В.А.** Определение места повреждения в электрических сетях 35 кВ по уравнениям относительно токов // Актуальные проблемы энергетики АПК. 2019. С. 198-201.

3. **Пугачева Е.А., Рогозина Д.А.** Разработка методики использования летательного аппарата для диагностики объектов энергетики // Ученые Омска - Региону. 2018. С.38-42.

4. **Виноградов А.В., Васильев А.Н., Семенов А.Е.** и др. Анализ времени перерывов в электроснабжении сельских потребителей и методы его сокращения за счет мониторинга технического состояния линий электропередачи // Вестник ВИЭСХ. 2017. №2 (27). С. 3-11.

5. **Нуриев М.Г., Гизатуллин З.М., Гизатуллин Р.М.** Физическое моделирование электромагнитных помех в беспилотном летательном аппарате при воздействии высоковольтной линии электропередачи // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2017. №2. С. 119-124.

Ключевые слова: определения места повреждения, линии электропередач 6-35 кВ, беспилотный летательный аппарат, топографический способ.

Сведения об авторах

Кожевников Владимир Евгеньевич – магистрант кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования.

e-mail: vovchik.e.k123@yandex.ru

Адрес: город Липецк, ул. Московская, д.30

УДК 621.3

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА СЕЗОННОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

¹ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ²ФГБОУ ВО Орловский ГАУ³ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева**¹Виноградова А.В., ^{1,2,3}Виноградов А.В., ³Гладов Д.А.**

Традиционно многие сельскохозяйственные объекты носят сезонный характер производственной нагрузки, как, например, сахарные заводы, зерносушильные пункты, овощехранилища, теплицы и другие объекты. И технологические процессы даже круглогодично работающих предприятий также имеют сезонный характер. Значимость разных технологических процессов в разный период времени как по сезонам года, так и по времени суток различна, различны и ущербы от отключений электроснабжения [1-4]. Актуальной является задача разработки способов и технических средств сезонного резервирования электроснабжения ответственных потребителей, а также электроприёмников, электрооборудования, заключающихся в том, что один и тот же резервный источник, в зависимости от сезона, или времени суток, может использоваться для резервирования разных ответственных потребителей, электроприёмников. Это решает задачу сокращения затрат и обеспечения резерва в условиях дефицита резервной мощности.

Введение

Построение систем сезонного резервирования становится возможным при использовании принципов и технических средств управления конфигурацией электрических сетей, которые могут применяться как в сетях внешнего электроснабжения сельскохозяйственных объектов, так и в их внутренних сетях [5, 7]. В первую очередь в качестве базы технических средств для сезонного резервирования можно использовать мультиконтактные коммутационные системы (МКС) различных разработанных ранее [5], или новых типов, а также специальных устройств сезонного резервирования на их основе.

Теория вопроса

Разрабатываемая структурная схема устройства сезонного резервирования позволяет реализовать способ сезонного резервирования электроснабжения, заключающийся в задании двух групп потребителей и двух соответствующих, задаваемых посекундно, групп интервалов времени в соответствии с сезонами года и временем суток [6].

Группы интервалов времени задаются так, что в течение первой из них необходимо резервировать электроснабжение одной группы потребителей, в течение второй - другой группы потребителей. Резервирование осуществляется от резервного источника. Далее контролируют отключение основного источника электроснабжения. Если оно происходит в момент, когда идёт отсчёт интервалов времени первой группы, то к резервному источнику подключают первую группу потребителей, а если идёт отсчёт интервалов времени второй группы - вторую группу потребителей. При восстановлении основного источника потребителей вновь подключают к нему [6].

Методика проведения исследований

При проведении исследования применялись методы теории автоматизации, методы информатизации.

Описание метода исследований

На рисунке 1 представлена структурная схема устройства, реализующего способ сезонного резервирования электроснабжения и построенная на базе схемы мультиконтактной коммутационной системы МКСМ-4 [6].

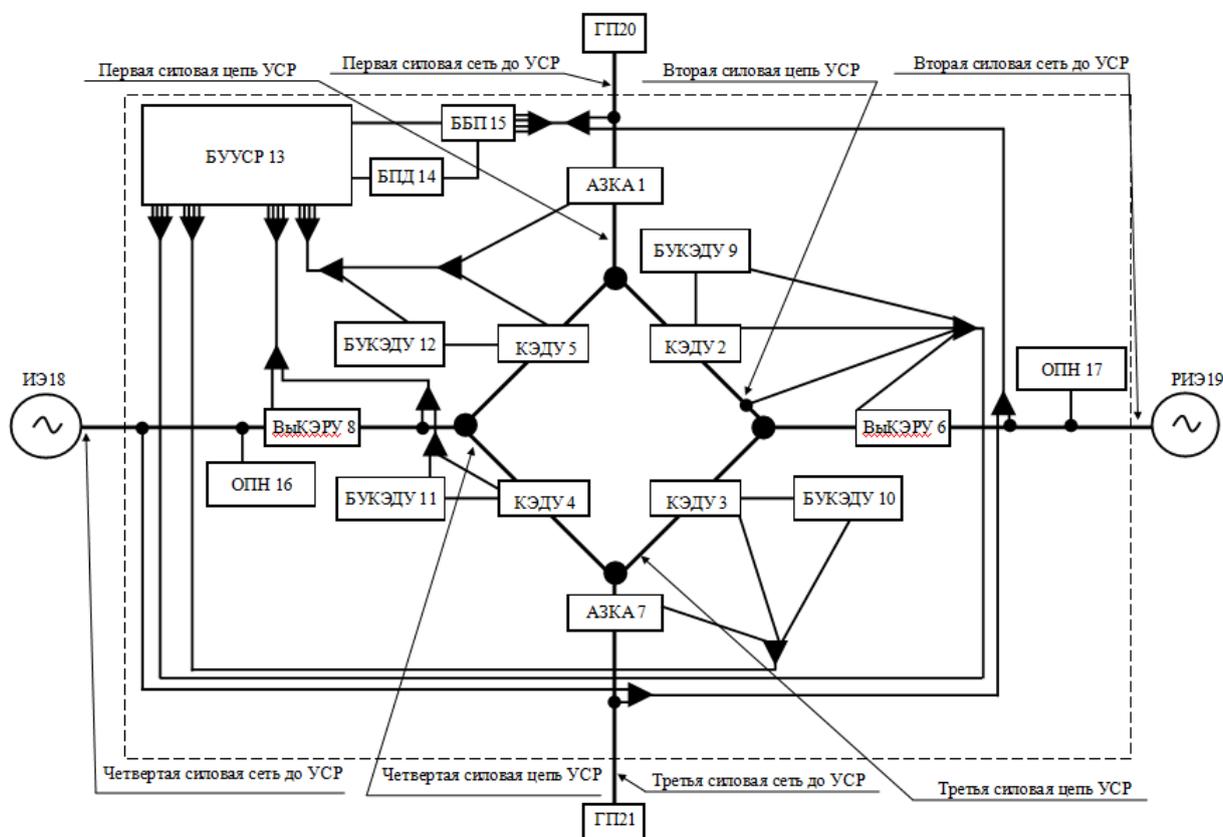


Рис. 1. Структурная схема устройства, реализующего сезонное резервирование

Устройство сезонного резервирования электроснабжения с четырьмя силовыми цепями содержит автоматические защитные коммутационные аппараты (АЗКА1, АЗКА7), коммутационные элементы дистанционного управления (КЭДУ2-КЭДУ5), выводные коммутационные элементы ручного управления (ВыКЭРУ6, ВыКЭКУ8), блоки управления коммутационными элементами дистанционного управления (БУКЭДУ9 - БУКЭДУ12), блок управления устройством сезонного резервирования (БУУСР13), блок приема и передачи данных (БПД14), блок бесперебойного питания (ББП15), ограничители перенапряжения (ОПН16, ОПН17), основной источник электроснабжения (ИЭ18), резервный источник электроснабжения (РИЭ19), первую группы потребителей (ГП20, ГП21) [6].

АЗКА осуществляют защиту от аварийных и ненормальных режимов, а также коммутацию силовых цепей с помощью ручных, дистанционных и автоматических переключений. ВыКЭРУ осуществляют коммутацию вручную. КЭДУ осуществляют коммутацию цепей при получении команды от БУКЭДУ. Передача информации от устройства сезонного резервирования и приём команд дистанционного управления выполняется с помощью БПД14. Алгоритмы управления заложены в БУУСР13, который контролирует параметры режимов работы сети, в том числе качество электроэнергии, осуществляет функции технического учёта электроэнергии. Также в БУУСР13 храниться информация о работе устройства и параметрах сети. БУУСР13 осуществляет отсчёт указанных выше интервалов времени, выдаёт команды на подключение той, или иной группы потребителей на питание от резервного источника электроснабжения при отключениях основного источника. Этот же блок передаёт в БПД14 данные о работе устройства сезонного резервирования и получает с него команды дистанционного управления. ББП15 осуществляет бесперебойное питание БУУСР13 и БПД14. ОПН16 и ОПН17 осуществляют защиту от перенапряжений [6].

В нормальном режиме коммутационные аппараты как ручного, так и автоматического управления, кроме КЭДУ2, КЭДУ3 включены. Питание ГП20 и ГП21 осуществляется от ИЭ18 [6].

При отключении ИЭ18 БУУСР13 фиксирует исчезновение напряжения в силовых цепях. Если в этот момент БУУСР13 отсчитывал один из интервалов первой группы, то он отдаёт команды на БУКЭДУ12, БУКЭДУ11, БУКЭДУ9 и БУКЭДУ10 для отключения коммутационных элементов КЭДУ5, КЭДУ4 и включение в этот момент КЭДУ2, а также на блокировку КЭДУ3. Выделяется ГП20 и подключается к РИЭ19. Резервное электроснабжение ГП21 при этом не осуществляется. БУУСР13 с помощью БПД14, который передаёт соответствующую информацию в систему диспетчеризации сети. При восстановлении ИЭ18 ГП20 и ГП21 подключаются на питание от него соответствующими переключениями КЭДУ9-КЭДУ12 [6].

Аналогично устройство работает, если в момент отключения ИЭ18 идёт отсчёт интервалов времени второй группы. Но при этом БУУСР13 подаёт команды на отключение КЭДУ4, КЭДУ5 и включение в этот момент КЭДУ3, на блокировку КЭДУ2 [6].

При коротких замыканиях, перегрузках в силовых сетях отключаются АЗКА1 или АЗКА7 соответственно, после чего БУУСР13 подаёт команду на их автоматическое повторное включение (АПВ), если оно неуспешно, запрещается новое включение АЗКА. Информация об отключении и неуспешном АПВ АЗКА передаётся с помощью БПД14 в систему диспетчеризации сети [6].

При перенапряжениях в силовых сетях защита устройства выполняется срабатыванием ОПН16, или ОПН17 [6].

Заключение

Структурная схема устройства сезонного резервирования позволяет реализовать способ сезонного резервирования с выделением двух групп потребителей. За счёт этого повышается надёжность электроснабжения сельских потребителей, решается проблема расширения числа резервируемых потребителей без увеличения мощности резервных источников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Уханова В.Ю.** Автоматизированное управление микроклиматом теплиц // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68. № 1 (42). с. 68-72.
2. **Гилев Д.В., Елгышев Д.К.** Регрессионный анализ влияния климатических факторов на электропотребление объектов нефтедобычи. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета // Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2020. № 35. с. 152-168.
3. **Сташкевич Е.В., Айзенберг Н.И., Илюхин И.Г.** Прогнозирование и управление электропотреблением сообщества микросетей с применением искусственного интеллекта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2022. Т. 22. № 2. с. 18-29
4. **Куликов А.Л., Папков Б.В., Шарыгин М.В.** Анализ и оценка последствий отключения потребителей электроэнергии. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2014. – 84 с.
5. **Виноградов А.В.** Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации. Монография. — Орёл: изд-во «Картуш», 2022. — 392 с.
6. Патент № 2780204 Российская Федерация, МПК H02J 9/04, H02N 3/05. Способ и устройство сезонного резервирования электроснабжения / Виноградов А.В., Виноградова А.В. // Заявитель и патентообладатель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – Заявка 2022109255, заявлено 07.04.2022, опублик. 20.09.2022, Бюл. № 26.
7. **Виноградов А.В.** Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации. / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Ю. Сейфуллин, А. В. Букреев, В. Е. Большев // Известия высших учебных заведений.

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. – 2021.– № 23 (3). – С. 34-46. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46>

Ключевые слова: сезонное резервирование электроснабжения, электроснабжение, способ сезонного резервирования, структурная схема.

Сведения об авторах

Виноградова Алина Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории электроснабжения и теплообеспечения, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», +79208079424, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, e-mail: alinawin@rambler.ru

Виноградов Александр Владимирович, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией электроснабжения и теплообеспечения, Россия, Москва, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», +79202879024, 109428, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5, e-mail: winaleksandr@gmail.com

Гладов Даниил Алексеевич, магистрант ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, e-mail: gladovd@gmail.com.

УДК 621.3

АЛГОРИТМ РАБОТЫ КОМПЛЕКСА МОНИТОРИНГА НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

¹ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,
Москва

²ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

³ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

^{1,2,3}**А.В. Виноградов, ²А.А. Панфилов, ¹В.Е. Большев, ²Е.С. Калугин**

На основе принципов управления конфигурацией сельских электрических сетей [1] появляется возможность разработки систем и технических средств мониторинга параметров режимов работы электрической сети и систем управления коммутационными аппаратами, устанавливаемыми в ней, в том числе мультиконтактными коммутационными системами и другими устройствами секционирования и резервирования [2].

В [1, 2] приведены проанализированные способы управления конфигурацией электрической сети.

Основной их целью является сокращение количества и продолжительности перерывов в электроснабжении потребителей, количества случаев и

продолжительности несоответствия качества поставляемой электроэнергии требованиям норм и договорных условий, а также обеспечение доступности электросетевой инфраструктуры, то есть обеспечение возможности присоединения новых потребителей к электрическим сетям и сокращение сроков осуществления присоединений. В работах [1, 3] подробно рассмотрена структура времени перерывов в электроснабжении, времени несоответствия качества электроэнергии и времени осуществления технологических присоединений и их составляющих. Знание фактических значений времени перерывов в электроснабжении и времени несоответствия качества электроэнергии требует разработки средств контроля надёжности электроснабжения и такого параметра качества электроэнергии, как отклонение напряжения и алгоритмов их работы.

Введение

Минимизировать временные интервалы перерывов в электроснабжении возможно за счёт управления конфигурацией электрических сетей, что предполагает реализацию указанных выше принципов. При этом важно в первую очередь обеспечить наблюдаемость сети, что позволит контролировать режимы работы сети в разных её точках и на основе этого выполнять необходимые переключения в сети для изменения её конфигурации.

Так, проведённое исследование [3] показало, что при отсутствии систем мониторинга время восстановления электроснабжения в среднем составляет более четырёх-пяти часов, причём время на получение информации об отключении составляет 1,01 ч. При осуществлении мониторинга это время возможно сократить в десятки раз, минимальное его значение будет ограничиваться скоростью передачи информации от датчика системы мониторинга до диспетчера электрической сети и скоростью его реакции на получение данной информации. Выполненное в [1] исследование показало, что в рассмотренном примере время получения информации при наличии системы мониторинга сократилось с 1,01 ч до 0,0044 ч, то есть в 230 раз. Аналогично за счёт мониторинга сокращается и такая составляющая времени перерывов в электроснабжении, как время на распознавание информации. Так, она сократилось в том же примере с 2,94 ч до 0,55 ч, то есть в 5,33 раз [1]. Время на осуществление ремонта, время на согласование и включение, также составляющие времени перерывов в электроснабжении за счёт средств мониторинга сократить не удаётся. Также невозможно сократить за счёт осуществления мониторинга и время плановых перерывов в электроснабжении, хотя и возможно сократить значения ущербов от данных перерывов, так как появляется возможность составления графика плановых отключений с учётом времени минимальных нагрузок в сети.

Оснащение сети системами мониторинга позволяет сокращать и время несоответствия качества поставляемой потребителям электроэнергии за счёт своевременного выявления отклонений показателей качества электроэнергии

(ПКЭ) и выполнения мероприятий по их регулированию. Положительно влияет наличие средств мониторинга в сети и на доступность электросетевой инфраструктуры, позволяя контролировать загрузку сети и, при угрозе возникновения дефицита пропускной способности, осуществлять мероприятия по развитию, реконструкции сети, на скорость восстановления сети и другие вопросы эксплуатации, как это показано, например, в [1, 2]

В работах зарубежных авторов также большое внимание уделяется вопросам организации мониторинга в электрических сетях, разработке устройств мониторинга и получаемым эффектам [5-11].

Теория вопроса

Одним из средств обеспечения наблюдаемости в сельских электрических сетях, в первую очередь в сетях внутреннего электроснабжения потребителей, является комплекс технических средств мониторинга надёжности электроснабжения сельского потребителя и отклонения напряжения (КМНОН) в системе его электроснабжения. Разработанные требования к КМНОН предполагают применение комплекса для стационарного, синхронизированного по времени мониторинга в нескольких точках сети. Комплекс должен обеспечивать контроль следующих режимов: нормальный режим; режим короткого замыкания; режим перегрузки; неполнофазный режим работы; режим работы с повышенным (пониженным) напряжением; режим отключения напряжения; несимметричный режим. Выполняется составление отчетов по потребленной электроэнергии, параметрах режимов работы в точках установки датчиков КМНОН за отчетный период и отправка их в ЦБ КМНОН, где эти данные должны архивироваться. Структура КМНОН показана на рисунке 1. В состав КМНОН входят датчики, осуществляющие контроль параметров режимов работы электрической сети и центральный блок ЦБ КМНОН, осуществляющий сбор информации от датчиков и обрабатывающий её, а также передающий результаты в систему диспетчеризации сети, или ответственному за обслуживание данных сетей лицу в случае, если КМНОН используется во внутренних сетях предприятия [12].

Описание метода исследования

Внутренние сети потребителя контролируются с помощью КМНОН. Разработаны структурные, электрические схемы КМНОН. Работа КМНОН осуществляется по разработанному алгоритму, представленному на рисунке 2. Алгоритм работы ЦБ КМНОН зависит от сигналов, поступающих с датчиков, их комбинации и последовательности, что позволяет устанавливать вид аварийного режима и его причину. Запуск алгоритма происходит из ограничителя «Начало» (блок 1).

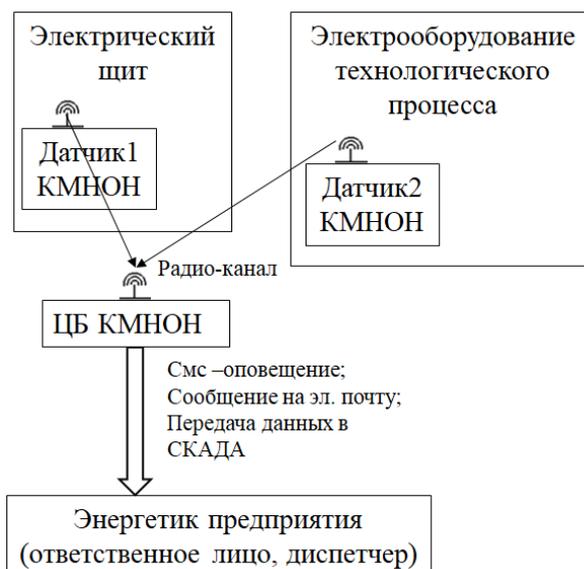


Рис. 1. Комплекс технических средств мониторинга надёжности электроснабжения сельского потребителя и отклонения напряжения

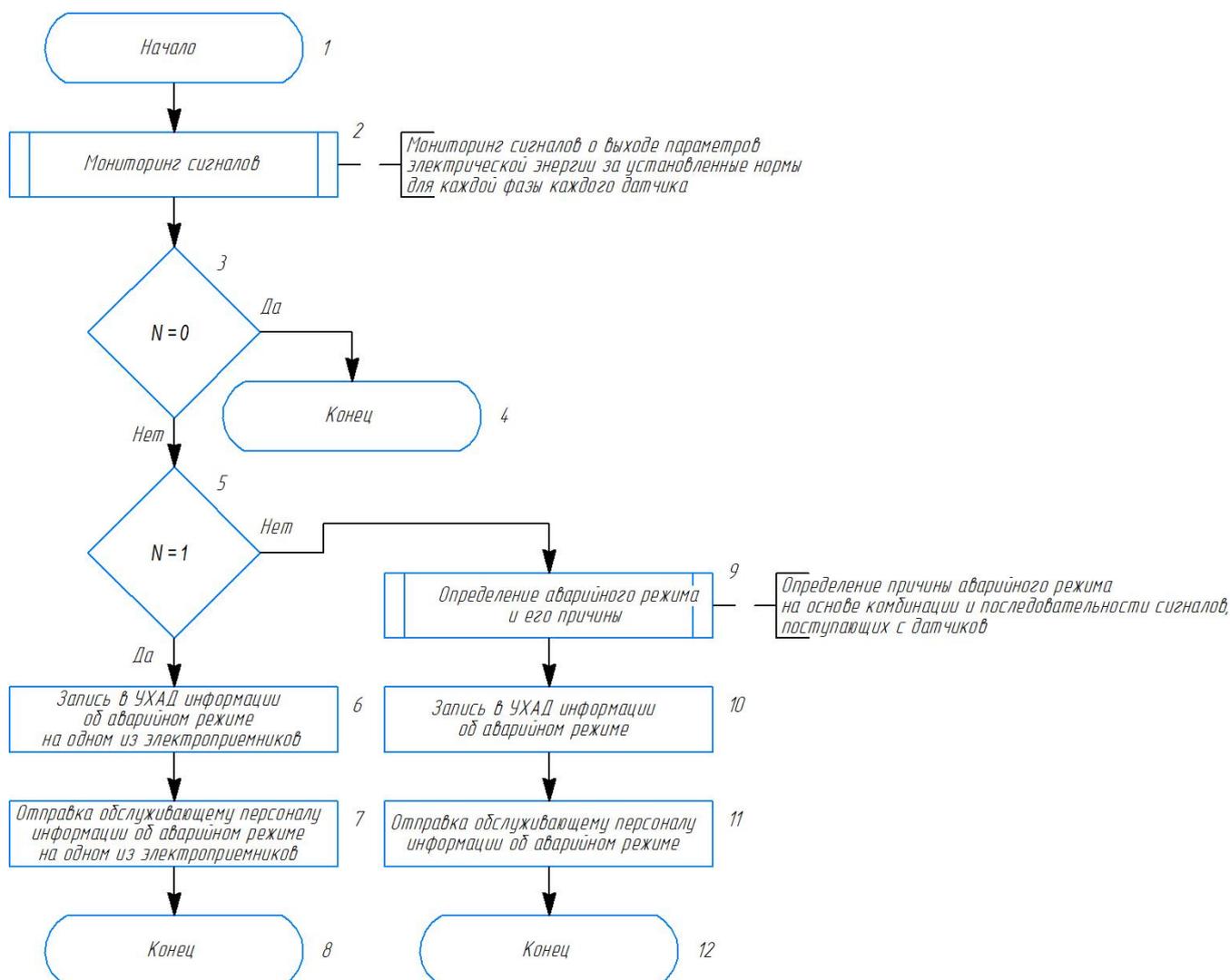


Рис. 2. Алгоритм работы комплекса технических средств мониторинга надёжности электроснабжения сельского потребителя и отклонения напряжения в системе его электроснабжения (КМНОН)

Блок 2 является предопределённым процессом и включает в себя алгоритм мониторинга сигналов о выходе параметров электрической энергии за установленные нормы для каждой фазы каждого датчика. Этот алгоритм составлен на основе алгоритма работы устройства контроля количества и продолжительности отключений и отклонения напряжения, подробно описанного в работе [4]. В случае, если сигналов, поступающих со всех 6 датчиков, не имеется, то будет выполняться условие « $N=0$ » блока 3, алгоритм закончит свою работу на ограничителе 4 «Конец» и начнется новый цикл.

Если в системе электроснабжения сельского потребителя будет зафиксирован аварийный режим, а именно режим короткого замыкания, режим перегрузки; неполнофазный режим работы, режим работы с повышенным/пониженным напряжением, режим отключения напряжения, несимметричный режим, то условие блока 3 не выполнится (поступит информация от датчиков), а алгоритм перейдет к блоку 5, определяющему количество сигналов. Если условие « $N=1$ » выполнится, КМНОН запишет в устройство хранения архивных данных информацию об аварийном режиме на одном из электроприемников (блок 6) и проинформирует об этом обслуживающий персонал/ответственное лицо по SMS/электронной почте (блок 7). На ограничителе 8 алгоритм остановится и начнется новый цикл.

Если условие « $N=1$ » не выполнится, то это будет означать, что зафиксированы сигналы от нескольких датчиков и это потребует их дополнительной обработки для того, чтобы избежать дублирующей отправки сообщений. Например, при внешнем обесточивании потребителя, все датчики, используемые КМНОН, будут сигнализировать о прерывании напряжения на контролируемых ими оборудовании. Поэтому в алгоритме предусмотрен предопределённый процесс (блок 9), алгоритм в котором обработает сигналы таким образом, чтобы отправить один единственный сигнал обслуживающему персоналу о полном обесточивании сети потребителя (блок 11). Также этот блок используется для определения причины аварийного режима на основе комбинации и последовательности сигналов. Например, КМНОН позволяет определить неселективное срабатывание коммутационных аппаратов при коротком замыкании на одном из электроприемников. Алгоритм зачивает свое действие на блоке 12 «Конец».

Заключение

Таким образом, КМНОН способен фиксировать ненормальные и аварийные режимы работы в системе электроснабжения сельского потребителя, а также отправлять информацию о них обслуживающему персоналу (ответственному лицу).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Виноградов А.В.** Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации. Монография. — Орёл: изд-во «Картуш», 2022. — 392 с.
2. **Виноградов А.В.** Принципы управления конфигурацией электрической сети и задачи по их реализации. / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, А. Ю. Сейфуллин, А. В. Букреев, В. Е. Большев // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 021;23(3):34-46. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2021-23-3-34-46>.
3. **A. Vinogradov, V. Bolshev, A. Vinogradova, M. Jasiński, T. Sikorski, Z. Leonowicz, R. Goño, E. Jasińska.** Analysis of the Power Supply Restoration Time after Failures in Power Transmission Lines // *Energies*. 2020. V. 13. N. 2736. pp. 1-18. doi:10.3390/en13112736.
4. **Vadim Bolshev, Alexander Vinogradov, Michał Jasiński, Tomasz Sikorski, Zbigniew Leonowicz, and Radomir Gono.** Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Voltage Deviations at Both Sides of Switching Devices. In *Journal IEEE Access*. August, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3011836
5. **Hossein Motlagh, N.; Mohammadrezaei, M.; Hunt, J.; Zakeri, B.** Internet of Things (IoT) and the Energy Sector. *Energies* 2020, 13, 858 <https://doi.org/10.3390/en13020494>. 859 14. Sultania, A.K.; Mahfoudhi, F.; Famaey, J. Real-Time Demand Response Using NB-IoT. *IEEE Internet of Things Journal* 2020, 860 7, 11863–11872. <https://doi.org/10.1109/IIOT.2020.3004390>. 861
6. **Alaudin, A.H.b.; Zan, M.M.M.; Mahmud, A.R.; Yahaya, C.K.H.C.K.; Yusof, M.I.; Yusoff, Y.M.** Real-Time Residential Energy 862 Monitoring Device using Internet of Things. In *Proceedings of the 2018 IEEE 8th International Conference on System Engineering 863 and Technology (ICSET), 2018*, pp. 97–101. <https://doi.org/10.1109/ICSEngT.2018.8606389>. 864
7. **Muralidhara, S.; Hegde, N.; PM, R.** An internet of things-based smart energy meter for monitoring device-level consumption of 865 energy. *Computers Electrical Engineering* 2020, 87, 106772. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2020.106772>. 866
8. **Mudaliar, M.D.; Sivakumar, N.** IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi. *Internet of Things* 2020, 867 12, 100292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100292>. 868
9. **Govindarajan, R.; Meikandasivam, S.; Vijayakumar, D.** Performance Analysis of Smart Energy Monitoring Systems in Real-time. 869 *Engineering, Technology amp; Applied Science Research* 2020, 10, 5808–5813. <https://doi.org/10.48084/etasr.3566>. 870
10. **Shivaraman, N.; Saki, S.; Liu, Z.; Ramanathan, S.; Easwaran, A.; Steinhorst, S.** Real-Time Energy Monitoring in IoT-enabled 871 Mobile Devices. In *Proceedings of the 2020 Design, Automation Test in Europe Conference Exhibition (DATE), 2020*, pp. 991–994. 872 <https://doi.org/10.23919/DATE48585.2020.9116577>. 873
11. **Agyeman, M.O.; Al-Waisi, Z.; Hoxha, I.** Design and Implementation of an IoT-Based Energy Monitoring System for Managing 874 Smart Homes. In *Proceedings*

of the 2019 Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), 2019, 875 pp. 253–258. <https://doi.org/10.1109/FMEC.2019.8795363>. 876.

12. **Виноградов А.В., Большев В.Е., Панфилов А.А., Калугин Е.С.** Разработка требований к комплексу технических средств мониторинга надёжности электроснабжения сельского потребителя и отклонения напряжения в системе его электроснабжения. В сборнике: Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. Материалы XV Всероссийского (с международным участием) научно-практического семинара. Орёл, 2021. С. 100-105.

Сведения об авторах:

Виноградов Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, руководитель научного направления "Энергообеспечение АПК" ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, профессор кафедры "Электроснабжение" ФГБОУ ВО Орловского ГАУ, профессор кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Панфилов Александр Александрович - аспирант ФГБОУ ВО Орловского ГАУ

Большев Вадим Евгеньевич - кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории электроснабжения и теплообеспечения ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

Калугин Евгений Сергеевич - аспирант ФГБОУ ВО Орловского ГАУ

e-mail: winaleksandr@gmail.com; ra3ed@mail.ru; sgt.pain13@gmail.com; vadimbolshev@gmail.com

Адрес: г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5.

УДК 621.3

ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

А.Л. Фролов

Диагностика силового оборудования электрических сетей в современных условиях требует создания новых способов и схем проведения диагностики неисправностей силовых трансформаторов. Известные на сегодняшний день методы неразрушающего контроля, чувствительные к появлению остаточных деформаций, а также нарушению состояния основной изоляции обмоток силовых трансформаторов, требуют соблюдения взаиморасположения измерительного оборудования и коммутации [1].

В данной работе показана опытная модель схемы диагностирования силовых трансформаторов, которая заключается в применении согласующего устройства

в схеме диагностирования для возможности дальнейшего анализа полученных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и принятия комплекса мер по локализации неисправных узлов или частей объекта диагностирования. Целью работы является исследование опытной модели диагностирования с помощью моделирования, а также экспериментальное подтверждение результатов моделирования.

Введение

Предлагаемая в работе опытная модель схемы диагностирования позволяет значительно снизить требования к проведению диагностирования, в частности: взаимному расположению измерительного оборудования и коммутации устройств диагностирования. Для демонстрации достоинств опытной модели схемы диагностирования необходимо решить следующие задачи: исследовать влияние электрических параметров схемы замещения опытного образца на форму и параметры графика АЧХ, собрать опытную модель схемы проведения диагностирования с использованием согласующих трансформаторов, провести измерения для получения осциллограмм измерительных сигналов, преобразовать полученные осциллограммы в АЧХ для возможности дальнейшего анализа полученных АЧХ и принятия комплекса мер по локализации неисправных узлов или частей объекта диагностирования.

Теория вопроса

Развитие дефектов любого рода, в том числе комплексных, в активной части силового трансформатора сопровождается изменением частотных свойств передачи электрических сигналов при их прохождении через тракт образуемый первичной, вторичной обмотками трансформатора и его магнитной системой [2].

Методика проведения исследований

При рассмотрении силового трансформатора в качестве тракта прохождения испытательного сигнала для определения состояния его активной части [3] был разработан метод, позволяющий определить степень изменения параметров схемы замещения и, тем самым, определить критичность неисправности (одиночной или комплексной), имеющей высокую помехоустойчивость и слабую зависимость от взаимного расположения элементов измерительной аппаратуры и коммутации.

Описание метода исследований

Для понимания изменений электрических параметров и частотных свойств активной части опытной модели силового трансформатора в зависимости от степени развития дефектов любого рода, при прохождении электрических сигналов через тракт, на рисунке 1 показана схема замещения однофазного

двухобмоточного силового трансформатора.

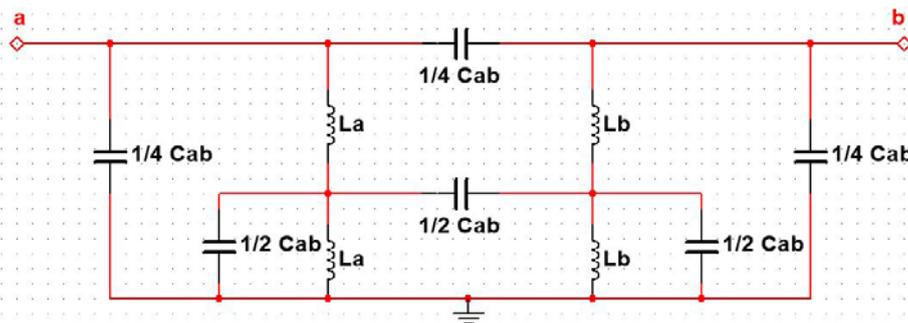


Рис. 1. Схема замещения двухобмоточного однофазного трансформатора

На рисунке 1 показано, что схема замещения двухобмоточного однофазного трансформатора представляет колебательный контур, состоящий из распределенных величин взаимоиндуктивностей обмоток фаз a, b – C_{ab} и индуктивностей фаз a и b – L_a, L_b с двумя уравновешенными поперечными плечами с одинаковым сопротивлением. Элементы плеч контура представлены распределенными параметрами относительно $\frac{1}{2} C_{ab}$ и $\frac{1}{4} C_{ab}$. Из этого можно сделать вывод о том, что изменение АЧХ тракта прохождения сигнала будет являться результатом изменения номинала хотя бы одного из элементов данного колебательного контура. Это высказывание можно считать верным и для схемы замещения элемента обмоток трансформатора некоторой длины, представленной на рисунке 2.

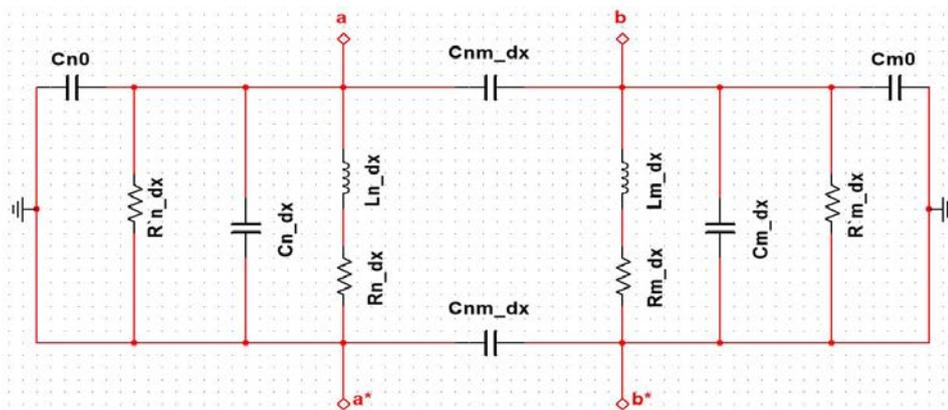


Рис. 2. Схема замещения элемента обмоток трансформатора длиной dx

Заключение

Исследовано влияние электрических параметров схемы замещения опытного образца на форму и параметры графика АЧХ, разработана опытная модель схемы диагностирования силовых трансформаторов для возможности дальнейшего анализа полученных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и принятия комплекса мер по локализации неисправных узлов или частей объекта диагностирования.

Применение согласующего устройства в схеме опытной модели

диагностирования трансформаторов позволяет значительно снизить требования к проведению диагностирования, в частности: взаимному расположению измерительного оборудования и коммутации устройств диагностирования. Предлагаемая схема диагностирования может быть использована в комплексе с применяемыми на сегодняшний день электрическими методами неразрушающего контроля состояния силовых трансформаторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хальясмаа А.И., Дмитриев С.А., Кокин С.Е., Шлушков Д.А. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие. Екатеринбург, Издательство Уральского университета, 2015. С. 20-40.
2. Дудаева Л.Г. Методы неразрушающего контроля / Л.Г. Дудаева. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 34 (220). – С. 6-10. – URL: <https://moluch.ru/archive/220/52432/> (дата обращения: 10.12.2022).
3. Хренников А.Ю. Методы диагностики механического состояния обмоток [Новости электротехники]. – 2009. - №3 (57) – URL: <http://www.news.elteh.ru/arh/2009/57/08.php> (дата обращения: 10.12.2022).

Ключевые слова: методы неразрушающего контроля, силовой трансформатор, опытная модель, схема диагностирования, анализ спектрограмм, согласующее устройство.

Сведения об авторах

Фролов Александр Леонидович – аспирант кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы»

e-mail: frolov.aees@gmail.com

Адрес: г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

УДК 621.3

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЭК

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Г.Б. Лисовин

Топливная промышленность и электроэнергетика тесно связана между собой. Для работы топливной промышленности необходима электроэнергия. А для производства электроэнергии необходимо топливо. Так как между отраслями

существует тесная взаимосвязь, то они образуют один межотраслевой комплекс – топливно-энергетический (сокращённо ТЭК).

На протяжении почти полувека топливно-энергетический комплекс (ТЭК) оставался драйвером, обеспечивавшим динамику и качество экономического роста в России. Масштабы, технологический уровень, темпы развития всех отраслей экономики напрямую зависят от топливно-энергетического комплекса.

В настоящее время вокруг ТЭК сформировался целый ряд проблем:

1. Ресурсы, добываемые и используемые ТЭК, исчерпаемы и невозобновимы, поэтому использование их должно быть рациональным.

2. Топливный комплекс, больше не может играть роль единственного «локомотива» экономики, обеспечивающего высокие темпы роста производства.

3. Топливо-энергетический комплекс России остается главным загрязнителем биосферы.

4. Добыча топлива и его транспортировка становится всё более дорогой.

В итоге: Россия реально может выйти на путь устойчивого и грамотного развития, но предстоит еще найти правильные комбинации экономического роста с развитием энергетики и охраной окружающей среды и, что важно, создать механизмы их реализации.

Одной из главных задач для перспективного развития топливно-энергетического комплекса России, я считаю внедрение цифровых технологий во все отрасли ТЭК.

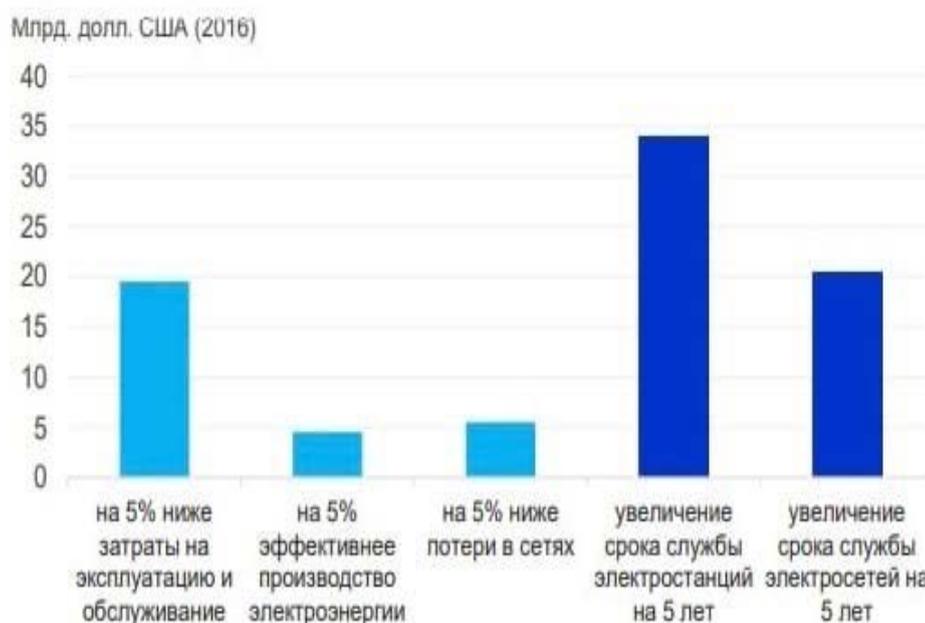


Рис. 1. Снижение затрат в мире благодаря цифровизации электростанций и электрических сетей в 2015-2040 гг

Цифровизация позволяет управлять более сложными энергосистемами, способствуя развитию широкого спектра новых технологий, в том числе распределенной генерации!

Ключевые эффекты от цифровизации ТЭК:

- Снижение продолжительности перерывов электроснабжения и средней частоты технологических нарушений (SAIDI/SAIFI) на 5% к 2024 году.
- Повышение уровня технического состояния производственных фондов электроэнергетики для объектов на 5% к 2024 году без повышения затрат на поддержание технического состояния.
- Снижение на 20% аварийности на объектах электроэнергетики, связанной с техническим состоянием производственных фондов к 2024 году.

Решение

- Удалённое управление и безопасность

Технологии: системы технологического управления уровня центров управления (SCADA, EMS) и уровня объектов (ССПИ, ССПТИ), современные цифровые системы измерений.

- Цифровая подстанция

Технологии: оборудование ПС на базе стандарта МЭК 61850, коммутаторы, интеллектуальные электронные устройства и т. д.

- Управление надёжностью и активами

Технологии: транзакционные системы управления активами, мобильные терминалы, беспилотная авиационная техника, системы дистанционного считывания информации с датчиков и RFID и др.

Далее, рассмотрим одну конкретную технологию из каждого выбранного направления. А проанализировав плюсы и минусы каждой, рассмотрим возможность внедрения одной из них уже сейчас.

Цифровая подстанция – сочетание современных технологий и систем связи, измерения, релейной защиты, управления, мониторинга и автоматизации на высоковольтных подстанциях.



Рис. 2. Функциональные блоки цифровой подстанции

Преимущества перехода к цифровым подстанциям:

1. Для выполнения различных функций на цифровой подстанции используются одни и те же источники информации, что приводит к уменьшению общего количества оборудования на ней.

2. На цифровых подстанциях сложная, запутанная система контрольных кабелей традиционной подстанции заменяется современными коммуникационными сетями на базе оптоволоконных кабелей, значительно сокращая количество кабеля в целом на подстанции и упрощая всю систему коммуникаций.

3. Повышение точности измерений на цифровых подстанциях.

4. Повышенная надежность передачи данных.

5. Возможность обеспечивать дальнейшее увеличение уровня автоматизации и управляемости.

Результаты внедрения

- Повышение надежности электроснабжения
- Снижение удельных операционных и инвестиционных расходов
- Внедрение новых сервисов и услуг
- Эффективная работа с большими объемами данных сделает работу всей энергосистемы эффективнее
- Сокращение времени на проектирование и наладку
- Сокращение затрат на проектирование и строительство
- Сокращение затрат на эксплуатацию ЦПС

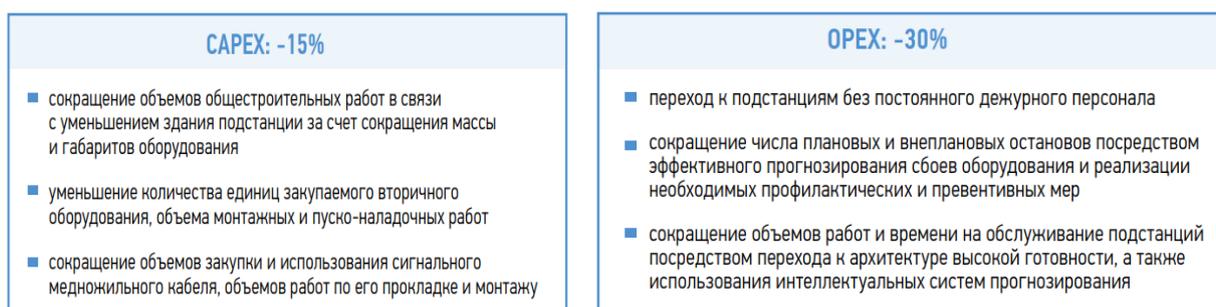


Рис. 3. Сокращение расходов по результатам перехода к цифровым подстанциям

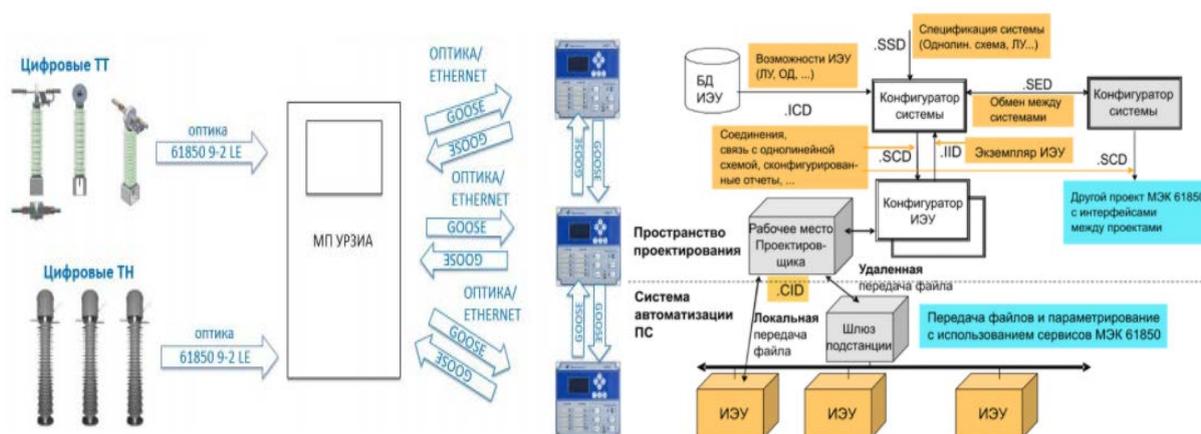


Рис. 4. Принципы работы ЦП и её реализация

Результаты внедрения ЦПС имеют как положительные, так и отрицательные стороны.

Плюсы:

- Обеспечение наблюдаемости каналов сбора, передачи информации и управления.

- Упрощение механизмов поверки устройств.
- Унификация механизмов конфигурирования подстанции.
- Переход к выполнению удаленной функциональной диагностики.
- Обеспечение информационной безопасности энергообъекта.
- Переход к необслуживаемым подстанциям.

Минусы:

- Идея цифровых подстанций появилась сравнительно недавно, и стандарты разработанные для них еще требуют доработки.

- Требуется полного переобучения персонала.

- Данные подстанции являются комплексными и не могут дополнять традиционные подстанции, а только заменять их.

Применение новых технологий измерения, управления и передачи данных для строительства умной подстанции позволит коренным образом пересмотреть структуры и средства обеспечения надежности защиты силового оборудования, повысить эффективность и сократить время технического обслуживания оборудования. Приведенные выше примеры преимуществ, показывают высокие перспективы развития данной технологии построения подстанций электрических сетей!

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Case-In** / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://case-in.ru/> (дата обращения: 05.11.2022).

2. **ПАО «РОССЕТИ»** / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://www.rosseti.ru/> (дата обращения: 23.10.2022).

3. **Министерство энергетики РФ** / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://in.minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 23.10.2022).

4. **Институт статистических исследований и экономики знаний** / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <https://issek.hse.ru/> (дата обращения: 02.12.2022).

5. **Высокоавтоматизированная подстанция МЭК 61850** / [Электронный ресурс] // : [сайт]. — URL: <http://www.epsa-spb.ru/digital-substation/> (дата обращения: 04.12.2022).

Ключевые слова: подстанция, цифровая, управление, технология, система.

Сведения об авторах

Г.Б. Лисовин - студент 3 курса, напр. «Электроснабжение».

e-mail: lisovin.gleb@mail.ru

Адрес: г. Владикавказ, ул. Белинского, 2А кв.8

УДК 621.3

РОБОТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КАК НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ОСМОТРА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПОДСТАНЦИЯХ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

И.В. Артамонов, В.И. Зацепина

Одна из обязанностей электротехнического оперативного персонала – это осмотр оборудования электроустановок. Осмотр оборудования производят для своевременного обнаружения технических неисправностей, замечаний в работе оборудования, а также своевременной локализации и ликвидации аварийной ситуации. Оперативный персонал при производстве осмотра того или иного элемента оборудования электроустановки должен знать, на что обращать внимание и какие признаки являются не характерными для нормальной работы оборудования. Осмотр оборудования электроустановок производит персонал, который прошел соответствующее обучение по вопросам охраны труда, пожарной безопасности, а также знающий инструкции по обслуживанию оборудования и другие нормативные документы. Для упрощения и повышения эффективности осмотра электроустановок рассмотрено введение в эксплуатацию роботизированную систему, которая сможет регулярно производить осмотр электроустановок подстанции без участия оперативного персонала. Своевременное выявление неполадок в работе оборудования позволит провести ремонт оборудования в кратчайшие сроки без серьезных последствий.

Введение

Любое оборудование на подстанции нуждается в своевременном обнаружении технических неисправностей и замечаний нарушений в работе оборудования. Мероприятия по осмотру электрооборудования персоналом способна заменить роботизированная система. Она наделена специальным диагностическим оборудованием, которое сможет выполнять требования осмотра электрооборудования. Целью данной работы является провести анализ функционирования роботизированной системы и возможность её внедрения в качестве постоянного осмотра электрооборудования. Задачи работы – рассмотреть способ осмотра оборудования роботизированной системы, её алгоритм и маршрут передвижения на подстанции.

Теория вопроса

Плановый осмотр оборудования подстанции персоналом включает осмотр силовых трансформаторов, осмотр открытых распределительных устройств, осмотр закрытых распределительных устройств.

Особое внимание уделяют следующим пунктам: состоянию маслонаполненных аппаратов (силовые трансформаторы, трансформаторы тока и напряжения); состоянию разъединителей, конденсаторов, изоляции, разрядников, систем шин, проводов и изоляторов воздушной линии, кабельных каналов; происходит проверка состояния и положения коммутационных аппаратов (выключателей, короткозамыкателей и отделителей).

Все мероприятия по осмотру электрооборудования персоналом способна заменить роботизированная система. Она наделена специальным диагностическим оборудованием, которое сможет выполнять требования осмотра электрооборудования.

Методика проведения исследований

В состав диагностического оборудования роботизированной системы входят: видеочкамера – её возможности заключаются в визуальном осмотре оборудования подстанции, нахождении и фиксации дефектов, помощь в передвижении роботизированной системы на подстанции [1]; тепловизор – умеющий выявить и передать на сервер избыточную температуру аппарата [2]; рентген-установка, скрытые дефекты конструкции высоковольтного оборудования возможно находить с помощью источников рентгеновского излучения. [3]

Алгоритм работы роботизированной системы заключается путем программирования идеального состояния каждого электрического аппарата на подстанции. В случае обнаружения неисправностей роботизированная система подает особый сигнал персоналу на сервер.

Алгоритм работы роботизированной системы представлен на рисунке 1. В основном диагностика электрического аппарата состоит из следующих шагов:

1. Передвижение роботизированной системы к электрическому аппарату подстанции.
2. Работа с диагностическим оборудованием:
 - произвести визуальный осмотр электрического аппарата;
 - произвести замер температуры электрического аппарата;
 - произвести диагностику электрического аппарата с помощью рентгеновского излучения.
3. Передача данных на сервер по конкретному электрическому аппарату.
4. Передвижение к следующему электрическому аппарату (возвращение на станцию).

Передвижение роботизированной системы будет производиться по заранее запланированному маршруту, вшитому в программное обеспечение (рис.2). Так же осуществлена возможность взять управление роботизированной системой дистанционно с помощью персонала. В систему возможно внедрение лазеров и датчиков обнаружения препятствий, в случае если на запланированном маршруте появится дополнительный объект.

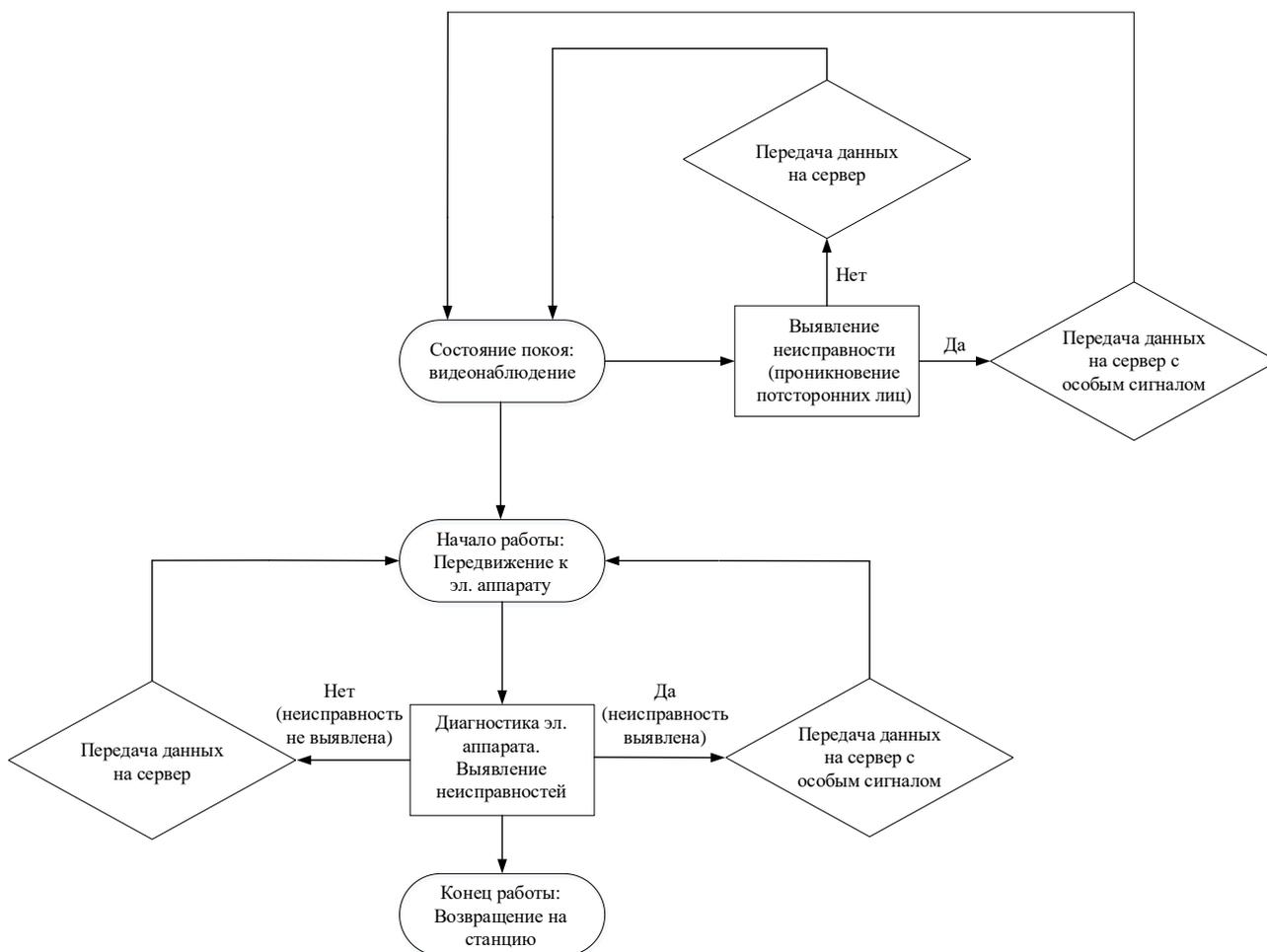


Рис. 1. Алгоритм работы роботизированной системы

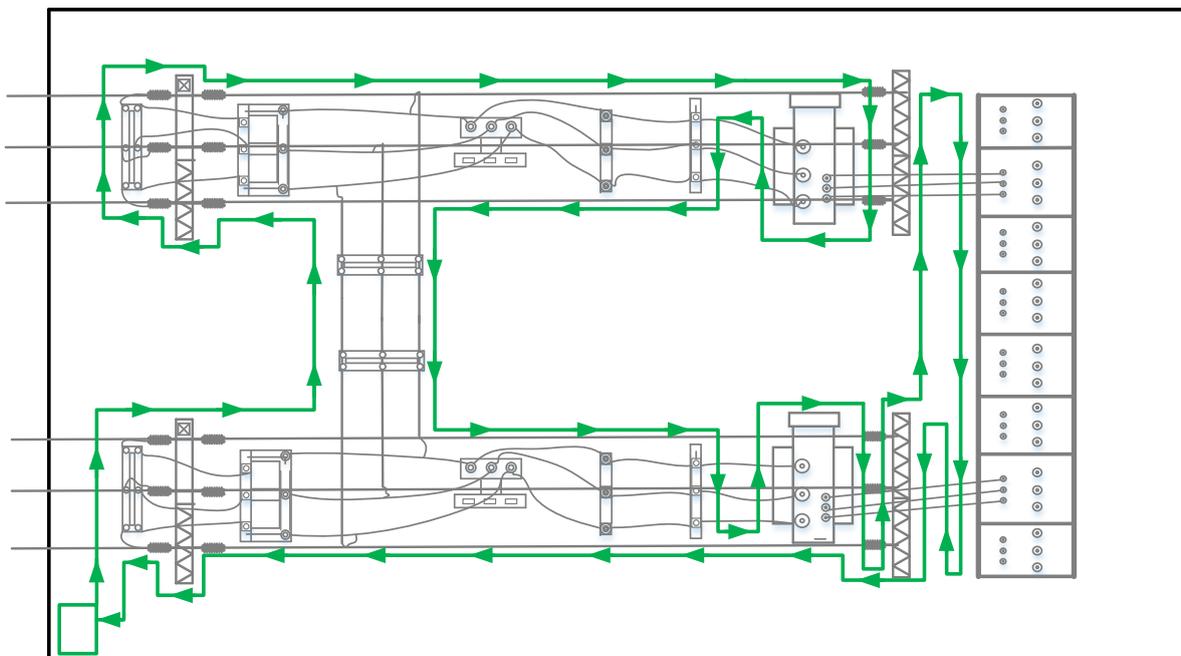


Рис. 2. Возможный маршрут передвижения роботизированной системы на примере компоновки подстанции

Описание метода исследований

Выбранное оборудование может выявлять неисправности на начальном этапе их возникновения, приведя к скорейшему устранению этих неисправностей. На основе данного оборудования построен алгоритм выполнения работ роботизированной системы. В состоянии покоя роботизированная система ведёт круглосуточное видеонаблюдение на подстанции. В случае возникновения неисправности, например, проникновение посторонних лиц на подстанцию, роботизированная система подает особый сигнал на сервер.

В случае диагностики оборудования, роботизированная система сравнивает полученные показания оборудования приборов с рабочими показателями. Если показатели отличаются, то роботизированная система подает особый сигнал на сервер. Если все в норме, формируются показатели для финальной отправки, на сервер которая происходит в конце осмотра всей подстанции.

Заключение

Таким образом, РС способна осуществлять дистанционную диагностику оборудования на подстанции, своевременно выявлять дефекты электрических аппаратов с помощью выбранного диагностического оборудования и его методов осмотра, что позволит провести ремонт оборудования в кратчайшие сроки без серьезных последствий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Губарев Н.А.** Робот для обследования электрооборудования и электроустановок подстанций на безлюдных электрических подстанциях [Текст] / Н.А. Губарев, А.Х. Сабитов, В.В. Максимов // Тинчуринские чтения - 2020 "Энергетика и цифровая трансформация". – 2020 – С. 18-21.
2. **Кайгородов С.С., Достовалов М.С.** Тепловизионное обследование электрооборудования систем электроснабжения [Текст] / С.С. Кайгородов, М.С. Достовалов, Д.А. Иванов // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК. – 2015 – С. 260-265.
3. **Дарьян Л.А.** Современные источники рентгеновского излучения для контроля технического состояния высоковольтного оборудования [Текст] / Л.А. Дарьян // Энергоэксперт. – 2019 – С. 48-55.
4. **Жернаков А.** Незаменимый помощник. тестирование портативного цифрового рентгена в ОАО "МРСК Урала" [Текст] / А. Жернаков // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2016 – С. 120-121.
5. **Иванов Д.А.** Использование роботизированных комплексов и беспилотных летательных аппаратов в качестве платформы для мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи [Текст] / Д.А. Иванов, А.В. Голенищев-Кутузов, Т.Г. Галиева, А.В. Семенников // Тинчуринские чтения - 2021 "энергетика и цифровая трансформация". – 2021 – С. 176-184.

Ключевые слова: роботизированная система, осмотр, диагностика, электрооборудование, подстанция.

Сведения об авторах

Артамонов Илья Владимирович – магистрант кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: ilya484277@mail.ru

Адрес: город Липецк, ул. Московская, д.30.

УДК 621.3

ФИЛЬТР СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В КАЧЕСТВЕ УСТРОЙСТВА РЗА

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Покидов О.А., Зацепина В. И.

В данной работе разработан фильтр устройства релейной защиты и автоматики в среде моделирования Simulink, который работает на линии электропередачи во время возникновения короткого замыкания и выдает значение напряжения прямой, обратной и нулевой последовательности.

Введение

На сегодняшний день в системе электроснабжения используются симметричные трехфазные электрические цепи. Однако часто бывают случаи, когда в системе происходит нарушение этой симметрии, возникающие из-за определенных видов короткого замыкания (КЗ). Эффективным средством борьбы с такой проблемой, на сегодняшний день являются фильтры симметричных составляющих токов и напряжений.

Цель данной работы испытать разработанный фильтр, для устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) с фильтром симметричных составляющих, в условиях аварии на линии электропередачи.

Для этого были поставлены следующие задачи:

- 1) Разработать фильтр симметричных составляющих
- 2) Имитировать линию электропередачи и подключить к ней фильтр
- 3) Осуществить возникновение КЗ на линии и проверить работу фильтра

Методика проведения исследования

В качестве метода исследования было выбрано моделирование в программе MATLAB – Simulink, так как она является удобным интерактивнопрограммным комплексом линейных и нелинейных динамических систем. Также была использована специальная библиотека SimScare. Использование блоков оттуда позволяет создать полноценную модель сложной электротехнической системы.

Описание метода исследований.

Симметричные составляющие — это важные параметры, использующиеся для реализации защит различного оборудования.

Определяются они из имеющихся фазных величин по следующим соотношениям:

$$\begin{aligned}
 V1 &= \frac{1}{3}(Va + aVb + a^2Vc) \\
 V2 &= \frac{1}{3}(Va + a^2Vb + aVc) \\
 V0 &= \frac{1}{3}(Va + Vb + Vc)
 \end{aligned}$$

где Va, Vb, Vc – фазные составляющие тока или напряжения;
 $a = \exp(j2/3)$ – оператор поворота;

Va, Vb, Vc – симметричные составляющие прямой, обратной и нулевой последовательностей соответственно.

Для реализации этой формулы был использован ранее разработанный фильтр. Его структурная схема представлена на рис. 1. На вход фильтра подаются напряжения фаз А, В, С и на выходе это преобразуется в напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

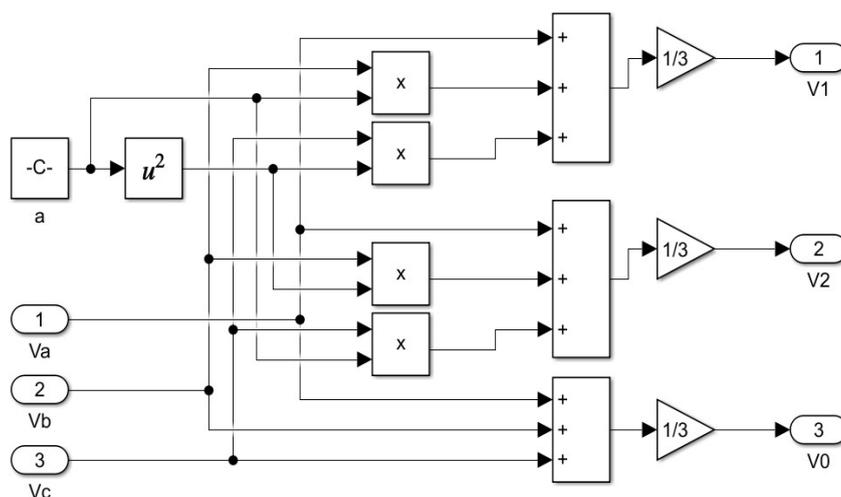


Рис. 1 Реализация фильтра

Для того чтобы провести испытания данного фильтра, была смоделирована

простая линия, генерирующая напряжение 11 кВ и трансформирующая её в 0.4 кВ, которая далее передается потребителю. И с помощью блока Three-Fault, встроенного в библиотеку SimScare, можно имитировать различные виды короткого замыкания. Полная схема приведена на рис. 2.

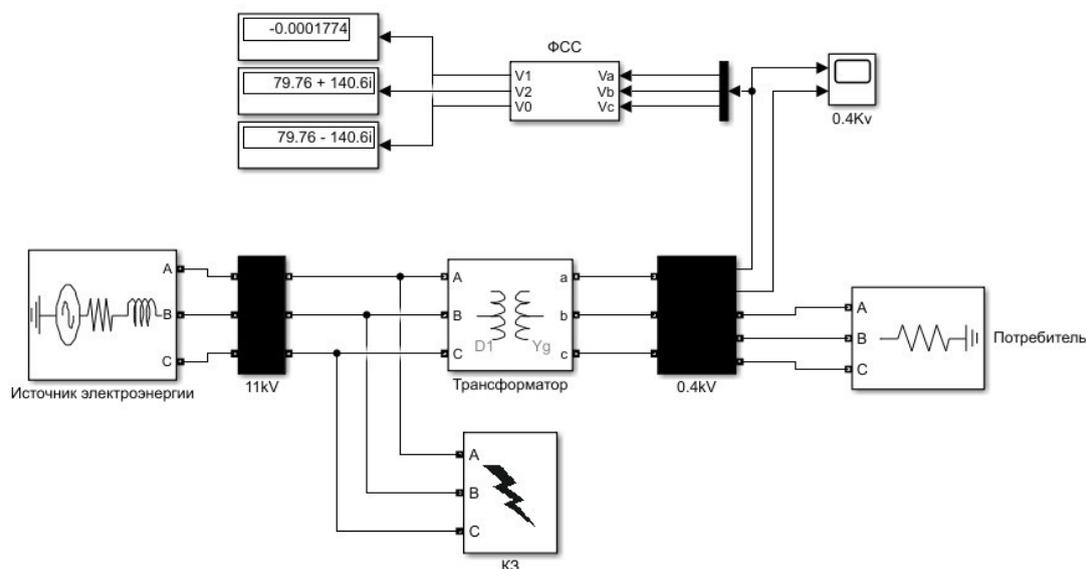


Рис. 2. Схема электроснабжения с подключенным фильтром симметричных составляющих

Результат

Значения напряжений фаз A, B, C, в момент короткого замыкания, приходят на фильтр симметричных составляющих, где с помощью математических операций, он выдает векторы напряжений прямой обратной и нулевой последовательностей на дисплей. Эти значения, в дальнейшем, можно направлять в схемы релейных защит энергетического оборудования, для предотвращения возникновения несимметричных режимов и цепи сигнализаций для информирования персонала.

Заключение

Используя фильтры симметричных составляющих, можно получить устройства РЗА обладающие быстродействием и высокой чувствительностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Н.Ю.Ушакова.** Метод симметричных составляющих / Н.Ю.Ушакова, Л.В.Быковская – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2010. – 59 с.
2. **И.Л. Кузьмин.** Микропроцессорные устройства релейной защиты / И.Л. Кузьмин, И.Ю. Иванов, Ю.В. Писковацкий – Казань, 2015. – 310 с.
3. **Герман-Галкин С.Г.** "Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК" / С. Г Герман-Галкин. – Санкт-Петербург: Корона Век, 2017. – 368 с.

4. **В.П. Дьяконов.** MATLAB И SIMULINK ДЛЯ РАДИОИНЖЕНЕРОВ / В.П. Дьяконов – Саратов: Профобразование 2017. – 976 с.

5. **Чернобровов Н.В.** Релейная защита / Н. В. Чернобровов – М.: Альянс 2019. – 680 с.

6. **А.М. Ершов.** Релейная защита в системах электроснабжения напряжением 0,38-110 кВ / А.М. Ершов. – Вологда: Инфра-Инженерия 2020. – 608 с.

7. **А.Ф. Дьяков** Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем / А.Ф. Дьяков – Москва: МЭИ 2017. – 336 с.

Ключевые слова: фильтры, симметричные составляющие, короткое замыкание, релейная защита

Сведения об авторах:

Покидов Олег Александрович — магистрант кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна — доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: pokidov.oleg@mail.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д.30

УДК 621.3

О КОРРЕКТНОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРИМЕРЕ ГПП-9

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

В.Н. Минина, В.И. Зацепина

Обоснована необходимость использования современных устройств релейной защиты и автоматики для обеспечения бесперебойности электроснабжения. Описаны основные преимущества и недостатки микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики по сравнению с устройствами, выполняемыми на электромеханической базе. Предложены возможные пути решения проблемы отказов, излишних, ложных и неправильных срабатываний микропроцессорной защиты. Обозначена возможность интегрирования микропроцессорных терминалов в цифровую подстанцию при дальнейшем её создании. Предложено проведение модернизации системы релейной защиты и автоматики на ГПП-9 с использованием микропроцессорных блоков. Описаны условия срабатывания основных токовых защит – максимальной токовой защиты и токовой отсечки. Приведены условия построения карты селективности токовых защит, реализуемых в микропроцессорных терминалах, и осуществлён её анализ. Обоснована согласованность защит.

Введение

Бесперебойность и надёжность электроснабжения крайне важна в сфере промышленности, так как нарушение электроснабжения влечёт за собой материальные убытки, сбои в работе техники [1]. Чтобы обеспечить бесперебойность электроснабжения, необходимо использовать как минимум два независимых источника питания [2]. Переключение между ними, а также отключение повреждённых элементов осуществляется устройствами релейной защиты и автоматики (РЗА), выполняемыми на различных базах.

С целью повышения надёжности электроснабжения предлагается провести модернизацию системы РЗА на ГПП-9 с помощью микропроцессорных устройств, которым по сравнению с электромеханическими защитами характерна более высокая точность измерений, чувствительность, быстродействие, постоянство характеристик, при этом происходит уменьшение ступеней селективности [3]. Для проверки корректности срабатывания устройств защиты необходимо произвести анализ карты селективности токовых защит.

Теория вопроса

По данным исследований [4], отказы микропроцессорных устройств происходят чаще, чем электромеханических. Однако микропроцессорные терминалы, по сравнению с длительно эксплуатируемой электромеханикой, имеют более низкие показатели неправильного срабатывания [5]. Более того, именно микропроцессорные защиты можно встраивать в цифровые подстанции – это позволяет не только упростить механизмы управления, но и сократить количество обслуживающего персонала [6]. Недостатком микропроцессорных устройств РЗА является количество ложных и излишних срабатываний, которое, по статистике, в 10 раз больше, чем у электромеханических устройств [7]. Также возможны отказы [8] и неправильные срабатывания [9] вследствие электромагнитных воздействий. Для решения данных проблем можно использовать современные способы настройки параметров срабатывания [10] и программирования [11] микропроцессорной РЗА, а также внедрять централизованную систему РЗА с адаптивными алгоритмами, организовав мероприятия по обеспечению информационной безопасности [12].

Методика проведения исследования

В качестве основных защит выбраны токовая отсечка (ТО) и максимальная токовая защита (МТЗ), реализуемые в микропроцессорных терминалах. Степень селективности принята равной 0,3 с. Отстройка токовых защит выполнена от значений токов короткого замыкания и токов перегрузки. В соответствии со значениями токов построена карта селективности токовых защит (рис. 1). Широкий диапазон значений тока обусловил выбор логарифмической шкалы тока.

Описание метода исследования

Чувствительность защит уменьшается при движении вправо-вверх от начала координат. Согласно карте, наиболее чувствительными являются МТЗ и ТО линии 10 кВ 96 ячейки. При возникновении внутреннего короткого замыкания будет срабатывать ближайший вышестоящий элемент защиты. Токовые защиты работают селективно. Поэтому вероятность неправильных срабатываний уменьшится, что положительно повлияет на надёжность энергосистемы.

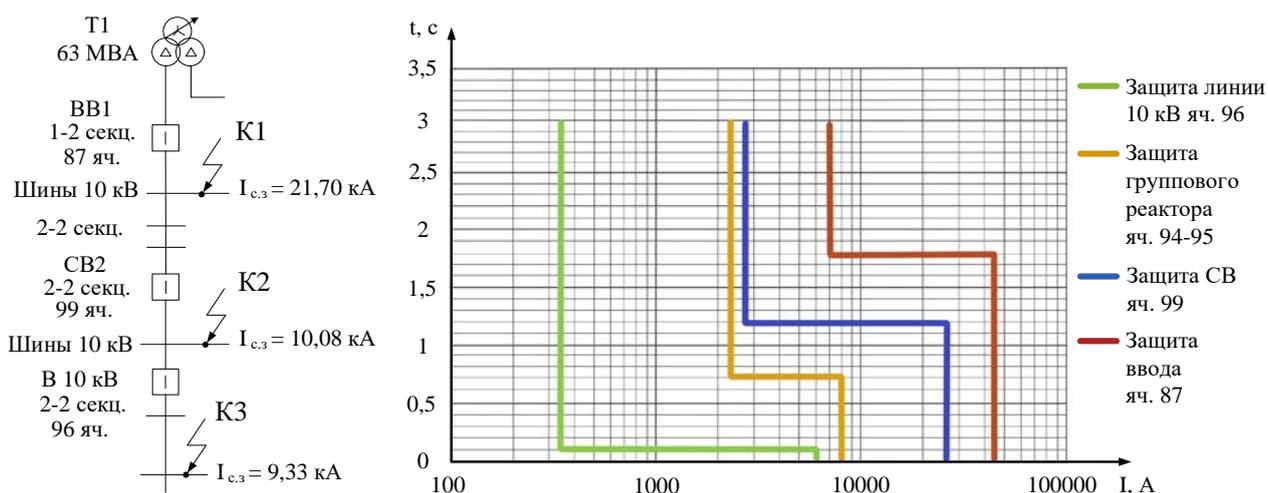


Рис. 1. Схема питания потребителя и карта селективности токовых защит

Результаты и их обсуждение

На основании токов короткого замыкания и перегрузки с учётом выдержки времени построены карты селективности токовых защит на микропроцессорной базе. Защиты действуют согласованно.

Выводы

Модернизация системы РЗиА ГПП-9 с использованием микропроцессорных устройств позволит повысить надёжность электроснабжения и минимизирует влияние отрицательных последствий повреждений на энергосистему. При правильной настройке параметров срабатывания и организации других мероприятий, направленных на снижение неправильных срабатываний защиты, система РЗиА сможет обеспечить бесперебойность электроснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Титаренко, О.Н. Обеспечение надежного функционирования единой энергетической системы / О. Н. Титаренко, А. М. Шестернева // Энергетические установки и технологии. – 2022. – Т. 8. – № 1. – С. 65-70.

2. **Алексеев, М.В.** Решения по автоматическому вводу резерва / М. В. Алексеев // Научные вести. – 2022. – № 2(43). – С. 179-205.

3. **Иванов, Д.М.** Повышение надежности электроснабжения потребителей посредством применения современных технических решений на основе микропроцессорных терминалов с делительной автоматикой на стороне 10 кВ / Д. М. Иванов // Эпоха науки. – 2022. – № 29. – С. 40-45.

4. **Ващук, К.В.** Влияние различных типов релейной защиты на надежность электрических сетей / К. В. Ващук, Д. О. Жаркова // Электроэнергетика и электротехника: Материалы 78-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Минск, 25–27 апреля 2022 года. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2022. – С. 7-10.

5. **Лундалин, А.А.** Направления развития релейной защиты и автоматики в российских электрических сетях. – Текст / А.А. Лундалин, Е.Ю. Пузина, И.А. Худоногов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – № 2 (62). – С. 77-85.

6. **Шарифуллин, Р.Р.** Электроэнергетика России в эпоху цифровизации / Р. Р. Шарифуллин, Д. М. Валиуллина // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов: Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, Москва, 02 июня 2022 года / Редколлегия: Л.К. Гуриева [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "ИРОК", ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2022. – С. 94-97.

7. **Криворучко, Н.А.** Преимущества и недостатки при эксплуатации микропроцессорных устройств релейной защиты электродвигателей / Н. А. Криворучко, К. Р. Валиуллин // Вестник науки. – 2022. – Т. 2. – № 6(51). – С. 233-238.

8. **Щинников, И.А.** Микропроцессорные терминалы защиты. – Текст / И. А. Щинников, И. В. Савчук // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения – сб. науч. тр. / ГАУ Северного Зауралья. – Тюмень, 2019. – С. 614-616.

9. **Середа, Н.В.** Методы оценки надежности микропроцессорных устройств релейной защиты. – Текст / Н. В. Середа, И. С. Касумов // Неделя науки – 2021: сб. науч. тр. – Махачкала, 2021. – С. 116-117.

10. Система автоматического адаптивного изменения параметров срабатывания релейной защиты в распределительных сетях / С. А. Данилов, А. И. Коваленко, А. А. Волошин [и др.] // Вопросы электротехнологии. – 2021. – № 1(30). – С. 33-43.

11. **Лисичников, Е. М.** SCADA системы и их возможное применение в системах электроснабжения / Е. М. Лисичников // Наукосфера. – 2022. – № 1-1. – С. 219-226.

12. **Смирнов, В. В.** Релейная защита и автоматика – проблемы и перспективы развития в электроэнергетической системе России / В. В. Смирнов, Н. А. Яковенко // Энергетические установки и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 1. – С. 83-87.

Ключевые слова: релейная защита и автоматика, микропроцессорная релейная защита, надежность, селективность, карта селективности, токовые защиты, МТЗ, ТО.

Сведения об авторах

Минина Виктория Николаевна – студент кафедры «Электрооборудование» Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: victoria.nya31@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д. 30

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ НА ОСНОВЕ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Ф.А. Куликов

Точность существующих алгоритмов определения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП) во многих случаях оказывается достаточно низкой, что приводит к увеличению финансовых и временных потерь, связанных с устранением последствий аварий, а следовательно, разработка новых алгоритмов актуальна и необходима.

Цель работы заключается в разработке двустороннего оптимизационного алгоритма ОМП на основе перспективной технологии синхронизированных векторных измерений (СВИ), которая все чаще начинает применяться для целей ОМП [1]. Предметом исследования является разработка и совершенствование методов ОМП по параметрам аварийного режима (ПАР). Исследование проведено посредством математического моделирования с применением комплекса АТР/АТРDraw и учебной версии программно-вычислительного комплекса MATLAB. Эффективность функционирования разработанного алгоритма ОМП верифицирована на имитационной модели ВЛЭП 500 кВ путем проведения вычислительных экспериментов.

Введение

ВЛЭП являются одним из самых часто повреждаемых элементов электросетевой инфраструктуры, на них приходится до 85 % всех повреждений.

Точное ОМП на ВЛЭП – один из основных способов повышения надежности электроснабжения [2]. Разработка новых методов ОМП позволит снизить затраты на устранение последствий аварий и повысить надёжность функционирования энергосистемы. Большинство существующих методов ОМП являются формульными дистанционными. Их погрешность может достигать 10 % от длины линии и, в некоторых случаях, может выходить за пределы диапазонов допустимой зоны обхода [3]. Для повышения точности ОМП предлагается использовать новый алгоритм на основе синхронизированных векторных измерений.

Методика проведения исследований и модель электрической сети

Тестирование разработанного алгоритма производится на базе ВЛЭП 500 кВ, схема замещения которой, собранная в программном комплексе АТР/АТРDraw показана на рисунке 1. В имитационной модели учтена распределенность погонных параметров линии, а измерительные трансформаторы считаются идеальными. Кроме того, учтено влияние неидеальной транспозиции фаз воздушной линии.

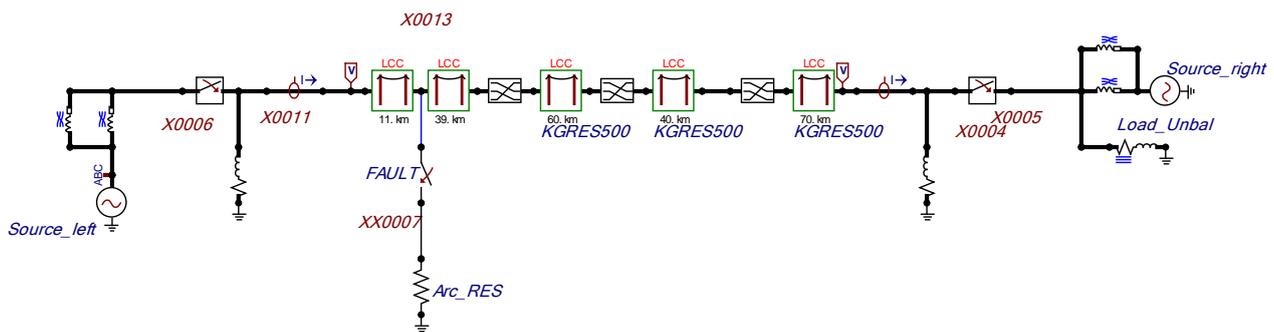


Рис.1. Схема замещения исследуемой ВЛЭП в АТР/АТРDraw

Погонные параметры исследуемой ВЛЭП представлены в таблице 1.

Таблица 1

Погонные параметры исследуемой ВЛЭП

Параметр	r1, Ом	r0, Ом	x1, Ом	x0, Ом	y1, мкСм	y0, мкСм	Длина, км
Значение	0,0253	0,207	0,302	0,733	3,806	2,633	220

Мгновенные значения тока и напряжения, измеренные в начале и конце ВЛЭП, сохраненные в формате .csv подставляются в алгоритм, имитирующий устройство синхронизированных векторных измерений. Данные СВИ затем используются в двустороннем оптимизационном алгоритме ОМП, суть которого заключается в оптимизации переопределенной системы нелинейных уравнений (1), составленных для ВЛЭП.

$$\begin{aligned}
 (I_{\text{left}_1} + I_{\text{right}_1}) - (I_{\text{left}_0} + I_{\text{right}_0}) &= 0; \\
 (I_{\text{left}_1} + I_{\text{right}_1}) - (I_{\text{left}_2} + I_{\text{right}_2}) &= 0; \\
 (V_{f_1} - V_{f_2} - V_{f_0}) + I_{\text{fault}} \cdot R_{\text{пер}} &= 0,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где I_{left_n} и I_{right_n} – токи слева и справа от точки КЗ прямой (1), нулевой (0) и обратной (2) последовательностей; V_{f_n} – напряжение прямой, обратной или нулевой последовательности непосредственно в точке КЗ; I_{fault} , $R_{\text{пер}}$ – ток КЗ и переходное сопротивление соответственно.

Для оценки точности разработанного алгоритма ОМП рассматривается случай однофазного короткого замыкания (КЗ) в фазе «А» на различном расстоянии (от 1 до 99 % длины ВЛЭП с шагом 1 %) от шин слева. Допустимая погрешность ОМП принимается равной 1 % для двусторонних методов ОМП [4]. Фактор варьирования местоположения точки КЗ вдоль ВЛЭП выбран для рассмотрения, так как является одним из наиболее влияющих на точность ОМП [5].

Результаты экспериментов

Для осуществления процедуры ОМП выбирался комплект измерений, соответствующий режиму установившегося КЗ для всех 99 точек. Замеры с двух сторон – идеально синхронизированы по времени.

Анализ результатов вычислительных экспериментов, представленных на рисунке 2, показывает, что результаты ОМП, полученные с помощью предложенного алгоритма, укладываются в допустимые диапазоны требуемой погрешности ОМП и не превышают 0,24 %. В пересчете на длину ВЛЭП точность составляет ± 528 м, что приблизительно равно длине одного пролета ВЛЭП 500 кВ.

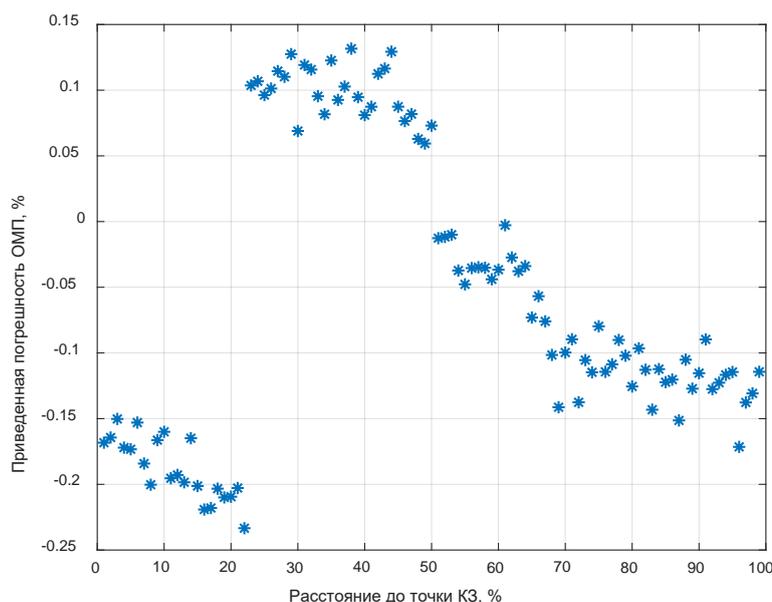


Рис. 2. Погрешности ОМП предложенного алгоритма в различных точках ВЛЭП

Заключение

Анализ результатов исследований на модели участка электрической сети 500 кВ показал не только высокий потенциал применения СВИ для целей ОМП, но и высокую эффективность предлагаемого алгоритма. Представлены числовые показатели влияния изменения местоположения точки КЗ на величину погрешности ОМП по предложенному алгоритму.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Usman M. U., Faruque M. O.** Applications of synchrophasor technologies in power systems // *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. 2019, March. Vol. 7. No. 2. P. 211 – 226
2. **Gopakumar P., Reddy M.J.B., Mohanta D.K.** Transmission line fault detection and localisation methodology using PMU measurements // *IET Generation, Transmission & Distribution*. – 2015. – vol. 9. – no. 11. – Pp. 1033–1042.
3. **СТО 56947007-29.240.55.159-2013.** Типовая инструкция по организации работ для определения мест повреждений воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ и выше. Дата введения: 28.11.2013. – ОАО «ФСК ЕЭС».
4. **СТО 56947007-29.120.70.241-2017.** Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА. Дата введения: 28.02.2017. – ПАО «ФСК ЕЭС».
5. **Аржанников Е.А.** Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов; под ред. В.А. Шуина. М.: Энергоатомиздат, 2003.

Ключевые слова: синхронизированные векторные измерения, определение места повреждения, воздушная линия электропередачи.

Сведения об авторах

Куликов Филипп Александрович – аспирант кафедры «Электрические системы» Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина.

email: kulikov96@outlook.com

Адрес: г. Иваново, ул. Родниковская, 44

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В ПЕРЕДВИЖНЫХ ПРИКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ ПУНКТАХ

ООО «НПП «Комплексные интеллектуальные технологии», Санкт-Петербург, Россия

Зимовец А.И., Зацепина В.И.

Введение

Современные предприятия добывающей промышленности – это крупные потребители электрической энергии, которая используется практически во всех производственных процессах. Проведение мероприятий по цифровизации производственных процессов становится определяющим фактором по повышению конкурентоспособности горнодобывающей компании и позволяет увеличить производительность добычи полезных ископаемых, а также обеспечивает устойчивую и безотказную работу электроэнергетического комплекса.

Опыт эксплуатации электроустановок свидетельствует, что надежность работы системы электроснабжения значительно зависит от наличия и правильной работы устройств релейной защиты, автоматики и сигнализации. Одними из главных способов повышения надежности систем электроснабжения является применение микропроцессорных устройств релейной защиты, своевременная корректировка расчетов токов коротких замыканий, повышение уровня эксплуатации электроустановок и обучение обслуживающего персонала.

Основная часть

Согласно данным приведенным в «Концепции развития релейной защиты ГК «Россети» основной парк устройств РЗА компании ПАО «Россети» составляют электромеханические устройства (79%), из них в эксплуатации находится 72% устройств со сроком службы, превышающим нормативный. Также в эксплуатации находится большое количество устройств РЗА на микроэлектронной базе со сроком службы, превышающим нормативный (43%) [1]. Аналогичная ситуация наблюдается и на предприятиях добывающей промышленности.

В процессе эксплуатации электромеханических и микроэлектронных устройств релейной защиты выявляются следующие технические особенности, приводящие к необходимости замены и модернизации устройств, а именно:

- несоответствие технических характеристик или функциональных возможностей устройства требованиям к селективности, быстродействию, чувствительности;
- невозможность восстановления требуемых параметров и характеристик устройств и комплексов РЗА при проведении технического обслуживания;

- фактический износ устройств до состояния, требующего их замены;
- неудовлетворительное состояние изоляции монтажных проводов устройств, катушек, изоляционных трубок и т.д. по механической или электрической прочности или по уровню сопротивлению изоляции;
- рост количества случаев изменения характеристик и (или) повреждений элементов устройств, выявленных при проведении технического обслуживания и при анализе случаев неправильной работы:
- рост относительного числа неправильной работы (процента отказов, излишней и ложной работы устройства) [2].

Техническое перевооружение электротехнического комплекса является одним из ключевых пунктов по повышению эффективности использования электроустановок. Одним из элементов технического перевооружения является замена устаревшей электромеханической и микроэлектронной релейной защиты на современные образцы микропроцессорной техники. Особые условия электроснабжения стационарных или передвижных электроустановок большой мощности (экскаваторы, буровые станки и т.д.) предъявляет к применяемой релейной защите жесткие требования по быстродействию, чувствительности, селективности и надежности и в настоящее время таким требованиям могут соответствовать микропроцессорные устройства релейной защиты.

Исходя из выше сформулированных условий было разработано микропроцессорное устройство релейной защиты, с учетом специфики эксплуатации оборудования в условиях добывающей отрасли.

Устройство выполняет функции релейной защиты и сигнализации кабельного фидера, предназначенного для питания стационарных или передвижных электроустановок напряжением 6-10 кВ. Устройство предназначено для работы на распределительных подстанциях и приключательных пунктах с переменным оперативным током [3].



Рис. 1. Внешний вид устройства релейной защиты

В данном устройстве реализованы как стандартные, так и специфические функции релейной защиты:

- 2-х ступенчатая МТЗ (ТО и МТЗ);
- 2-х ступенчатая направленная защита от замыканий на землю, с возможностью настройки угла направления мощности;
- защита от обрыва фазы;
- защита от повышения напряжения;
- защита минимального напряжения;
- контроль работы ОЗЗ от кнопки управления на лицевой панели устройства либо от внешнего сигнала;
- защита от обрыва кабельной жилы, с действием на отключение выключателя;
- прием сигнала открытия кабельного отсека («контроль крышки люка»), с блокировкой по напряжению сети).

Реализованная в устройстве защита от обрыва кабельной жилы обеспечивает контроль целостности заземляющей цепи стационарных или передвижных электроустановок и выдает команду на отключение выключателей, питающих по кабелям эти электроустановки, при получении внешнего сигнала контроля кабельной жилы.

Дополнительно в устройстве имеется возможность независимого выбора до четырех уставок по току и до четырех уставок по времени (уставки выбираются либо кнопками на панели управления терминала, либо от 2-х внешних 4-х позиционных ключей управления).

Устройство включает в себя 8 измерительных аналоговых входов, в том числе 4 токовых и 4 канала напряжения. Диапазон контролируемых значений фазных токов составляет от 0,25А до 250А, а диапазон контролируемых значений каналов напряжения составляет от 2В до 264В, при этом основная относительная погрешность измерения токов и напряжения составляет не более 2%.

Устройство обеспечивает запись и хранения осциллограмм аварийных процессов. Общее количество осциллограмм составляет не менее 400 осциллограмм, при длительности записи по 10 с. При заполнении памяти и появлении новой осциллограммы стираются самые старые осциллограммы.

В настоящее время образец устройства установлен на одном из объектов предприятия добывающей промышленности в опытно-промышленную эксплуатацию. Срок опытно-промышленной эксплуатации составляет 6 месяцев, по результатам которого будет составлен технический отчет и в адрес предприятия разработчика будут направлены рекомендации и предложения по усовершенствованию устройства.

Заключение

Техническое перевооружение электротехнического комплекса путем замены электромеханических и микроэлектронных реле на современные устройства микропроцессорной релейной защиты позволит точно и быстро определить, и отключить поврежденные участки сети, автоматически регулировать и отстраиваться от ненормальных режимов работы сети в зоне работы защит, а также фиксировать и осциллографировать параметры аварийного события.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **«Концепция развития релейной защиты, автоматики и автоматизированных систем управления технологическими процессами электросетевого комплекса группы компаний «РОССЕТИ»**, Москва, 2022 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/vipiska_prilogenie.pdf?ysclid=ld96zgokdu208879767.
2. **Стандарт организации ГК «РОССЕТИ» СТО 34.01-4.1-011-2020 «Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатирующихся устройств релейной защиты и автоматики энергосистем»**, ПАО «Россети», 2020 год, С. 12.
3. **Руководство по эксплуатации ТРБН.656122.001-15.01 РЭ1.**

Сведения об авторах

Зимовец Алексей Иванович – директор по маркетингу ООО Научно-Производственное Предприятие «КИТ».

email: Aleksey.zimovets@kit-electro.ru

Адрес: г. Санкт-Петербург, Петергофское шоссе, д. 73У.

УДК 621.3

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗОЛЯТОРОВ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

К.В. Фролов, Л.М. Инаходова

В работе рассматривается проведение эксперимента по исследованию загрязненных керамических изоляторов, используемых для линий электропередачи. При помощи разработанного акустического датчика были получены высокочастотные сигналы, возникающие в результате появления частичных разрядов на поверхности изоляторов. Описаны лабораторное оборудование и методика проведения эксперимента.

Введение

В процессе эксплуатации электрических изоляторов происходит их загрязнение, что приводит к увеличению их электропроводности. При увеличении электропроводности изоляторов повышается риск появления сбоев в системе электроснабжения. При проведении проверок используются различные методы анализа эксплуатации электрических изоляторов: внешний осмотр, измерение сопротивления изоляции, высоковольтные испытания, а также обнаружение частичных разрядов [1]. Проверка и испытание изоляторов на

частичные разряды выполняется с помощью электронно-оптического прибора «Филин-6» или ультразвукового детектора утечек и электрических разрядов [2,3]. Подобные устройства представляют собой портативные переносные приборы, работа которых основана на принципе бесконтактного проведения диагностических работ, не требующих отключения объекта исследования от электроснабжения. Такой подход повышает безопасность работы оператора и упрощает проведение процедуры диагностики. Проведение регулярных работ по обследованию изоляторов с помощью переносных приборов сопровождается транспортными издержками. Также стоит отметить высокую стоимость указанного оборудования.

В качестве решения вопроса по оптимизации затрат на проведение диагностических работ предлагается метод дистанционного сбора данных о состоянии изоляторов.

Теория вопроса

На протяжении многих лет для поддержки и изоляции воздушных проводов в системах передачи и распределения используются фарфоровые изоляторы. Изоляторы постоянно подвергаются воздействию окружающей среды и механическим нагрузкам. Это приводит к ухудшению их электрических и механических характеристик. В следствии чего может произойти выход из строя изолятора. Во-первых, отказ работы изолятора возникает при прохождении напряжения через его поверхность к земле. Во-вторых, отказ может быть вызван разрывом изолятора в следствии механических нагрузок. Важную роль играет отсутствие загрязнения поверхности изолятора, так как это приводит к иным воздействиям на энергосистему. Например, из-за высоких токов потерь усиливаются электромагнитные помехи [6].

Для снижения вероятности выхода из строя изолятора необходимо проводить плановые диагностические работы. Одним из методов диагностики является метод, основанный на выявлении частичных разрядов, возникающих при возникновении дефекта на изоляторе. Частичные разряды приводят к появлению ультразвукового излучения. При проведении диагностики оператор с помощью портативных ультразвуковых устройств локализует неисправные изоляторы. Однако частичные разряды могут возникать при небольшом загрязнении изоляторов, а также при высокой влажности воздуха. В этой связи увеличивается погрешность определения оператором дефектных изоляторов.

Таким образом возникает необходимость получения данных, основанных на ультразвуковых сигналах загрязненных изоляторов. Эти данные возможно использовать для прогнозирования состояния изоляторов.

Методика проведения исследований

Лабораторные исследования проводились на испытательном оборудовании ООО «Белебеевские городские электрические сети». Для получения данных использовалось следующее оборудование: испытуемый образец изолятора;

макет акустического детектора; цифровой осциллограф UNI-T UTD2052CL; аналогово-цифровой преобразователь L-Card E20-10; компьютер. На рисунке 1 приведен внешний вид лабораторной установки.

Разработанный макет акустического датчика представляет собой микрофон с шириной полосы частот от 100 Гц до 80 МГц. Датчик был подключен через аналогово-цифровой преобразователь для сбора данных [4].

Акустическое оборудование располагалось на расстоянии 2 метров от образца. В качестве образца использовался загрязненный керамический изолятор.

В ходе эксперимента добивались пробоя через загрязненный слой изолятора. Все показания фиксировались на компьютере.

Тем самым были получены акустические данные для анализа. В настоящее время ведется работа по проектированию архитектуры свёрточной нейросети для последующего её обучения на основе полученных аудиосигналов, снятых с различного рода дефектных контактных соединений. Полученные данные будут использованы для проектирования системы поддержки принятия решений, связанной с мониторингом и диагностикой электрооборудования [5].



Рис.1. Лабораторная установка

Заключение

Локализация неисправностей, связанных с электрической системой, является важным вопросом для обеспечения поставки электроэнергии потребителям. Развитие акустических методов диагностики электрооборудования позволит

оперативно получать информацию его состоянии. Системы прогнозирования аварий энергетического оборудования позволят снизить расходы на содержание оборудования, ликвидацию последствий аварий, а также позволят предотвратить выход из строя необходимого энергооборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Приказ Минэнерго России от 25.10.2017 № 1013** (ред. от 13.07.2020) «Об утверждении требований к обеспечению надежности электроэнергетических систем, надежности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики» (Зарегистрировано в Минюсте России 26.03.2018 № 50503). – Текст : непосредственный.

2. **ФИЛИН-6 – электронно-оптический дефектоскоп**. Официальный сайт ООО «ЭЛЕКТРОНПРИБОР». – URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/113/filin-6.htm> (дата обращения: 10.12.2022).

3. **TUD-1 — ультразвуковой детектор утечек и электрических разрядов**. Официальный сайт ООО «ЭЛЕКТРОНПРИБОР». – URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/224/tud-1.htm> (дата обращения: 10.12.2022).

4. **Инаходова Л.М., Крылов А.О., Фролов К.В.** Акустические исследования дефектов высоковольтных изоляторов. Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации : Сборник статей по материалам третьей Всероссийской научно-практической конференции, Белебей, 27 апреля 2022 года. – Белебей: Самарский государственный технический университет, 2022. – С. 65-66. – Текст : электронный.

5. **Инаходова Л.М., Фролов К.В.** Исследование звукового излучения контактных соединений распределительных устройств подстанций. Вести высших учебных заведений Черноземья. Том 17, № 4 (66). Липецк: ЛГТУ, 2021. – С. 26-32. ISSN: 1815-9958.

6. **Вантеев, А. И.** Обслуживание электрических подстанций: теория и практика : учебное пособие / А. И. Вантеев. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 368 с. – ISBN 978-5-9729-0538-6. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/114938.html> (дата обращения: 19.12.2022). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

Ключевые слова: электрический изолятор, диагностика силового оборудования, акустический метод.

Сведения об авторах

Фролов Кирилл Владимирович – аспирант кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» (АЭЭС) Самарского государственного технического университета (СамГТУ).

Инаходова Лолита Меджидовна – кандидат технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» (АЭЭС) Самарского государственного технического университета (СамГТУ).

e-mail: riksot@mail.ru

Адрес: г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ РАБОТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

И.Н. Фомин

Повышение надёжности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей за счёт принятия на основе полученной информации оперативным персоналом необходимых решений является важной задачей. Решить ее позволяет осуществление контроля отключения выключателей секционированных линий при возникновении короткого замыкания за местом их установки.

Введение

На сегодняшний день существующие технические решения по онлайн-мониторингу в ВЛ 6-10 кВ основаны на использовании специальных каналов связи, т.к. GPS, ГЛОНАСС, радиосвязь и др. Отечественная и зарубежная промышленность выпускает высоковольтные выключатели, оснащенные средствами связи. В тоже время использование специальных каналов связи для дистанционного контроля и управления имеет ряд недостатков, наиболее важным из них является зависимость получения информации о работе выключателя от работоспособности средств связи [1]. Данные средства могут выходить из строя как по аварийным причинам, так и вследствие отключения оператором за неплатежи, технических мероприятий провайдеров, подавления связи в случае чрезвычайной ситуации. Проблема поиска мест повреждений в сельских электрических сетях 6-10 кВ остаётся актуальной, так как поиск связан с большими затратами времени, финансовых средств и недоотпуском электроэнергии потребителям [2].

Теория вопроса

В настоящее время значительную долю продолжительности аварийного отключения составляет время с момента появления аварийной ситуации, установления причины и поиска места повреждения. Анализ различных способов получения и передачи информации о работе высоковольтных выключателей показывает, что весьма эффективным может оказаться

применение способов онлайн-мониторинга без организации специальных каналов связи [3].

Поэтому повышение надежности систем электроснабжения путем дистанционного контроля работы высоковольтных выключателей посредством разработки новых способов и средств осуществления без организации специальных каналов связи для сокращения времени перерывов в электроснабжении сельскохозяйственных потребителей является актуальной задачей.

Результаты

Использование средств для осуществления дистанционного контроля работы высоковольтных выключателей без организации специальных каналов связи, позволяющих сократить ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям и, таким образом, повысить эффективность функционирования систем электроснабжения, является важной задачей обеспечения надежного электроснабжения потребителей. Диаграммы изменения тока в линии при неуспешном и успешном АПВ представлены на рисунке 1.

На основе физических процессов отключения выключателей в ВЛ предложен способ онлайн-мониторинга, который позволяет получать своевременную информацию об успешном и неуспешном АПВ высоковольтных выключателей в секционированной линии электропередачи без организации специальных каналов связи. Осуществление предложенного способа приведет к повышению надежности электроснабжения потребителей за счёт принятия на основе полученной информации оперативным персоналом необходимых решений.

Научная новизна разработанных способов заключается в следующем [4,5]:

- в выборе и обосновании признаков, отличающихся от известных, тем, что в них учтены последовательности изменения тока, скорость их изменения, временные интервалы их появления и исчезновения в электрических линиях, позволяющие отличать различные режимы работы высоковольтных выключателей;

- в разработке нового способа онлайн-мониторинга работы высоковольтных выключателей без организации специальных каналов связи, отличающихся от известных признаками распознавания устойчивых КЗ, позволяющих повысить надежность электроснабжения;

- в разработке алгоритмов реализации предложенного способа, блока цифровой обработки данных на микросхемах AD7495AR и FT232R, и программного обеспечения, которые позволяют осуществлять онлайн-мониторинг работы высоковольтных выключателей, отличающихся от известных, тем, что они построены с учетом анализа и систематизации признаков появления КЗ в линиях электропередач.

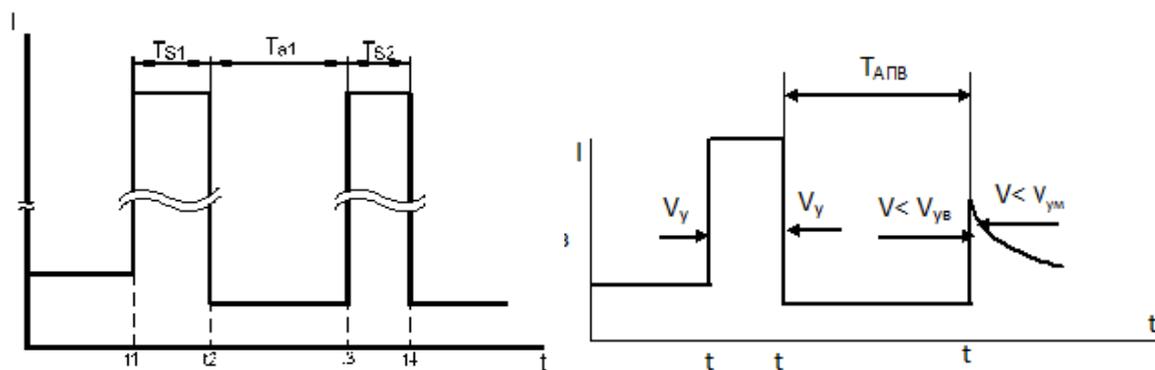


Рис. 1. Диаграммы изменения тока в линии при неуспешном и успешном АПВ

Анализируя изменения тока и временных интервалов в контролируемых точках во всех вариантах работы выключателей при КЗ можно сделать вывод о достоверности этих признаков для осуществления онлайн-мониторинга (рис. 2).

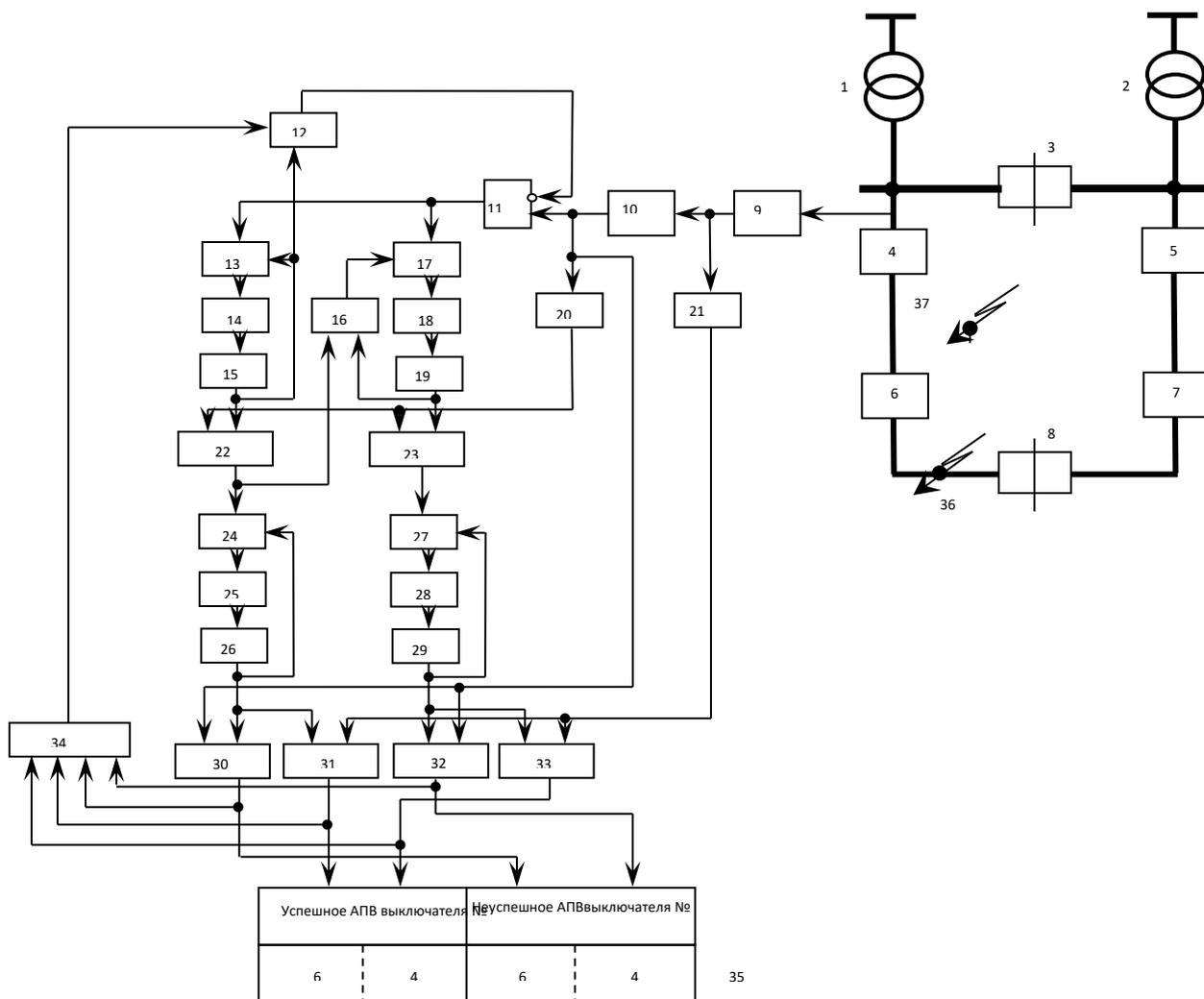


Рис. 2. Способы дистанционного контроля работы выключателей без организации специальных каналов связи

На основе соответствующих исследований были выявлены и обоснованы признаки, позволяющие различать признаки распознавания действий высоковольтных выключателей при дистанционном контроле. Анализируя изменения тока и временных интервалов в контролируемых точках во всех вариантах работы выключателей при КЗ был сделан вывод о достоверности этих признаков для осуществления онлайн-мониторинга [2,5].

Для проверки работоспособности системы онлайн-мониторинга работы высоковольтных выключателей электрической сети были проведены лабораторные испытания. В программу испытаний входила проверка блока цифровой обработки данных и результатов реализации разработанных алгоритмов и программы для персонального компьютера. Имитировались ситуации с успешными и неуспешными АПВ высоковольтных выключателей с разными по форме бросками тока.

Заключение

Разработаны соответствующие алгоритмы реализации предложенных способов дистанционного контроля работы высоковольтных выключателей без организации специальных каналов связи. Они послужили основой для создания средств реализации онлайн-мониторинга работы высоковольтных выключателей в секционированной линии электропередачи.

В процессе разработки устройства дистанционного контроля работы высоковольтных выключателей были разработаны блок цифровой обработки данных на микросхемах AD7495AR и FT232R. В процессе разработки блока цифровой обработки данных был так же предложен и новый вариант блока присоединения датчика изменения тока [4].

Проведенные искусственные короткие замыкания при лабораторных испытаниях разработанных средств онлайн-мониторинга высоковольтных выключателей без организации специальных каналов связи с помощью источника питания для настройки защит полностью подтвердили работоспособность разработанных технических средств

Проведенные усредненные технико-экономические расчеты, показали, что экономия финансовых затрат при использовании онлайн-мониторинга составляет 36,39% [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Vinogradov, A.V.** To determine the efficiency of power supply systems [Text] / A.V. Vinogradov // Bulletin of the NGIEI. – 2017. – №7 (74). – Pp. 26-35.
2. Identification power line sections with increased-electricity losses using sensors with Wi-Fi technology for data transmission / I. N. Fomin, R. P. Belikov, T. A. Kudinova, A. N. Tsvetkov // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 мая 2020 года. – Prague, 2020. – P. 01083. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801083. – EDN VRQMCC.

3. **Fomin, I.** Improvement of Power Supply Reliability by Means of Remote Control of the Automatic Repeated Switching-on of Sectionalizing Circuit-Breakers / Fomin, I., Belikov, R., Zelyukin, V., Mikhailova, E.V. // E3S Web of Conferences, 2019, 124, 01042.

4. **Fomin I. N.** Development of a Method and Algorithm for Inhibiting an Automatic Transfer Switch of the Circuit Breaker for a Sustained Short-Circuit / I. N. Fomin, R. P. Belikov, T. A. Kudinova, N. K. Miftakhova // E3S Web of Conferences, Saint-Petersburg, October, 29-30, 2020. – Saint-Petersburg, 2020. – P. 01011. – DOI 10.1051/e3sconf/202022001011.

5. **Gracheva E.I.** Forecasting reliability electrotechnical complexes of in-plant electric power supply taking into account low-voltage electrical apparatuses / Gracheva E.I., Fedorov O.V. // В сборнике: 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019 2019. С. 8743057.

Ключевые слова: дистанционный контроль, электроснабжение, короткое замыкание, выключатель.

Сведения об авторах

Фомин Игорь Николаевич - преподаватель кафедры электроснабжения ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

e-mail: igor.fom-in@yandex.ru

Адрес: г. Орел, ул. Генерала Родина, 69.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ РАБОТЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ, ОБРАБАТЫВАЮЩЕЙ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

К.А. Кретинин, В.И Зацепина

Внедрение программ на основе нейронных сетей в жизнь человека происходит повсеместно, что значительно упрощает жизнь современного человека, ведь данный инструмент применяется в самых разных сферах деятельности начиная от медицины и бизнеса и вплоть до робототехники и авионики.

Для создания программы на базе нейронных сетей для обработки результатов работы беспилотных летательных аппаратов требуется наличие обучающей базы данных.

Большой проблемой нейронных сетей является процесс обучения этой сети. Так как времени для обучения нейронных сетей требуется много, необходимо сделать так, чтобы материал для обучения способствовал минимизации ошибки.

Существующие алгоритмы компьютерного зрения позволяют производить различную предобработку изображения, для последующего использования его в процессе обучения нейронной сети. Рассмотрим, какие алгоритмы могут использоваться при решении поставленной задачи:

- размытие по Гауссу,
- медианный фильтр,
- увеличение яркости,
- увеличение четкости,
- выделение границ (оператор Кэнни, оператор Собеля).

Рассматривая результаты влияния алгоритмов компьютерного зрения [2], сделать вывод, что наилучшие результаты показывают увеличение четкости и выделение границ.

Рассмотрим подробнее операторы выделения границ на примере выделения контуров гирлянды из стеклянных подвесных изоляторов опоры ЛЭП. Применение операторов Кенни и Собеля представлено на рисунках 1-3.

Применение метода Кенни показывает лучший результат выделения контура, при условии корректировки уровней шума, то есть для получения хорошего результата требуется проводить изменения значения уровней шума, в то время как метод Собеля более прост и не требует дополнительных настроек, следовательно, оператор Собеля лучше подходит под решение поставленной задачи.

Рассматривая проблему точности обучения нейронной сети, мы приходим к выводу, что не все алгоритмы компьютерного зрения способствуют улучшению результата. Для решения нашей задачи лучше всего подходит использование оператора выделения границ Собеля, так как его алгоритм прост и не требует корректировок коэффициентов.



Рис. 1. Исходное изображение опоры линии электропередачи

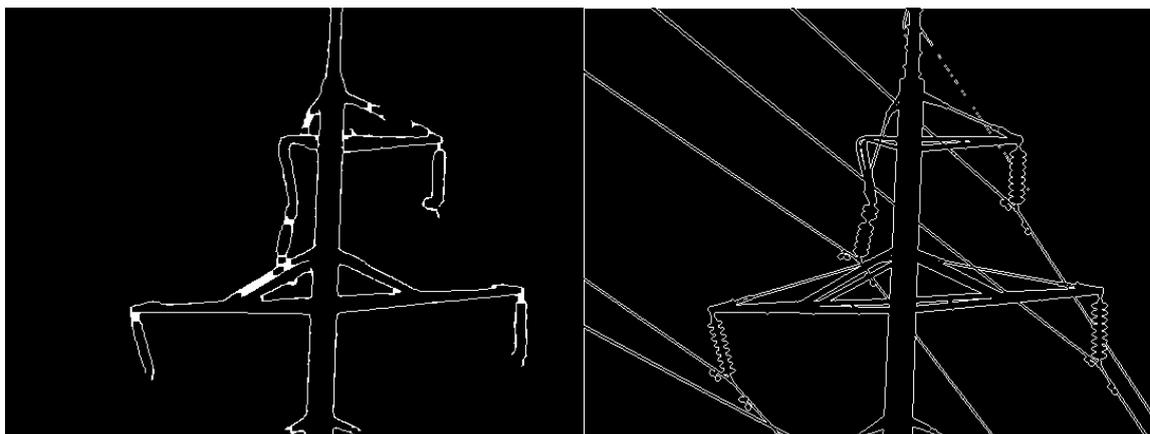


Рис. 2. Результаты применения операторов выделения границ, слева оператор Кенни, справа оператор Собеля

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лагунов Н. А., Мезенцева О. С. Влияние предобработки изображений на качество обучения нейронной сети для их распознавания //Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2015. – №. 1. – С. 51-58.
2. Новосельцев В. А., Тушев А. Н. Исследование влияния предварительной обработки изображений на скорость обучения и качество распознавания нейронной сети //Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем. – 2018. – С. 175-182.

Ключевые слова: электрические сети, воздушные линии электропередачи, машинное зрение, нейронные сети, БПЛА

Сведения об авторах

Кретинин Кирилл Андреевич – магистрант кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета, Ведущий специалист отдела устойчивости и противоаварийной автоматики службы электрических режимов филиала АО «СО ЕЭС» Липецкое РДУ

Зацепина Виолетта Иосифовна - профессор кафедры электрооборудования, доктор технических наук, Липецкого государственного технического университета

e-mail: kretinin.ka@gmail.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д.30.

УДК 621.3

ПРИНЦИПЫ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНО-ВЕНТИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНОЙ

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

В.М. Степанов, Н.А. Свистунов, Д.А. Карпунин

Рассмотрены основные принципы организации цифрового управления реактивно-вентильной электрической машиной. Показана целесообразность использования алгоритмов P, PI и PID регулирования, обеспечивающих эффективное быстроедействие системы цифрового управления.

Введение

Самая первая реактивно-вентильная электрическая машина была сконструирована ещё в середине XIX века, но не имела широкого практического применения из-за её потребности в мощных силовых транзисторах с малым временем переключения. В связи с этим активное использование данного типа электромашин началось лишь в конце XX века благодаря появлению транзисторов IGBT и MOSFET, а также развитию недорогих микроконтроллеров. Толчок для бурного развития реактивно-вентильных электрических электродвигателей и генераторов послужили исследования П. Лоуренсона.

Главными преимуществами реактивно-вентильных электрических машин являются простота конструкции по сравнению с синхронными и асинхронными электромашинами, меньшая материалоемкость, а также более высокая технологичность. Соответственно из этого следует её высокие показатели экономичности, надёжности работы и устойчивости к внешней среде. Достоинством также является баланс показателей эффективности электромеханического преобразователя и электронной управляющей части

Теория вопроса

Конструкция реактивно-вентильный двигатель/генератор включает в себя следующие основные элементы: микропроцессорный контроллер (блок управления), электронный коммутатор, электромеханический преобразователь (ЭМП). Электромеханический преобразователь осуществляет преобразование электрической энергии в механическую или наоборот механической в электрическую. Микроконтроллер в свою очередь на основе данных, поступающих с датчика положения ротора, формирует управляющие сигналы электронного коммутатора, генерирующего импульсное напряжение питания электромеханического преобразователя.



Рис. 1. Структурная схема управления реактивно-вентильным электродвигателем/генератором

Микропроцессорный блок управления реактивно-вентильного электродвигателя/генератора создаётся на основе микроконтроллеров нового поколения, имеющих производительность до 40 млн. операций в секунду. Таким образом, повышается надёжность и расширяется функциональность системы.



Рис. 2. Блок электроники для реактивно-вентильных электродвигателей / генераторов мощностью до 8 кВт

Цифровая система управления на базе микроконтроллеров реализует следующие функции: регулирование оборотов реактивно-вентильного электродвигателя / генератора в широких пределах и стабилизацию их на заданном уровне; реверсирование; рекуперацию энергии при торможении; питание от сетей постоянного и переменного (однофазного и 3 фазного) напряжения; для генератора — стабилизацию и формирование выходного напряжения; выдачу на дисплей текущих параметров электродвигателя / генератора и любой информации, поступающей с периферийных датчиков; дистанционное изменение параметров электропривода / генератора и алгоритма его работы и др.

Рассмотрим производительность системы цифрового управления скоростью реактивно-вентильного электродвигателя / генератора на основе алгоритмов P, PI и PID регулирования. В качестве прототипа берётся классический преобразователь на основе MOSFET для питания 6/4-полюсного двигателя. Цифровое управление реализовано на базе процессора цифровых сигналов TMS320F2812.

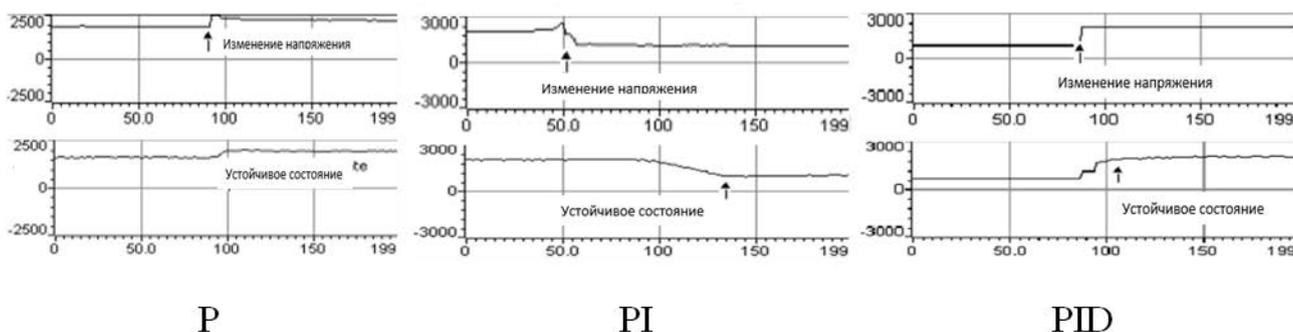


Рис. 3. Результаты использования P, PI и PID регулирования

На рис. 3 показаны экспериментальные результаты измерения эталонной скорости и фактической скорости в режимах P, PI и PID регулирования во время установившегося режима/переходного режима работы в режиме плавного прерывания. Во всех случаях угол выдержки сохраняется постоянным и составляет 30 градусов. В режиме регулирования P результаты показали, что установившаяся ошибка всегда присутствует при отсутствии нагрузки. В режиме PI регулирования результаты показали, что установившаяся ошибка становится равной нулю через 0,75 с без нагрузки. В режиме PID регулирования результаты показали, что установившаяся ошибка становится равной нулю через 0,4 с без нагрузки. На основе полученных результатов становится понятно, что PI регулирование больше подходит для цифровых систем управления, где требуется очень высокая точность контроля скорости, а PID регулирование подходит для систем, требующих быстрого достижения установившегося режима. Кроме того, из экспериментальных результатов обнаружено, что в режиме PI регулирования эффект вибрации отсутствует, а в режиме PID регулирования эффект вибрации незначителен.

Заключение

Для повышения эффективности цифрового управления реактивно-вентильной электрической машиной целесообразно использовать алгоритмы P, PI и PID регулирования, что обеспечивает его быстрое действие. Пропорциональный режим управления дает быструю переходную реакцию с обратной связью на ступенчатые изменения задания скорости и быстрое подавление возмущений скорости. Интегральный режим управления гарантирует, что окончательная скорость реактивно-вентильного электродвигателя/генератора будет соответствовать заданной скорости. Наконец, режим управления по производной уменьшает переходные выбросы и колебания скорости при изменении задания с одного значения на другое.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов В. А. Вентильно–индукторные двигатели / В. А. Кузнецов., В. А. Кузьмичев. – М. : МЭИ, 2003. 70 с. - Текст: непосредственный.

2. **Емельянов А. А., Бесклеткин В. В., Авдеев А. С.** Математическое моделирование электропривода на базе вентильного реактивного двигателя в пакете SimPowerSystems / Молодой ученый. — 2016. — № 15 (119). — С. 15-21. — Текст: непосредственный.

3. **Paramasivam S., Arumugam R., Balamurugan S.** Implementation of digital controller for a 6/4 pole switched reluctance motor drive / Conference: TENCON 2004 - 2004 IEEE Region 10 Conference Volume: C - DOI: 10.1109/TENCON.2004.1414808 (last viewed 06.12.2022). – Text : electronic.

4. **Королев В. И.** Вентильно-индукторный генератор / E-Scio. – 2019. - №8 – С. 38-46 — Текст: непосредственный.

5. **Саввинов П.В., Семёнов А.С.** Обзор вентильно-реактивных двигателей / Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8 (часть 2) – С. 342-344 — Текст: непосредственный.

Ключевые слова: реактивно-вентильный электродвигатель/генератор, цифровое управление, микроконтроллер.

Сведения об авторах

Степанов Владимир Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика» Тульского государственного университета.

Свистунов Николай Андреевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» Тульского государственного университета.

Карпунин Дмитрий Александрович – выпускник аспирантуры кафедры «Электроэнергетика» Тульского государственного университета.

e-mail: energy@tsu.tula.ru

Адрес: г. Тула, проспект Ленина, д. 92

УДК 621.3

ИННОВАЦИИ В РАЗВИТИИ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Зацепина В.И., Астанин С.С.

В данной статье проводится анализ последних инновационных разработок в области цифровизации электроснабжения, в частности для развития цифровых подстанций нового поколения. Определены наиболее эффективные технологии при сборе и анализе информации, а также предложены оптимальные технические решения при проектировании цифровой подстанции, включающий элементы наиболее эффективных инновационных разработок последних лет. Представлен анализ необходимости развития кибербезопасности в области программного обеспечения цифровых подстанций с целью снижения влияния вредоносного

программного обеспечения на функциональные возможности вычислительного оборудования. Приведены результаты сравнения показателей различных технологий построения цифровой подстанции применимо к проводимым обновлениям существующих систем и проектируемым проектом для реализации в дальнейшем. Сделаны выводы относительно оптимального решения при построении цифровой подстанции и перспективах дальнейших разработок.

Введение

В современных условиях развитие энергетической отрасли на фоне обострения энергетического кризиса и необходимости поддержания энергетической безопасности исследования цифровых подстанций актуальны. Здесь необходимо отметить новый вид негативного воздействия на системы электроснабжения который снижает её эффективности. Согласно отчету, Kaspersky ICS-CERT «Ландшафт угроз для систем промышленной автоматизации» [1] за первую половину 2019 года 41,6 % компьютеров АСУ в энергетике были затронуты вредоносным ПО. По собранным данным вредоносные программы, не имеющие основной целью поражение автоматизированных систем управления, также наносят вред функционированию систем замедляя их работу, что может быть критически важным фактором при возникновении аварийных ситуаций, вызванных погодными условиями или другими факторами. Чтобы обеспечить наиболее высокий уровень безопасности на электроподстанциях и в сетях, необходимо принимать активные меры защиты от киберинцидентов, специально разработанные для определенных типов и характеров атак и их целей. Для достижения подобных результатов может потребоваться понимание процессов, возникающих при воздействии на систему извне. Поэтому инновации в сфере кибербезопасности имеют одно из приоритетных направлений [1].

Теория вопроса

В настоящее время разрабатываются и внедряются современные автоматизированные системы обмена информацией и программные средства систем управления. Развитие современных информационных технологий решает задачи автоматизации и управления энергообъектами, в том числе и тяговыми подстанциями железнодорожного транспорта, переводя их на новый уровень. Это обеспечивает автоматизированный сбор информации для мониторинга.

Одними из перспективных инновационных решений является применение синхронизированных векторных измерений при сборе информации о состоянии оборудования подстанции [2]. Их применение в системе при достаточных вычислительных мощностях позволят в режиме реального времени вычислить параметры режима работы сети, что в значительной степени повысит чувствительность релейной защиты без потери селективности. Вместе с предложением по применению синхронно векторных измерений рассмотрен вариант создания цифровой матрицы для применения расчётов токов короткого

замыкания без постоянного обновления на примере тяговых подстанций [3-5]. В таком случае чувствительность релейной защиты не будет достигать варианта, рассмотренного ранее, несмотря на это у данного подхода по определению состояний есть свои преимущества. Основным выступает снижение требований к передаче и обработке информации засчёт меньшей точности. Данное снижение вызвано отсутствием необходимости съёма больших объёмов данных для расчётов и хранением основного объёма данных о состояниях системы в база данных изменение в которой производится лишь при существенных отклонениях от планируемых значений на измерительном оборудовании

При применении любого подхода используя для сбора данных различные устройства диагностики состояний в общем случае всегда итоговым решением для передачи информации служит информационная шина, объединяющая сигналы одного уровня в общую информационную систему, представляемую различными конфигурациями замкнутых систем обмена данных. При этом наиболее простым решением между уровнями информационного обмена является размещение узлов обработки информации, представленных различными серверами. Необходимо отметить расширение в области инновационных устройства сбора информации: выносные УСО, цифровые измерительные трансформаторы и другие.

Заключение

Подводя итоги в информационных инновациях цифровых подстанций, можно сделать вывод о необходимости дальнейшего развития как средств передачи информации, так и информационной защиты. Не меньшей важностью обладает и потребность в совершенствовании структуры информационного взаимодействия оборудования для снижения задержек информационного обмена которые на текущий момент существенны при больших протяжённостях систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Генин, В.С.** Внедрение микропроцессорных терминалов БМРЗ на подстанциях НГДП ОАО «Татнефть» / Генин В.С., Гондуров С.А., Евсеев А.Н. // Новое в российской электроэнергетике. – 2011. – № 3. – С. 39-44.
2. **Мокеев, А.В.** Повышение эффективности и надежности РЗА цифровых подстанций и цифровых РЭС / Мокеев А.В., Пискунов С.А., Ульянов Д.Н., Хромцов Е.И. // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 3 (47). – С. 92-100.
3. **Владимиров, Ю.Ф.** О Прогнозировании поведения трехступенчатых максимальных токовых защит цифрового блока типа БМРЗ-100 с применением физической модели электрической сети / Владимиров Ю.Ф. // Актуальные проблемы военно-научных исследований. – 2019. – № 2 (2). – С. 98-105.
4. **Мысов, А.Д.** Автоматизированная система расчётов токов короткого замыкания для цифровой подстанции / Мысов А.Д., Добрынин Е.В. // Наука и образование транспорту. – 2021. – № 2. – С. 56-59.

5. **Петухов, А.В.** Механизмы обнаружения и защиты от кибератак цифровых подстанций на базе технологий МОХА и АО «лаборатория Касперского» / Петухов А.В., Лопухов И.В. // Релейщик. – 2020. – № 1 (36). – С. 57-59.

Ключевые слова: цифровая подстанция, синхронизированные векторные измерения, цифровая матрица

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна - доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Астанин Сергей Сергеевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: astanin.1994@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д. 30

УДК 621.3

ЦИФРОВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ ЛГТУ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Зацепина В.И., Астанин С.С.

В данной статье проводится анализ необходимости расширения лабораторной базы по изучению цифровых подстанций. Представлены основные методы реализации цифровых лабораторий и существующие решения подходов в образовании кадров, специализированных на работе с современными системами энергообеспечения производств. Представлен анализ необходимости снижения кадровой нехватки специалистов в сфере кибербезопасности цифровых подстанций. Представлен новый подход в реализации образовательного процесса на базе новой модели лабораторного комплекса цифровой подстанции, а также отражена роль преподавателя и студента. Отражена модель работы лабораторного комплекса на основе реализованной системы, позволяющей заменить оборудование имитационными элементами без потери в эффективности работы. Сделаны выводы относительно оптимального решения при построении цифровой подстанции в условиях ограничений учебного.

Введение

Для создания интеллектуальной цифровой лаборатории релейной защиты и автоматики на базе вуза проведено сравнение характеристик

микропроцессорных блоков. Проанализированы функциональные возможности каждого отдельного блока, а также их взаимосвязанная работа. Приведены аргументы в пользу внедрения цифровой лаборатории в учебный процесс ввиду необходимости повышения уровня обучающихся. Представлена необходимая структурная схема, наглядно отображающая модель цифровой лаборатории интеллектуальной релейной защиты и автоматики с элементами цифровой подстанции [1].

Теория вопроса

На этапе разработки лаборатории было проведено исследование по сравнению характеристик оборудования и возможности электронной связи информационных баз данных на их основе. Среди рассмотренного оборудования выделены основные виды Российских производителей, представляющие продукцию, обладающую достаточными показателями эффективности и быстродействия, позволяющие создать в дальнейшем полноценный лабораторный комплекс. При этом были рассмотрены образцы иностранных производителей как возможные при реализации программы замещения импортного оборудования. На базе рассмотренного оборудования вынесены предложения по составу и принципу взаимодействия будущей лаборатории где в качестве основы взята связь через сервер для непосредственного участия обучаемого в процессе ликвидации аварийной ситуации [2-5].

Для выполнения функций РЗА в сетях 0,4 кВ предусмотрен комплект оборудования в составе:

-БМРЗ-0,4 ВВ – защита рабочего ввода.

-БМРЗ-0,4АВ – защита аварийного (резервного) ввода.

-БМПА-0,4 – автоматизация ввода резервного источника и восстановления схемы нормального режима электроснабжения.

Лаборатория релейной защиты и автоматики предназначена для практического изучения реле и схем защиты, получения навыков самостоятельного проведения основных типов испытаний релейной аппаратуры, знакомство с методикой расчета и настройки отдельных реле и схем защиты в целом. Также применение новых способов кооперации оборудования позволяет ознакомиться с концепцией цифровая подстанция на практике.

Обобщённая схема взаимодействия лабораторного оборудования представлена на рисунке 1.

Здесь отражено взаимодействие устройств внутри виртуальной среды компьютера, выступающего сервером. Система содержит: релейную защиту; виртуальную шину подстанции; цифровое комплектное распределительное устройство; интеллектуальное измерительное устройство; интеллектуальный выключатель; низкоуровневую шину процесса; цифровые комбинированные датчики. Вся система объединена через виртуальную среду персонального компьютера выступающего в роли сервера. Часть элементов системы, не имеющая материально технической базы заменена виртуальными элементами.

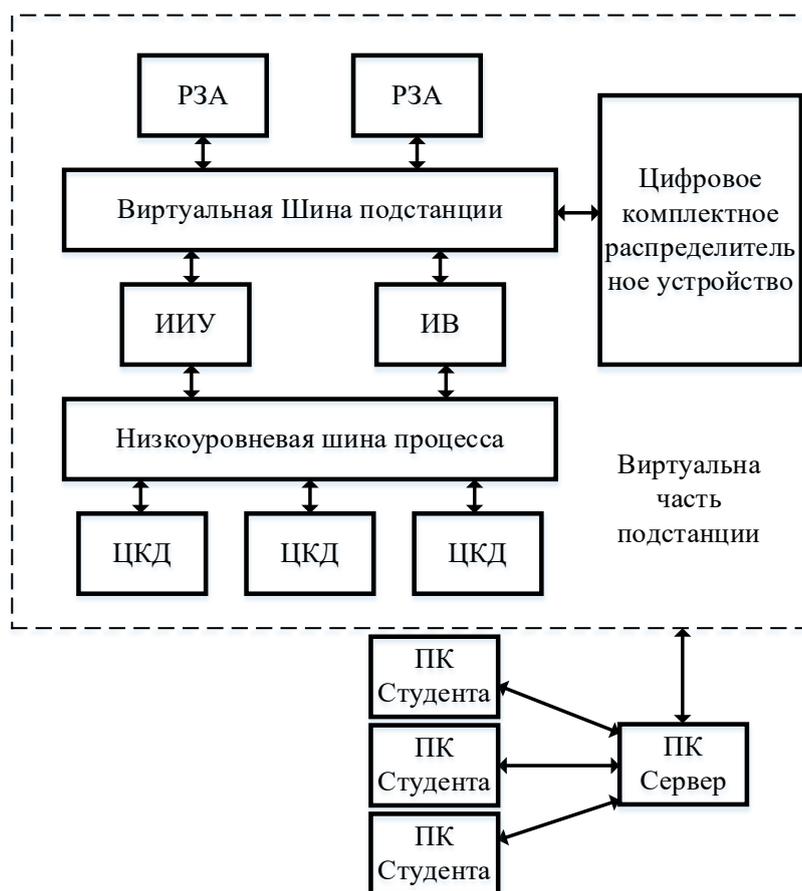


Рис. 1. Схематическое взаимодействие лаборатории и обучаемого персонала

Взаимодействие между оборудованием и оператором в условиях цифровизации подстанций сводится в большей степени к программному взаимодействию нежели механическому. Однако результаты, выраженные только одними данными, приводят к затруднениям в образовательном процессе, что недопустимо при сокращении выделяемого на дисциплины времени и ежегодном расширении перечня осваиваемых дисциплин. Ввиду необходимости всестороннего понимания процессов, протекающих в системах электроснабжения, созданный лабораторный комплекс совмещает в себе виртуальную среду взаимодействия с оборудованием и реальную аппаратную базу, отражающую основные переключения в системе на физических установках. Данный подход к исследованию процесса позволяет снизить процент ошибок при моделировании системных данных и определении отклика управляющего оборудования.

Лабораторная среда включает в себя три основных уровня взаимодействия: сервер, присоединения промышленных терминалов защит и автоматики, многофункциональные контроллеры и виртуальные на базе ПК. Исходные данные для проведения опытов разработаны в установленном количестве для виртуальных единиц оборудования и подключенных реальных элементов. Взаимодействие системы с оператором позволяет модели реагировать на внесённые изменения и дополнять их данными при передаче информации с реальных установок.

Заключение

Решение относительно виртуального взаимодействия студентов с реальными установками позволяет получить опыт работы с действующей системой и снизить вероятность ошибочного управления подготавливаемых кадров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Зацепина В.И., Кудрявцев А.Е.** Автоматизированный интеллектуальный лабораторный комплекс релейной защиты / Вести высших учебных заведений Черного моря, Липецк, – 2022. – № 2 (68). – С. 67-74.
2. **Тугов, Н.Ю.** Развитие лаборатории «цифровая тяговая подстанция» / Тугов Н.Ю., Тряпкин Е.Ю. // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2020. – Т. 2. – С. 25-29.
3. **Войнов, А.С.** Методика автоматической генерации систем функциональных блоков, реализующих человеко-машинный интерфейс для автоматизации цифровых подстанций МЭК 61850 / Войнов А.С., Дубинин В.Н., Вяткин В.В., Янг Ч.В. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 1 (45). – С. 76-91.
4. **Янин, М.А.** Опыт, полученный при реализации проектов по построению цифровых подстанций с применением оптических трансформаторов / Янин М.А. // Релейщик. – 2020. – № 3 (38). – С. 36-45.
5. **Морозов, А.Н.** Разработка и опытная эксплуатация полностью оптического трёхфазного трансформатора напряжения 220 кВ с цифровым выходом / Морозов А.Н., Степанов А.А., Малахов С.В., Иванов В.В. // Электрические станции. – 2020. – № 2 (1063). – С. 28-36.

Ключевые слова: цифровая подстанция, лабораторный комплекс, цифровые технологии в энергетике.

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна - доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Астанин Сергей Сергеевич - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: astanin.1994@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д. 30

УДК 621.3

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

М.А. Каменская, А.А., Уютнов, С.В. Артемова

Введение

Ежедневный контроль объёма и качества поставляемых ресурсов возможен только при использовании цифровой информационно - измерительной системы коммерческого учёта электроэнергии (ЦИИС КУЭ). Цифровая система контроля и учёта энергоресурсов позволяет оперировать полным объёмом информации относительно получаемой и потребляемой электроэнергии на рассматриваемом объекте промышленного или бытового значения и в каждой исследуемой точке электросети топливно-энергетического комплекса.

Теория вопроса

Развитие полупроводниковой электроники, создание полупроводниковых приборов большой мощности, отличающихся полной управляемостью и быстродействием, повсеместное использование интегральных схем позволило внедрить цифровизацию в электросетевой и топливно-энергетический комплекс. Одним из главных направлений совершенствования методов измерений в производстве или бытовом секторе – это переход к цифровому контролю параметров, к применению интеллектуальных информационно-измерительных систем (ИИС).

Методика проведения исследований

С развитием и увеличением набора требуемых функций информационно-измерительных систем появился запрос на повышение точности снимаемых показаний, необходимых в ходе работы этих систем. Метрологической надёжностью называется способность системы измерения сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение заданного времени при определённых режимах и условиях эксплуатации. Прогнозирование метрологической надёжности ИИС является важным условием их развития, для этого применяются методы по математическому моделированию и анализу вероятностей. В современных информационно-измерительных системах существует необходимость в цифровизации процессов обработки и преобразования информации. Рассмотрим ИИС на примере цифровых энергосистем коммерческого учёта электроэнергии. Рассмотрим применение информационно-измерительных систем в цифровых системах коммерческого контроля и учёта электроэнергии в целях оптимизации затрат.

Описание цифровой информационно-измерительной системы

ЦИИС КУЭ включает в себя набор измерительных каналов, а также вспомогательных устройств, объединенных в сеть. Измерительные каналы ЦИИС КУЭ образуются техническими средствами информационно-измерительных комплексов точек измерений, таких как трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, интеллектуальные счетчики электроэнергии и информационно-вычислительных комплексов электроустановок, также устройствами сбора и передачи данных. Кроме того, в состав ЦИИС КУЭ входят информационно-вычислительный комплекс и система обеспечения единого времени.

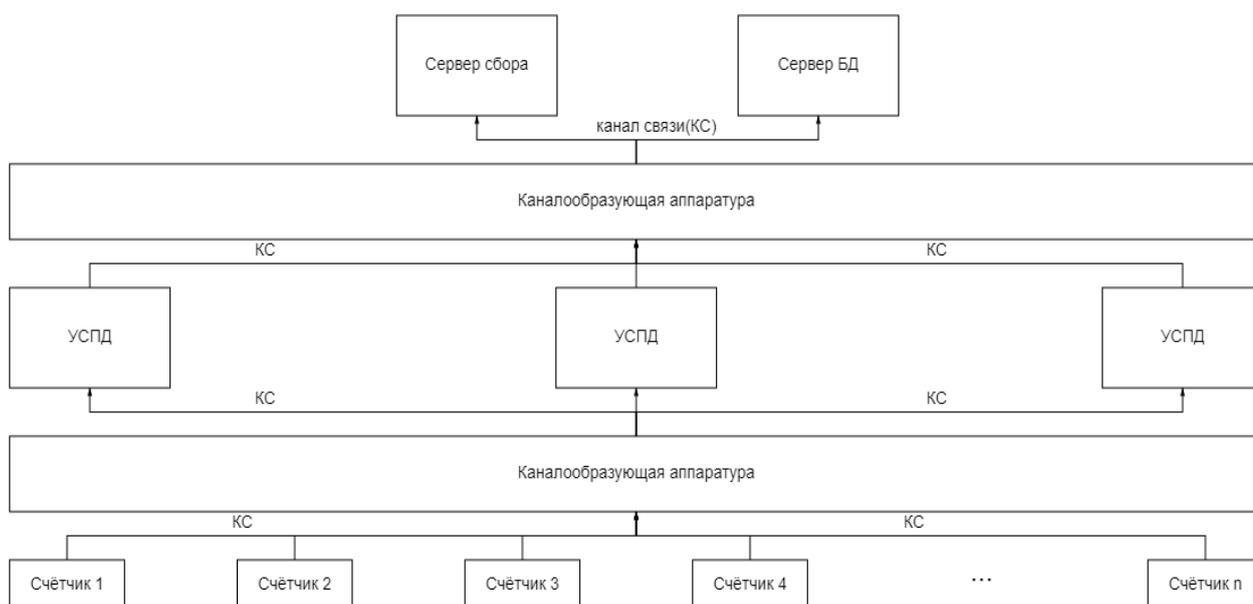


Рис. 1. Структурная схема цифровой системы контроля и учета электроэнергии

Структурная схема ЦИИС КУЭ (рисунок 1) состоит из трёх уровней: информационно-вычислительного комплекса, информационно-вычислительного комплекса электроустановки, включающего в себя устройства сбора и передачи данных и измерительно-информационного комплекса точек измерений интеллектуальных счётчиков электроэнергии.

Устройство сбора и передачи данных (УСПД) периодически опрашивает счётчики, собирают информацию и через каналы связи (КС) передают данные на сервер баз данных (БД) обеспечивают доступ к информации серверу сбора.

Таким образом ЦИИС КУЭ позволяют следить за энергопотреблением объекта для осуществления денежного расчёта, а также контролировать это потребление, точно оптимизировать его, сокращая за счёт этого затраты.

Заключение

Прогнозирование метрологической надёжности ЦИИС КУЭ ведёт к более экономически эффективной работе, так как увеличивает распределение затрат на метрологическое обслуживание и теоретически обоснованного выбора сроков проверок измерительных средств исследуемой системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **R. Y. Kurnosov, T. I. Chernyshova, N. V. Chernyshov and M. A. Kamenskaya**, "Metrological Analysis of Analog-To-Digital Conversion Measurement Procedure in Information-Measuring and Control Systems," 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), 2020, pp. 61-64, doi: 10.1109/SUMMA50634.2020.9280766.

2 **R. Y. Kurnosov, T. I. Chernyshova and V. N. Chernyshov**, "Methodology for Assessing Metrological Reliability Analog-to-digital Converter in the Structure Information and Measurement Systems," 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), 2021, pp. 90-93, doi: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632242.

Ключевые слова: цифровая информационно - измерительная система коммерческого учёта электроэнергии, поверка, метрологическое обеспечение, топливно-энергетический комплекс.

Сведения об авторах Каменская Мария Анатольевна – доцент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

Уютнов Алексей Андреевич – студент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

Артемова Светлана Валерьевна – профессор кафедры «Информатика» МИРЭА-Российский технологический университет.

e-mail: art_mari@bk.ru

Адрес: г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112 корпус Е.

УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

К. А. Кретинин, В. И Зацепина

Существующие методы диагностики воздушных линий электропередачи (ВЛ) с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) имеют некоторые проблемы, одна из которых несовершенство программно-аппаратного комплекса [1], а именно та часть комплекса, которая отвечает за обработку полученных результатов при съёмке ВЛ.

Для программной реализации проекта наиболее благоприятно подходит алгоритм свёрточных нейронных сетей, так как, данный вид нейронных сетей применяется для обработки признаков графических изображений [2], что идеально подходит под решение поставленной задачи, а именно разработка программы на базе нейронной сети, позволяющей определить дефекты ВЛ.

Рассматривая такую задачу, как обработка информации о состоянии ВЛ, использование нейросетевого подхода в совокупности с машинным зрением позволяет обрабатывать большое количество различных факторов состояния линий электропередачи (ЛЭП), такие как уклон опоры ЛЭП, наличие птичьих гнёзд на ЛЭП, коррозию металла составных частей опоры ВЛ, целостность и наличие изолятора ВЛ и другие дефекты ВЛ, то есть по принципу каскада, нейронная сеть может распознавать наличие опоры на фотографии, что будет служить отправной точкой для дальнейшей обработки изображения, вид опоры, для определения последующих признаков конкретной модели, далее, нейросеть обрабатывает вторичные признаки, такие как:

- наличие и состояние изоляторов
- разрыв провода ЛЭП
- техническое состояние самой опоры (состояние траверс)

Основные достоинства свёрточных нейронных сетей:

– Использование ядер свёртки даёт, в сравнении с полносвязанной нейросетью, меньшее количество настраиваемых весовых коэффициентов, что приводит к уменьшению времени и вычислительных ресурсов на обучение сети [3, 4].

– Использование ядер свёртки также помогает избежать попиксельного запоминания, подталкивая сеть к обобщению демонстрируемой информации [3]. Локальное восприятие позволяет сохранить топологию изображения от слоя к слою при значительном сокращении вычислений. Благодаря сканированию

целой области, а не отдельных точек, подход позволяет учесть свойства изображения, что увеличивает качество распознавания [4].

Основные недостатки сверточных нейронных сетей:

– Продолжительное время обучения (несколько дней и более) для нейронной сети с числом слоёв свёртки свыше двух [5]. Классификатор рукописных символов обучался более 64 часов [6].

– Необходимость в большом количестве примеров для обучения. Реализация классификатора рукописных символов использовала базу MNIST, которая содержит более 60 тысяч учебных образов с цифрами от 0 до 9 различного начертания [6].

– Пригодна, по большей части, только для распознавания изображений [3].

– Слишком много варьируемых параметров сети: количество слоёв, размер ядра свёртки для каждого из слоёв, количество ядер для каждого из слоёв, шаг сдвига, необходимость использования слоёв подвыборки, степень уменьшения ими размерности, функция по уменьшению размерности (выбор максимума, среднего и т.п.), передаточная функция нейронов, наличие и параметры выходной полносвязанной нейросети на выходе свёрточной. Эти параметры существенно влияют на результат, но выбираются исследователями эмпирически для каждой новой задачи [3].

Рассматривая все преимущества и недостатки, можно сделать вывод, что данное решение идеально закрывает все необходимые потребности в обработке изображения, то есть мы можем выполнять мониторинг всех необходимых данных по состоянию ЛЭП, однако у такого решения есть недостатки, которые пересекаются с общими недостатками сверточных нейронных сетей, а именно:

– огромное время обучения в условиях недоступности вычислительных мощностей. Беря в пример классификатор рукописных символов, программа будет обладать гораздо большим объемом обрабатываемой информации, чтократно увеличит и без того немалое время обучения;

– для обучения необходим большая выборка фотографий хорошего качества, на которых будет строиться модель для обучения;

Так же стоит отметить трудности реализации программы связанные со спецификой применения, для анализа состояния ЛЭП:

- сложности обработки фотографий из-за перекрестного расположения опор на фото;

- нейронная сеть может работать над определённые дефекты, уклон опоры, разрыв провода ЛЭП, целостность изолятора, состояние траверс, следовательно, для каждого дефекта требуется своя обучающая выборка.

Создание и применение программы на базе нейронной сети для обработки фотографий дефектов позволит автоматизировать процесс поиска неисправностей ЛЭП, а также сократить время и ресурсы, затрачиваемые на это.

Для создания прототипа программы был выбран дефект, связанный с целостностью изолятора ВЛ, отсюда возникает следующий вопрос к рассмотрению, как упростить обучение нейронной сети используя вспомогательные операторы машинного зрения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кретинин К.А., Зацепина В.И.** ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ //ББК 31.3 Ц75 Председатель конференции–ТИ Чернышова Редакционная коллегия: ТИ Чернышова–ответственный редактор. – С. 149.
2. **Сикорский О.С.** Обзор свёрточных нейронных сетей для задачи классификации изображений //Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2017. – №. 20. – С. 37-42.
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Свёрточная_нейронная_сеть (Дата обращения: 10.11.2022).
4. **Федоренко, Ю.С.** Технология распознавания образов с использованием свёрточной нейронной сети [Электронный ресурс] / Ю.С. Федоренко // Инженерный Вестник, ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н.Э. Баумана». - 2013. - Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/file/out/641033>, свободный. - Загл. с экрана.
5. **Нагаев, К.П.** Применение свёрточных нейронных сетей для сегментации биомедицинских диагностических изображений / К.П. Нагаев // Труды Международной научно-технической конференции. - 2015. - Т. 1. - С. 344-348.
6. **Борисов, Е.С.** Классификатор изображений на основе свёрточной сети [Электронный ресурс] / Е.С. Борисов. - 2015. - Режим доступа: <http://mechanoid.kiev.ua/ml-lenet.html#Xfukus>, свободный. - Загл. с экрана.

Ключевые слова: электрические сети, воздушные линии электропередачи, машинное зрение, нейронные сети, БПЛА

Сведения об авторах

Кретинин Кирилл Андреевич – магистрант кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета, Ведущий специалист отдела устойчивости и противоаварийной автоматики службы электрических режимов филиала АО «СО ЕЭС» Липецкое РДУ

Научный руководитель:

Зацепина Виолетта Иосифовна - профессор кафедры электрооборудования, доктор технических наук, Липецкого государственного технического университета

e-mail: kretinin.ka@gmail.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д.30.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ И КОЛЕБАНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ НА РАБОТУ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»

А.А. Чернышова

В работе дана краткая характеристика влияния несинусоидальности и колебаний напряжений на работу потребителей, представлены основные последствия их влияния.

Несинусоидальность, напряжения в электроэнергетических сетях и токи высших гармоник оказывают отрицательное воздействие на очень широкий ряд приемников и устройств. Неблагоприятное воздействие высших гармонических (ВГ) можно рассматривать в двух аспектах (такое разделение в некоторых случаях может оказаться неоднозначным):

- немедленное воздействие, связанное практически только с величиной несинусоидальности, а не со временем, в течение которого приемник или устройство подвергается воздействию несинусоидального напряжения (тока),
- продолжительное воздействие, связанное как с величиной несинусоидальности, так и со временем, в течение которого приемник или устройство подвергается воздействию несинусоидального напряжения (тока).

Последствия воздействия могут проявляться в следующих формах:

- приемник (устройство) работает ненормально, однако, после исчезновения причин, сам возвращается к нормальной работе,
- приемник (устройство) работает ненормально, а возвращение к нормальной работе требует вмешательства обслуживающего персонала,
- приемник (устройство) повреждается.

В рамках первого типа воздействия можно привести целый ряд примеров, а среди них - помехи в работе:

- систем управления и регулировки, реагирующих на максимальное значение напряжения или на момент перехода напряжения через 0,
- аппаратуры связи,
- некоторых защит,
- батареи конденсаторов (в этом случае речь идет об автоматическом выключении батареи посредством защиты от перегрузки, реагирующей на возрастание тока нагрузки, появляющейся даже при кратковременном значительном увеличении несинусоидальности напряжения).

Порог несинусоидальности напряжения (тока), при котором проявляются последствия воздействий этой категории, зависит от приемника (устройства) и обычно находится в пределах 5÷10% и более.

При продолжительном воздействии возникают дополнительные потери мощности в токовых цепях, в магнитных цепях и в изоляции. Вследствие этого возрастает температура, что ведет к сокращению долговечности изоляции кабелей, трансформаторов, электрических машин. Также имеет место и ускорение ионизирующих процессов в твердых диэлектриках под влиянием полей ВГ и увеличение максимума огибающей кривой напряжения, и в результате - связанное с этим дополнительное сокращение долговечности изоляции. По мнению некоторых авторов, существенное ускорение ионизирующих процессов проявляется только при значительных (порядка более 10%) несинусоидальностях напряжения, вызванных ВГ низких порядков. Этот вопрос до сих пор окончательно не решен. Что касается дополнительных потерь мощности, то анализ работы распределительной сети СН, питающей нелинейный приемник большой мощности, например, подстанцию электротяги железной дороги, показал, что при коэффициенте несинусоидальности напряжения $K_{нс}=5\%$ потери могут достигать значения: в трансформаторе 110 кВ/СН - 5% его номинальных нагрузочных потерь, в трансформаторах СН/НН, и также приемниках НН коммунально-бытовых потребителей вместе - 15% нагрузочных потерь трансформатора. При коэффициенте несинусоидальности $K_{нс} = 10\%$ потери возрастают соответственно до 20% и 60%.

Среди отрицательных последствий колебаний напряжения в электроэнергетических сетях на первое место следует поставить изменения светового потока электрических источников света, называемых обычно миганием освещения, действующим очень неблагоприятно на организм человека.

Зависимость светового потока источника света от питающего напряжения U имеет вид:

$$\Phi = \Phi_{\text{ном}} \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^\gamma \quad (1)$$

Причем показатель степени принимает следующие значения: для ламп накаливания $\gamma=3,1 \div 3,7$; для люминесцентных ламп $\gamma=1,5 \div 1,8$; для ртутных ламп $\gamma=2,5 \div 3,0$. Исходя из этой зависимости можно легко показать, что изменения светового потока $\delta\Phi$ будут прямо пропорциональны амплитудам изменений напряжения δU с коэффициентом пропорциональности γ . Отсюда вытекает, что наиболее чувствительными к колебаниям питающего напряжения являются лампы накаливания, однако инерционность лампы накаливания (тем большая, чем больше мощность лампы) в некоторой степени смягчает последствия колебаний напряжения. В случае газоразрядных ламп (люминесцентных и ртутных ламп) эта инерционность настолько мала, что практически не играет никакой роли.

Мигание освещения действует существенным образом на процесс зрения, ограничивая его способность, а при длительном воздействии вызывает усталость организма и ухудшение самочувствия. У лиц, занятия которых требуют

сосредоточения внимания и зрительного усилия наступает резкое уменьшение производительности труда; иногда мигание освещения может стать косвенной причиной несчастного случая при работе. Можно отметить, что мигание освещения затрудняет выполнение разных домашних занятий и мешает отдыху. Как видно, мигание освещения имеет очевидную, хотя и трудно измеримую экономическую сторону.

Следует отметить, что обременительность мигания освещения зависит как от амплитуд колебаний напряжения, так и от их частоты (рис. 1), а также от времени, в течение которого человек подвергается его воздействию (рис. 2).

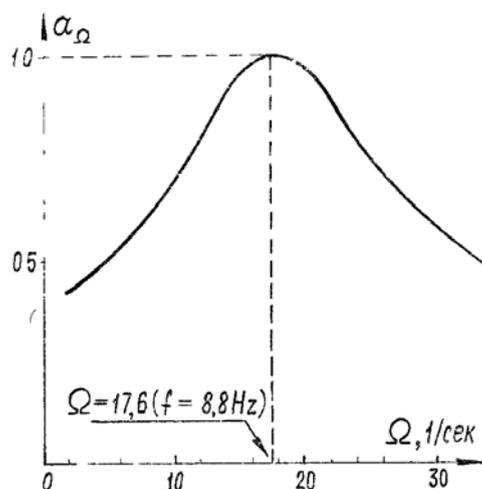


Рис. 1. Относительная чувствительность глаза человека на прямоугольные колебания напряжения с разной частотой

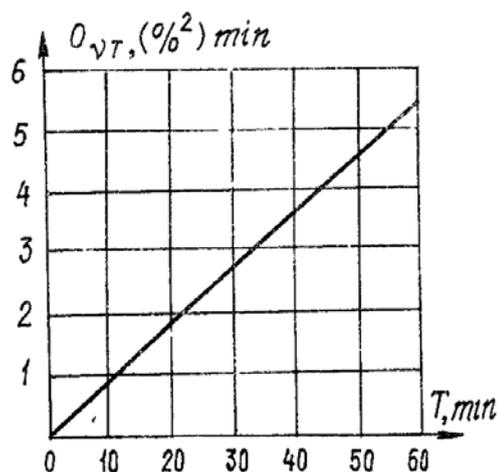


Рис. 2. Допустимая энергетическая доза колебаний напряжения в зависимости от времени колебаний T

Кроме осветительных приемников, колебания напряжения могут неблагоприятно влиять также и на работу некоторых других приемников и электроустройств. Среди технических последствий колебаний напряжения можно перечислить в частности:

- изменение вращающего момента электрических машин, которое может неблагоприятно отражаться на ходе производственных процессов, особенно там, где существенным является поддержание постоянной скорости вращения,
- увеличение продолжительности технологического процесса и понижение производительности электротермических устройств, например, дуговых печей (вытекающее из уменьшения среднего эффективного значения напряжения, подвергающегося колебаниям),
- помехи в работе электронной аппаратуры (компьютеры, рентгеновские устройства, радиостанции),
- помехи в работе систем управления и регулирования,
- дополнительные потери мощности в приемниках, а также элементах электрических сетей (линии, трансформаторы),
- помехи теле- радиовещанию.

Колебания напряжения с амплитудами, при которых не наступает еще ощутимое мигание освещения, не вызывают существенных технических последствий в работе других электроприемников, а также не вызывают значительных дополнительных потерь мощности в элементах электрических сетей [1-5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванов В.С., Соколов В.И.** Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
2. **Карташев И.И.** Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / Под ред. М.А. Калугиной. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 120 с.
3. **Клюев Р.В.** Методы и средства улучшения показателей качества электроэнергии на промышленных предприятиях цветной металлургии // Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 65-летию научно-исследовательского сектора, Владикавказ, 2004, с. 53-54.
4. **Клюев Р.В.** Анализ качества электроэнергии на предприятиях по производству свинца и цинка // Актуальные вопросы современной техники и технологии: Сборник докладов XII-й Международной научной конференции (Липецк, 26 июля 2013 г.). / Отв. ред. А.В. Горбенко. – Липецк: Издательский центр «Гравис», 2013, С. 87-90.
5. **Клюев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Гаврина Ю.В., Каджаев О.В.** Оценка качества электроэнергии на предприятии цветной металлургии на надежность работы электрооборудования // Труды СКГМИ (ГТУ). - 2018. - Вып.25. - С.19-24.

УДК 621.3

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)»

А.Д. Моргоева, Р.В. Клюев, И.Д. Моргоев

В работе представлены результаты сравнительного анализа методов среднесрочного прогнозирования потребления электроэнергии для промышленных объектов. Приведены основные достоинства и недостатки существующих методов прогнозирования и сравнение их эффективности. Сравнительный анализ моделей прогнозирования проведен на основании обобщения исследовательских работ авторов и в соответствии с имеющимся опытом применения различных методов для решения задачи прогнозирования электропотребления, описанным в литературе. Обозначены перспективные направления исследований в области среднесрочного (на месяц и более) прогнозирования электропотребления.

Данная работа представляет собой сравнительный анализ методов прогнозирования, применяемых для решения задачи среднесрочного прогнозирования электропотребления. Под среднесрочным прогнозированием в наших исследованиях понимается прогнозирование с периодом упреждения прогноза от месяца до года.

Среднесрочное прогнозирование электропотребления промышленных предприятий необходимо для обоснования технико-экономических показателей работы энергетической компании и ее тарифной политики, для составления графиков ремонтов основного оборудования, в процессе принятия управленческих решений при планировании расходов на электроэнергию. Среднесрочное прогнозирование актуально как на региональном и государственном уровнях для планирования режимов работы энергосистем, так и для отдельных предприятий и электростанций. Среднесрочное прогнозирование электропотребления осложняется изменчивостью макроэкономических условий и социального развития. Поэтому при ежемесячном прогнозировании необходимо выявлять и учитывать тенденции месячного потребления электроэнергии при использовании данных за непрерывный ряд лет. Кроме того, ежемесячные данные об электропотреблении – это сложный агрегированный показатель, на который влияют множество слабо формализуемых факторов. Следовательно, для среднесрочного прогнозирования необходим учет периодических составляющих [1].

Анализ литературных источников позволяет заметить отсутствие универсальных методов прогнозирования электропотребления, в том числе, и с горизонтом прогнозирования на месяц и более, применение которых позволило

бы гарантировано получить адекватную экспериментальным данным модель с необходимым уровнем достоверности прогноза. Поэтому задача разработки прогностических моделей является важной и актуальной для промышленных объектов, региональных диспетчерских отделений и др. объектов.

Все методы, применяемые для прогнозирования электропотребления, делят на классические и интеллектуальные. К классическим подходам относят модели скользящего среднего (ARIMA, SARIMA, ARMA), линейной регрессии и др. К интеллектуальным подходам относят модели с использованием нейронных сетей различных архитектур, классического машинного обучения (деревья решений, ансамблевые методы и мн. др.), применение аппарата рангового анализа техноценозов, применение методов сингулярного спектрального анализа и др. Как отмечают многие исследователи, наиболее современные методы, относящиеся к группе интеллектуальных подходов, являются более эффективными в задаче прогнозирования электропотребления, позволяют получить более достоверный прогноз по сравнению с классическими подходами, более устойчивы к нелинейной структуре исходных данных об электропотреблении, менее чувствительны к выбросам и пропускам в данных. При всех достоинствах этой группы методов существует и ряд недостатков, к которым обычно относят: сложность в реализации, трудоемкость, требования больших вычислительных ресурсов по сравнению с классическими подходами, сложность подбора гиперпараметров моделей, переобучаемость и др.

В табл. 1 приведены оценки производительности моделей, примененных авторами для прогнозирования электропотребления промышленных объектов.

Таблица 1

Сравнительный анализ моделей прогнозирования

Метод	Ошибка прогнозирования, %	Достоинства	Недостатки	Публикация
Градиентный бустинг CatBoost	7,95	Быстродействие модели. Автоматизированный подбор гиперпараметров. Устойчивость к выбросам.	Модель не учитывает данные технологического процесса.	[2]
Авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего ARIMA	15,92	Проработанный математический аппарат.	Недостаточный уровень точности модели.	[3]
Перцептрон	5,02	Возможность получения достоверного прогноза в условиях неполноты исходных данных.	Переобучаемость сети.	[4]

Гибридная модель: сингулярный спектральный анализ и перцептрон	4,04	Повышение достоверности прогноза за счет разложения ряда электропотребления на аддитивные составляющие, удаление шумовой составляющей	Сложность метода, необходимость экспертного решения при разбиении ряда на аддитивные составляющие	[4]
--	------	---	---	-----

Таким образом, авторами была проведена серия экспериментальных исследований, заключающиеся в разработке прогностических моделей электропотребления. Наиболее эффективными подходами является применение искусственных нейронных сетей и разработка гибридных моделей, сочетающих в себе достоинства нескольких методов интеллектуального анализа данных. Перспективой для дальнейших исследований авторы видят применение методологии рангового анализа техноценозов для прогнозирования электропотребления, оценки потенциала энергосбережения и оптимизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Klyuev R.V., Morgoev I.D., Morgoeva A.D., Gavrina O.A., Martyushev N.V., Efremkov E.A., Mengxu Q.** Methods of Forecasting Electric Energy Consumption: A Literature Review // *Energies*. – 2022. Vol. 15. – 8919. <https://doi.org/10.3390/en15238919>
2. **Моргоева А.Д., Моргоев И.Д., Клюев Р.В., Гаврина О.А.** Прогнозирование потребления электрической энергии промышленным предприятием с помощью методов машинного обучения // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2022. – Т. 333. – № 7. – С. 115-125. – DOI 10.18799/24131830/2022/7/3527.
3. **Моргоева А.Д., Моргоев И.Д., Клюев Р.В.** Прогнозирование электрической нагрузки методом авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего // *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. – Том 7. – № 2(28). – 2022. – С. 112-118.
4. **Вялкова С.А., Моргоева А.Д., Гаврина О.А.** Разработка гибридной модели прогнозирования потребления электрической энергии для горно-металлургического предприятия // *Устойчивое развитие горных территорий*. – 2022. – Т. 14, № 3. – С. 486-493. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-486-493.

Ключевые слова: прогнозирование, моделирование, энергосбережение, электропотребление, интеллектуальный анализ данных, ранговый анализ.

Сведения об авторах:

Клюев Роман Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий»

Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета).

Моргоев Ирбек Джабраилович – аспирант Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета).

Моргоева Анжелика Джабраиловна – аспирант Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета).

e-mail: m.angelika-m@yandex.ru

Адрес: г. Владикавказ, ул. Николаева, 44

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

А.Р. Петров, Е.И. Грачева

В статье рассмотрены основные особенности механических, химических, тепловых и электрических процессов, протекающих в зонах соприкосновения поверхностей контактных соединений электрических аппаратов. Проанализированы параметры, определяющие значение потерь мощности и потребляемой мощности в коммутационной низковольтной аппаратуре. Показаны основные особенности характеристик топологии и технического состояния в условиях эксплуатации оборудования внутрицеховых низковольтных сетей промышленного электроснабжения, учет которых необходим для анализа и оценки потерь мощности и электроэнергии в таких сетях.

Введение

В настоящее время изменяются требования к учету потерь мощности и электроэнергии во внутрицеховых системах электроснабжения. Это обусловлено сложностью определения параметрических и режимных данных систем электроснабжения. Достоверность информации об элементах электрооборудования значительно повышает энергоэффективность эксплуатации систем электроснабжения [1].

Теория вопроса

Рассмотрим литые автоматы, пользующиеся наибольшей популярностью на отечественном рынке электрооборудования.

Автоматический выключатель в литом корпусе – это коммутационный аппарат, предназначенный для проведения тока в нормальном режиме, защиты оборудования и силовой цепи при возникновении перегрузки или короткого замыкания [2].

В таблице 1 представлены основные технические каталожные данные автоматических выключателей, выпускаемых Курским электроаппаратным заводом, Schneider Electric, Legrand, ABB.

Таблица 1

Основные технические каталожные данные автоматов

Тип и завод-изготовитель автоматического выключателя	Потеря активной мощности на полюс, Вт	Коммутац. износостойкость, циклов	Мех-ая износостойкость, циклов	Габаритные размеры (ШхВхГ), мм	$I_{ном}$, А	$U_{ном}$, В
Российские						
ВА57-31 (КЭАЗ)	7,5	10000	16000	75x125x117	100	690
Зарубежные						
NSX100 (Schneider Electric)	8,8	10000	50000	140x160x86	100	690
DPX ³ 160 (Legrand)	7,8	8000	25000	81x115x100	100	690
Tmax XT1 (ABB)	10	8000	25000	76,2x130x70	100	690

Методика проведения исследований

Анализ данных таблицы 1 показал, что основные технические параметры исследуемых автоматических выключателей рассматриваемых заводоизготовителей имеют близкие значения, однако следует отметить, что автоматические выключатели серии ВА57-31 имеют наименьшее значение потерь мощности на полюс — 7,5 Вт [3].

В зависимости от номинального тока аппарата его потери мощности будут различными [4]. На рис.1 представлены зависимости потерь мощности от номинального тока I для автоматических выключателей (ВА57-31, NSX100, DPX³ 160, Tmax XT1 TMD).

Описание метода исследований

Аппроксимируем полученные графические зависимости величины потерь мощности в функции номинального тока. Аппроксимирующие функции и величина среднеквадратического отклонения автоматических выключателей сведены в таблицу 2 [5].

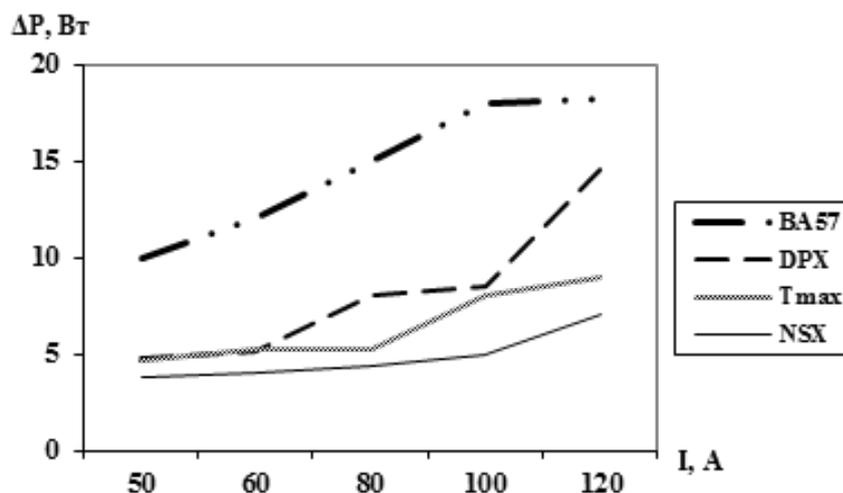


Рис. 1. Графики зависимостей потерь активных мощностей в функции номинальных токов автоматов заводов-изготовителей

Таблица 2

Аппроксимирующие функции и результаты расчета величины среднеквадратического отклонения

Вид функции аппроксимации	S
BA57-31	
$F_{1BA}(I) = -1,95 + 0,28 \cdot I - 7,4 \cdot 10^{-4} \cdot I^2$	0,38
$F_{2BA}(I) = 20,26 - 37,95 \cdot e^{-0,025 \cdot I}$	0,14
$F_{3BA}(I) = -4,12 + 143,98 \cdot e^{-0,1 \cdot I} - 8,4 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 0,31 \cdot I$	1,15
NSX100	
$F_{1NSX}(I) = 0,78 + 0,11 \cdot I - 1,23 \cdot 10^{-4} \cdot I^2$	2,65
$F_{2NSX}(I) = 29,42 - 29,18 \cdot e^{-4,001 \cdot 10^{(-3)} \cdot I}$	0,37
$F_{3NSX}(I) = 17 - 1067 \cdot e^{-0,1 \cdot I} + 5,97 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 0,14 \cdot I$	2,63
DPX³ 160	
$F_{1DPX}(I) = 7,46 - 0,13 \cdot I + 0,15 \cdot 10^{-4} \cdot I^2$	1,46
$F_{2DPX}(I) = 2,23 \cdot 10^6 - 2,23 \cdot 10^6 \cdot e^{-6,298 \cdot 10^{(-8)} \cdot I}$	1,16
$F_{3DPX}(I) = 20,37 - 516,21 \cdot e^{-0,1 \cdot I} + 0,28 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 0,39 \cdot I$	7,76
Tmax XT1 TMD	
$F_{1Tmax}(I) = -0,55 + 0,12 \cdot I - 2,95 \cdot 10^{-4} \cdot I^2$	0,81
$F_{2Tmax}(I) = 13,97 - 15,34 \cdot e^{-9,692 \cdot 10^{(-3)} \cdot I}$	0,69
$F_{3Tmax}(I) = 5,48 - 241,05 \cdot e^{-0,1 \cdot I} + 2,94 \cdot 10^{-4} \cdot I^2 + 4,65 \cdot 10^{-3} \cdot I$	0,80

На рис. 2 приведены графики изменения потерь мощности для автоматических выключателей с нагрузкой по току $0,5I_{ном}$.

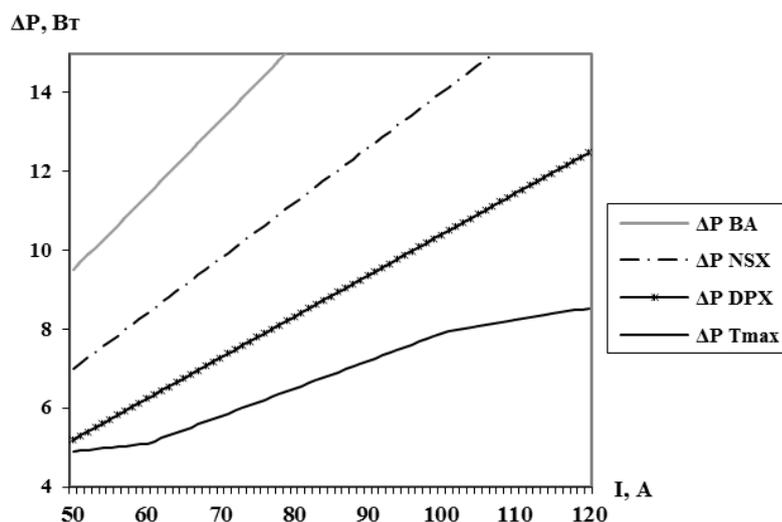


Рис. 2. Графические функциональные характеристики для автоматов серии BA57-31, NSX100 TM-D, DPX3 160, Tmax XT1 TMD

Заключение

В представленной статье проведено исследование зависимостей величины потерь активной мощности в автоматических выключателях от основных параметров оборудования. Сравнительный анализ технических характеристик автоматов BA57-31, NSX100 TM-D, DPX³ 160, Tmax XT1 TMD показал, что их основные параметры имеют близкие значения, однако имеются различия в величинах потерь активной мощности на полюс аппарата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Власюк И.В., Парамонов С.Ю., Белов С.И. Повышение эксплуатационной надежности автоматических выключателей в сетях напряжением 0,4 кВ, используемых в агропромышленном комплексе // Международный технико-экономический журнал. М.: Изд-во ООО «Мегполис», 2018. № 1. С. 51-58.

2. Грачева Е.И., Горлов А.Н., Шакурова З.М. Анализ и оценка экономии электроэнергии в системах внутриводского электроснабжения // Проблемы энергетики. 2020. № 2. С.65-74.

3. Грачева Е.И., Наумов О.В., Горлов А.Н, Шакурова З.М. Алгоритмы и вероятностные модели параметров функционирования внутриводского электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 1. С. 93-104. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-93-104.

4. Грачева Е.И., Наумов О.В. Потери электроэнергии и эффективность функционирования оборудования цеховых сетей. Монография. М.: РУСАЙНС, 2017. 168 с.

5. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надёжность электроснабжения. Ростов-на-Дону: Терра Принт, 2017.

Ключевые слова: автоматические выключатели, номинальный ток, контактные соединения, аппроксимирующие функции, конструктивные особенности.

Сведения об авторах

Петров Алмаз Радикович – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета.

Грачева Елена Ивановна – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета.

e-mail: petroval13@mail.ru

Адрес: г. Казань, ул. Красносельская, 51

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Санкт-Петербургский горный университет

С.С. Соловьёв, И.С. Бабанова

Вопросы повышения энергоэффективности и надежности электротехнических комплексов являются основой рассмотрения не только на уровне функционирования и управления горных предприятий, но и определенных с учетом Энергетической стратегии России до 2035 года (ПП РФ №1523-р от 09.06.2020 г.) и «Улучшением надежности и качества электроснабжения потребителей электрической энергии за счет внедрения новых технологий и оптимизации деятельности территориальных сетевых организаций» (ПП РФ № 2801-р от 28 октября 2020 г.). На основании официальных и отраслевых документов обоснование рассмотрения вопросов энергосбережения и повышения надёжности электроснабжения промышленных предприятий, поиск их решений в условиях рыночной экономики являются приоритетными направлениями исследований.

Введение

Анализ значений электрических нагрузок электрооборудования, проводимый на примере горных предприятий, показал, что наибольшие значения приходятся

на экскаваторное и насосно-компрессорное оборудование [1]. Кроме того, изучение государственных документов для топливно-энергетического комплекса позволяет сделать вывод о том, что повышение энергоэффективности и надежности электроснабжения промышленных горных предприятий является одной из важнейших задач. В этой связи, эффективное использование электроэнергии является актуальной проблемой для предприятий угольной отрасли. Анализ стратегических отчетов компаний горной промышленности поможет выявить факторы, влияющие на показатели энергоэффективности и характер изменения электрических нагрузок, для их дальнейшего учета при создании прогнозных моделей.

Теория вопроса

Весомый вклад в развитие и решение данных вопросов внесли такие ученые как Б.Н. Абрамович, В.М. Гойхман, А.Е. Козярук, А.В. Ляхомский, А.В. Праховник и др.

Методика проведения исследований

Цель настоящего исследования – повышение энергоэффективности горных предприятий на основе разработки моделей прогнозирования, а также оценка показателей надежности электроснабжения потребителей горных предприятий.

Описание метода исследований

В ходе решения задач настоящего исследования использовались различные методы математического моделирования, статистический анализ, методы экспертного анализа, методы расчетов электрических нагрузок, логико-вероятностный метод моделирования.

На рисунке 1 представлен график изменения электрической нагрузки от времени на примере угольного предприятия.

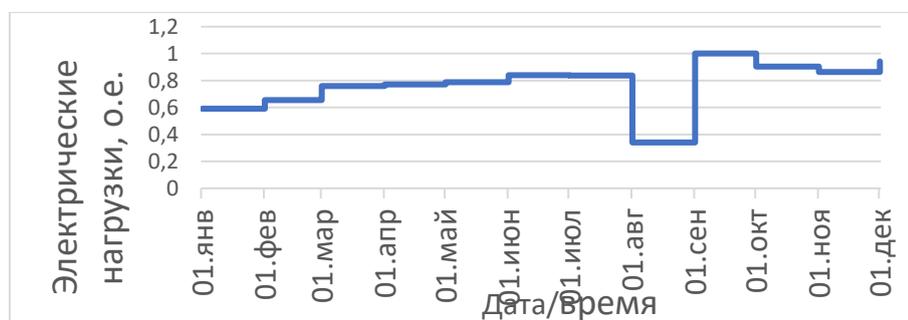


Рис. 1. График электрических нагрузок от времени для угольного предприятия

Изучение плана производств поможет определить факторы, влияющие на изменение нагрузки. Резкие изменения указывают на необходимость принятия регулирующих мероприятий и дальнейшего учёта этих факторов при создании прогнозной модели для равномерного распределения нагрузки.

Для расчёта электрических нагрузок были рассмотрены следующие коэффициенты: максимума, формы, использования, заполнения. Были получены изменения данных коэффициентов от времени, выявлены характерные особенности.

В ходе работы над второй задачей была проанализирована работа нескольких предприятий по затратам электрической энергии по основным технологическим процессам (рассматриваемый период – год, предприятия – шахты, разрезы, обогатительные фабрики). Были проанализированы следующие показатели: удельный расход электроэнергии на переработку; удельный расход электроэнергии на открытые горные работы; число часов использования мощности. Проанализируем более подробно удельный расход электроэнергии на переработку $w_{уд}^{OF}$ – показатель, характеризующий отношение объёма затраченной электроэнергии к объёму переработки:

$$w_{уд}^{OF} = \frac{W}{V_{OF}}, \quad (1)$$

где W – потребленная электроэнергия на предприятии за выбранный период, кВт · ч; V_{OF} – объём переработки для обогатительных фабрик, т.

Таблица 1

Изменения показателя энергоэффективности от времени (наблюдаемый период-год, регион №1 (ОФ-1))

Квартал	$w_{уд}^{OF}$, кВт·ч/т		
I квартал (январь, февраль, март)	2,16	2,05	1,77
II квартал (апрель, май, июнь)	2,97	1,61	1,29
III квартал (июль, август, сентябрь)	0,59	1,46	1,26
IV квартал (октябрь, ноябрь, декабрь)	1,43	1,39	1,55

Для обогатительной фабрики №1 (ОФ-1) в летний период прослеживается следующая зависимость: снижение показателя энергоэффективности предприятия за год из-за резкого уменьшения объёмов переработки. Из этого следует характерное отклонение от выполнения плана по выработке и, как следствие, последующая интенсивная эксплуатация оборудования в IV квартале.

Выбранным показателем надежности является коэффициент готовности, характеризующий такое свойство надежности, как безотказность и ремонтпригодность как комплексные показатели. Для его расчёта была использована отечественная система для расчета надежности технически сложных систем ПК АРБИТР. Для успешного нахождения выбранного показателя необходимо преобразовать принципиальную схему

электроснабжения в схему функциональной целостности (СФЦ). Расчёт значений коэффициента готовности производился на основе паспортных данных таких, как средняя наработка на отказ и среднее время восстановления системы. Вышеуказанные данные анализировались по их суммарным значениям за год.

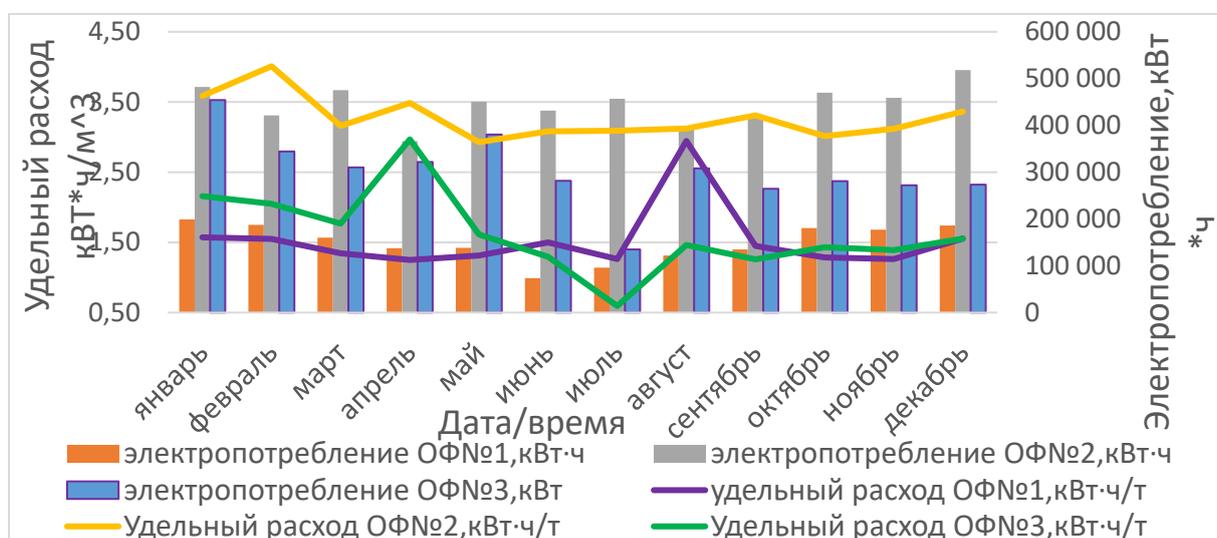
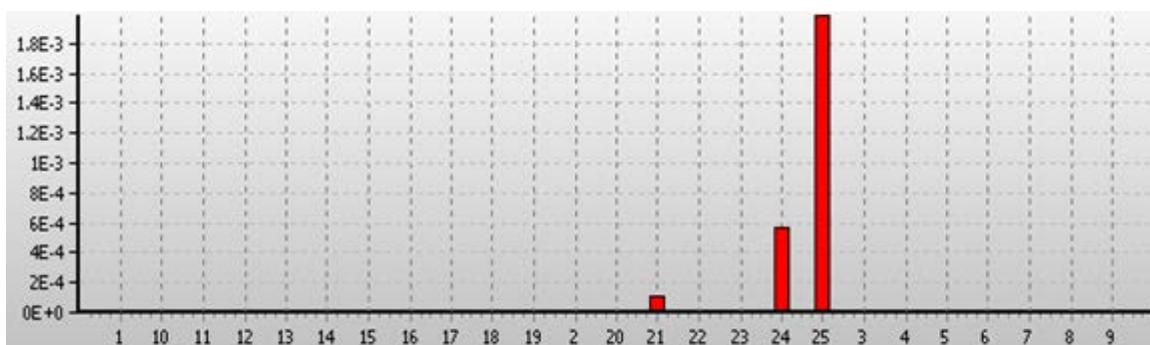


Рис. 2. Зависимость удельного расхода электроэнергии на переработку и электропотребления предприятий угольной промышленности



КГс=0.997339769564 - коэффициент готовности/неготовности системы

Рис. 3. Диаграмма положительных вкладов элементов системы

Анализ диаграммы положительных вкладов элементов показал, что наиболее важными элементами системы являются элементы, питающие подстанцию, их необходимо заменить на наиболее надежные для повышения коэффициента готовности. Применение специализированного программного обеспечения позволяет предварительно рассмотреть возможный аварийный выход из строя элементов электрической сети с учетом сценария развития отключения других элементов. Полученные расчеты по вариантам возникновения аварийных событий позволят персоналу оптимизировать дальнейшую разработку мероприятий по повышению надежности.

Заключение

Проведенный анализ необходим для применения прогнозных моделей и разработки алгоритмов, включающих зависимости изменения временных рядов от времени и от производственных показателей предприятия. Вместе с тем мониторинг основных показателей в рамках Стратегий по энергосбережению позволил найти отклонения фактических значений от планируемых, определить основные требования, предъявляемые к данным показателям энергоэффективности. Выполненный расчет надежности позволяет предварительно рассмотреть возможный аварийный выход из строя элементов электрической сети с учетом сценария развития отключения других элементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бабанова И.С.** Разработка моделей прогнозирования с целью управления режимами электропотребления предприятий угольной промышленности / И. С. Бабанова. - Текст: непосредственный // Промышленная энергетика. - 2021. - № 10. - С. 9-22.

Ключевые слова: энергоэффективность, надежность, модели прогнозирования, электрические нагрузки, электротехнические комплексы, разрезы, обогатительные фабрики, шахты, коэффициент готовности.

Сведения об авторах

Бабанова Ирина Сергеевна, к.т.н., ассистент кафедры электроэнергетики и электромеханики, Санкт-Петербургский горный университет.

Соловьёв Сергей Сергеевич – студент 2 курса, Санкт-Петербургский горный университет.

e-mail: solovyov.sergey.work@yandex.ru, irina_babanova@mail.ru

Адрес: г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д.2.

УДК 621.3

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Ю.А. Козлова

Достижения в области реформирования электроэнергетики в России впечатляют. Бывшие региональные вертикально интегрированные монополии

были разделены и приватизированы. Созданы оптовая и территориальная генерирующие компании. Государство сохранило контроль над всеми сетевыми компаниями, системным оператором, атомной и гидроэнергетикой. Созданы оптовый и розничный рынки электроэнергии и мощности. Несколько сегментов оптового рынка обеспечивают стабильную балансировку генерации и потребления. Рынок мощности обеспечивает достаточный ввод объектов новой генерации.

Однако остается комплекс проблем, влияющих на эффективность государственного регулирования и рациональное развитие генерирующих и сетевых объектов в России. Проблемы связаны с структурой рынка, поддержкой конкуренции, ценообразованием, обеспечением инвестиций и существующим регулированием. Устранение негативных моментов реформ определяет актуальные направления совершенствования политики управления и модернизации рынков.

Очевидными проблемами российской электроэнергетики являются:

Ослабление государственного контроля над отраслью.

За годы реформ количество сотрудников Минэнерго России, связанных с управлением электроэнергетикой, значительно сократилось. Разделение вертикально интегрированных региональных энергокомпаний привело к появлению независимых энергетических компаний, преследующих свои индивидуальные цели. Решение о расширении энергосистем и совершенствовании рынка электроэнергии и мощности принимается Правительством Российской Федерации и вновь создаваемыми субъектами, в том числе Системным оператором, Советом рынка и Федеральной антимонопольной службой. Функции и ответственность этих субъектов не всегда хорошо скоординированы. Администрации регионов на многих территориях слабо мотивированы на обеспечение надежного энергоснабжения потребителей.

Высокий уровень цен на электроэнергию для промышленных потребителей. За последние 10 лет темпы роста цен на электроэнергию в среднем по стране превышали темпы роста инфляции в 1,2 раза. Средняя цена на электроэнергию для промышленных потребителей превышает такие цены в США в 1,63 раза и в странах Евросоюза - в 1,2 раза. Высокие цены заставляют крупных промышленных потребителей отказываться от централизованного электроснабжения и строить собственные генерирующие мощности. Это увеличивает стоимость электроэнергии для мелких и средних потребителей. Из-за высоких цен на электроэнергию российские предприятия теряют конкурентные преимущества на мировых рынках.

Появление избыточных генерирующих мощностей и отсутствие средств на расширение электрических сетей.

Долгосрочный прогноз изменения потребности и притока воды в водохранилища ГЭС содержит неопределенности. Предположение о слишком высоких темпах роста потребления приводит к избыточным генерирующим и сетевым мощностям. Отсутствие инвестиций со стороны крупных потребителей увеличивает оптовые и розничные цены на рынках.

Последующая модернизация оптового и розничного рынков является важной и актуальной задачей для экономики России. Создание прозрачных и конкурентных рынков электроэнергии, которые создадут сильные стимулы для эффективных и инновационных инвестиций, надежной и эффективной работы энергосистем и адекватного реагирования конечных пользователей, является решающим успехом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Асмолов, В.Г.** (2014), Обеспечение безопасности и повышение эффективности российской атомной энергетики.
2. **Паламарчук С.И., Подковальников С.В., Воропай Н.И.** (2001), Электроэнергетический сектор в России. Электричество Журнал, 10, - С. 52-58.
3. **Паламарчук С.И., Воропай Н.И.** (2009), Состояние и развитие российского рынка электроэнергии.

Ключевые слова: энергоэффективность, надежность, модели электрические нагрузки, электротехнические комплексы, потребители, коэффициент мощности.

Сведения об авторах

Козлова Юлия Алексеевна – старший преподаватель.

e-mail: Lulik93@mail.ru

Адрес: г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112.

УДК 621.3

АНАЛИЗ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)»

О.В. Каджаев, С.А. Марзоев, А.Б. Кудзиев, О.А. Гаврина

В работе показано влияние высших гармонических составляющих (ВГ) токов и напряжений на работу батарей статических конденсаторов (БСК).

Введение

Возникающая в системах электроснабжения несинусоидальность напряжения за счет источников высших гармоник, ограничивает технические возможности применения БСК как средства компенсации реактивной мощности. Это связано,

как уже указывалось, с возникновением резонансных явлений на частотах высших гармоник, с перегрузкой конденсаторов, и как следствие, с резким сокращением срока их службы. В литературе отмечаются многочисленные случаи перегрузки БСК за счет высших гармоник не только в системах электроснабжения промышленных предприятий, но и в сельских сетях, где были зарегистрированы случаи перегрузки БСК по току на 200%. Естественно, что это приводит к быстрому выходу из строя в результате вспучивания корпусов конденсаторов и взрывов. Очевидно, для оценки перегрузки БСК за счет высших гармоник надо рассчитать потери в конденсаторах при несинусоидальном напряжении в сети.

Обычно, расчет потерь в конденсаторе при несинусоидальном напряжении проводят для установившегося режима при детерминированном спектре напряжения по его эквивалентной схеме замещения.

На рисунке 1 приведена схема замещения конденсатора в широком диапазоне частот.

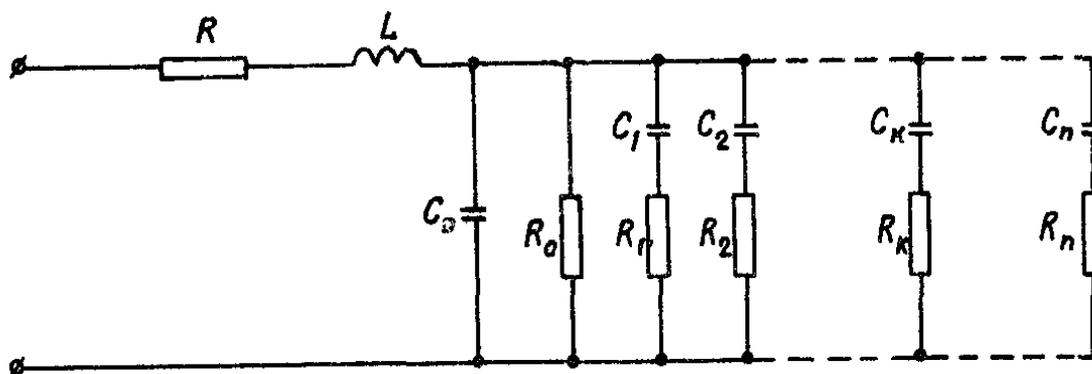


Рис. 1. Схема замещения конденсатора

Сопротивления R и индуктивность L учитывают потери в токоведущих частях, сопротивление R_0 и емкость C_0 – потери проводимости, а набор из емкостей C_k и сопротивлений R_k учитывает релаксационные потери в диэлектрике. Так как потери проводимости малы, то расчет их не производится и считается, что активная мощность, выделяемая в конденсаторе в виде тепла, обусловлена двумя основными видами потерь: потерями в диэлектрике P_d и потерями в металлических частях конструкции P_m :

$$P_{\Sigma} = P_m + P_d \quad (1)$$

Учитывая, что эти потери имеют разную природу и оказывают разное влияние на элементы конструкции, их определяют раздельно.

Потери в металлических частях

При расчете потерь в конденсаторах, работающих при синусоидальном напряжении на основной частоте 50 Гц, эти потери в элементах токоведущих конструкций конденсатора (выводах, внутренних соединительных шинах и предохранителях в многосекционных конденсаторах, контактных узлах и

обкладках) часто не учитывают ввиду их малости. Однако при несинусоидальном напряжении, вследствие перераспределения тока, обусловленного электрическим и магнитным поверхностным эффектом, а также эффектом близости, эквивалентные сопротивления этих элементов схемы замещения возрастают и становятся зависимыми от частоты. Кроме того, в металлических частях конструкции (главным образом в крышке) возникают вихревые токи под воздействием переменного магнитного поля тока конденсатора и гистерезисные явления, которые приводят к дополнительным потерям энергии, что эквивалентно увеличению сопротивления токоведущих частей конденсатора. Одновременно с этим, за счет повышения температуры в конденсаторе, активное сопротивление токоведущих частей конденсатора повышается, что также приводит к увеличению потерь в них.

В общем случае потери в металлических частях могут быть определены как:

$$P_{m\nu} = \sum_{\nu=1}^m I_{\nu}^2 r_{\Sigma\nu} = r_{\Sigma 1} \sum_{\nu=1}^m I_{\nu}^2 K_{R\nu}, \quad (2)$$

где I_{ν} – действующее значение ν -й гармоники тока в конденсаторе;

$r_{\Sigma 1}$, $r_{\Sigma\nu}$ – активное эквивалентное сопротивление конденсатора на основной частоте 50 Гц и на ν -й гармонике, учитывающее сопротивление в выводах, контактном узле, обкладках, а также внесенное сопротивление потерь в корпусе;

$K_{R\nu}$ – коэффициент увеличения активного сопротивления токоведущих частей на ν -й гармонике.

Значение коэффициента $K_{R\nu}$ не остается постоянным, а зависит от частоты, температуры и магнитной проводимости металла, возрастая с их увеличением. Рекомендуется определять сопротивление отдельно в каждом из элементов конструкции конденсатора с учетом их геометрии и применяемого материала. Однако наряду с этим имеются случаи учета $K_{R\nu} = \sqrt{\nu}$.

Заметим, что, так как ток, потребляемый конденсатором, пропорционален частоте $I \approx \frac{U}{X_c} = U\omega = 2\pi fUc$, то мощность, рассчитываемая в металлических

частях конденсатора, возрастает пропорционально квадрату частоты, и при высоких частотах ее нельзя не учитывать.

Потери в диэлектрике

Эти потери обусловлены, прежде всего, релаксационными процессами и в меньшей степени токами утечки. Они в значительной степени зависят от частоты, температуры и формы приложенного напряжения. В силовых конденсаторах они возрастают с ростом температуры и частоты. В общем виде эти потери можно представить как:

$$P_{dv} = \sum_{v=1}^m U_v^2 \cdot 2\pi f v c t g \delta_{dv}, \quad (3)$$

где U – действующее значение напряжения v -й гармоники на выводах конденсатора;

c – номинальная емкость конденсатора;

$t g \delta_{dv}$ – тангенс угла потерь диэлектрика конденсатора на v -й гармонике.

Таким образом, суммарные потери активной мощности в конденсаторе при несинусоидальном напряжении могут быть найдены как:

$$P_{\Sigma} = \sum_{v=1}^m U_v^2 \cdot \omega v c t g \delta_{dv} + r_{\Sigma 1} \sum_{v=1}^m I_v^2 K_{Rv}, \quad (4)$$

Отсюда видно, что для определения потерь активной мощности в конденсаторе необходимо знать тангенс угла потерь диэлектрика конденсатора на частоте v -й гармоники $t g \delta_{dv}$, а также коэффициент увеличения активного сопротивления токоведущих частей K_{Rv} на частоте v -й гармоники. Однако определение этих величин вызывает значительные трудности, что не позволяет учитывать их фактические значения при расчете потерь в БСК.

Заметим, что не учет возрастания $t g \delta_{dv}$ и K_{Rv} приводит к занижению расчетной величины потерь в конденсаторах и, как следствие, к завышению расчетного срока службы [1-8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванов В.С., Соколов В.И.** Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
2. **Карташев И.И.** Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / Под ред. М.А. Калугиной. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 120 с.
3. **Клюев Р.В.** Методы и средства улучшения показателей качества электроэнергии на промышленных предприятиях цветной металлургии // Тезисы докладов научно-технической конференции, посвященной 65-летию научно-исследовательского сектора, Владикавказ, 2004, с. 53-54.
4. **Клюев Р.В.** Анализ качества электроэнергии на предприятиях по производству свинца и цинка // Актуальные вопросы современной техники и технологии: Сборник докладов XII-й Международной научной конференции (Липецк, 26 июля 2013 г.). / Отв. ред. А.В. Горбенко. – Липецк: Издательский центр «Гравис», 2013, С. 87-90.
5. **Клюев Р.В., Гаврина О.А., Лысоконь Э.С., Гаврина Ю.В., Каджаев О.В.** Оценка качества электроэнергии на предприятии цветной металлургии на

надежность работы электрооборудования // Труды СКГМИ (ГТУ). - 2018. - Вып.25.-С.19-24.

6. **Klyuev R.V., Bosikov I.I., Gavrina O.A., Revazov V.Ch., Madaeva M.Z.** Rank analysis of higher harmonics voltage spectrum of metallurgy enterprises // В сборнике: Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus (CIGGG 2018). 2018. С. 169-174.

7. **Гаврина О.А., Плиева М.Т., Маскуров И.В.** Использование статистического метода расчета потерь электроэнергии // В сборнике: Культура, наука, образование: проблемы и перспективы. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Ответственный редактор Д.А. Погоньшев. 2019. С. 664-667.

8. **Гаврина О.А., Босиков И.И., Берко И.А.** Разработка методов по улучшению использования электрооборудования природно-промышленной системы горно-перерабатывающего комплекса // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2018. № 2 (82). С. 12-19.

Ключевые слова: энергоэффективность, конденсатор, нагрузка, напряжение, электротехнические комплексы, потребители, коэффициент мощности.

Сведения об авторах

Каджаев Олег Васильевич – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»

Марзоев Сослан Аркадьевич – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»

Кудзиев Азамат Борисович – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»

Гаврина Оксана Александровна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий»

e-mail: Gavrina-Oksana@yandex.ru

Адрес: г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

УДК 536.244:51-74

ОГРАНИЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ВЫСОКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

ФГАОУ ВО «НИТУ МИСиС»

Плащанский Л.А., Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю.

В публикации представлены результаты исследования параметров качества электрической энергии (гармонического состава) применительно к электрическим сетям высокопроизводительных угольных шахт. В частности,

представлена методика имитационного моделирования системы электроснабжения высокопроизводительных участков угольных шахт для исследований показателей качества электроэнергии, а также имитационная модель системы электроснабжения выемочного участка угольной шахты с основным технологическим оборудованием и устройством повышения качества электрической энергии.

Введение

Широкое применение преобразовательных устройств обуславливает возникновение высших гармоник в подземных электрических сетях с постоянно меняющимся спектром, определяющим отклонение показателей качества электроэнергии от регламентируемых, что вызывает повышенный нагрев электродвигателей, силовых трансформаторов, кабелей, а также сбои в работе межпроцессорных устройств управления и защиты. Поэтому необходимо рассмотреть возможность по ограничению влияния высших гармоник на питающую сеть в условиях угольных шахт высокой производительности. Следует отметить, что мероприятия, связанные с качеством электрической энергии, являются результатом стратегии развития горнодобывающей отрасли России, а угледобывающие предприятия непосредственно заинтересованы в реализации этих мероприятий [1].

Теория вопроса

Применение частотно-регулируемого электропривода и электродвигателей постоянного тока требует использование преобразовательных и выпрямительных устройств, обеспечивающих нормальную работу такого типа приводов, которые, являясь нелинейной нагрузкой, требуют повышенного потребления реактивной энергии. Кроме того, преобразовательные устройства генерируют высшие гармоники, что вызывает нелинейные искажения кривой напряжения сети, которые неблагоприятно сказываются на работе силового электрооборудования, защите электроустановок, автоматике и связи, снижении уровня электробезопасности и энергоэффективности [2 - 5].

Методика проведения исследований

Методика исследований показателей качества электроэнергии включает:

1. Выявляем высокопроизводительный участок угольной шахты выемка полезного ископаемого которого осуществляется комплексами большой мощности, привод которых использует преобразовательные устройства;
2. Определяем системы регулируемых электроприводов основного технологического оборудования высокопроизводительного участка;
3. Составляем схему электроснабжения участка с указанием основных параметров электрооборудования, трансформаторных подстанций

энергопоезда, кабельных линий и коммутационных аппаратов, на базе которой строится имитационная модель в программном продукте Matlab;

4. Необходимая настройка параметров имитационной модели осуществляется строго в соответствии с параметрами оборудования существующей системы электроснабжения;

5. В имитационную модель вводят ряд элементов, позволяющих определить основные параметры системы электроснабжения, а также измерительные устройства для определения параметров качества электрической энергии;

6. Производим имитационное моделирование системы электроснабжения высокопроизводительного участка угольной шахты;

7. Выполняем анализ результатов имитационного моделирования, с целью установления адекватности модели;

8. Определяем суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения (THD (U)), для конкретного технологического оборудования высокопроизводительного участка, а также на входе и выходах энергопоезда с целью соответствия их нормативным значениям;

9. Анализируем полученные значения (THD (U)) для конкретного оборудования высокопроизводительного участка;

10. В дополнение к существующей имитационной модели системы электроснабжения высокопроизводительного участка угольной шахты, строится дополнительно имитационная модель устройства повышения качества электроэнергии на основе активного фильтра высших гармоник с параллельным подключением и емкостным накопителем;

11. Настройку имитационной модели устройства повышения качества электроэнергии производят в соответствии с методикой по определению параметров емкости накопительного конденсатора, индуктивности входного дросселя, мощности установки и уровня напряжения;

12. Строим совмещенную имитационную модель системы электроснабжения высокопроизводительного участка угольной шахты с устройством повышения качества электроэнергии (рис.1, рис.2, рис.3);

13. Анализируем результаты моделирования системы электроснабжения участка угольной шахты с устройством повышения качества электроэнергии с целью соответствия полученных результатов нормативным значениям;

14. Принимается решение о возможном использовании результатов моделирования системы электроснабжения с устройством повышения качества электроэнергии в условиях конкретного действующего участка угольной шахты.

На рис. 4 представлены результаты имитационного моделирования, в частности форма сигналов по напряжению, а также гармонический состав по напряжению на выходе понизительной подстанции энергопоезда до подключения активного фильтра и после.

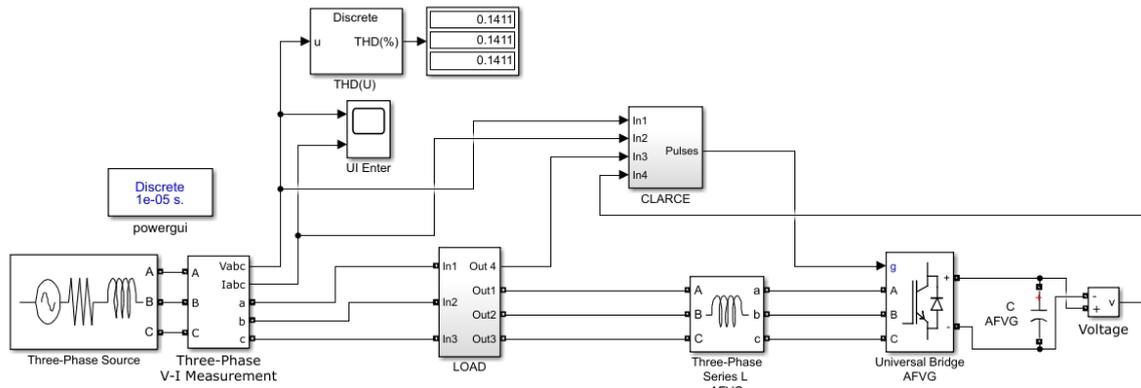


Рис. 1. Имитационная модель системы электроснабжения выемочного участка угольной шахты с основным технологическим оборудованием и устройством повышения качества электрической энергии

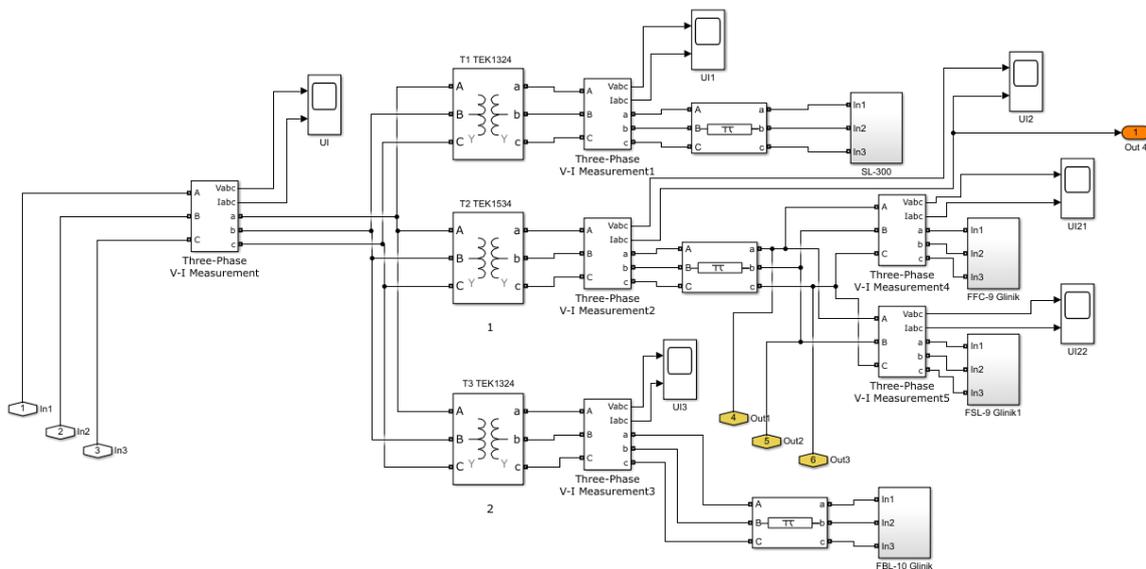


Рис. 2. Подсистема имитационной модели LOAD (Нагрузка)

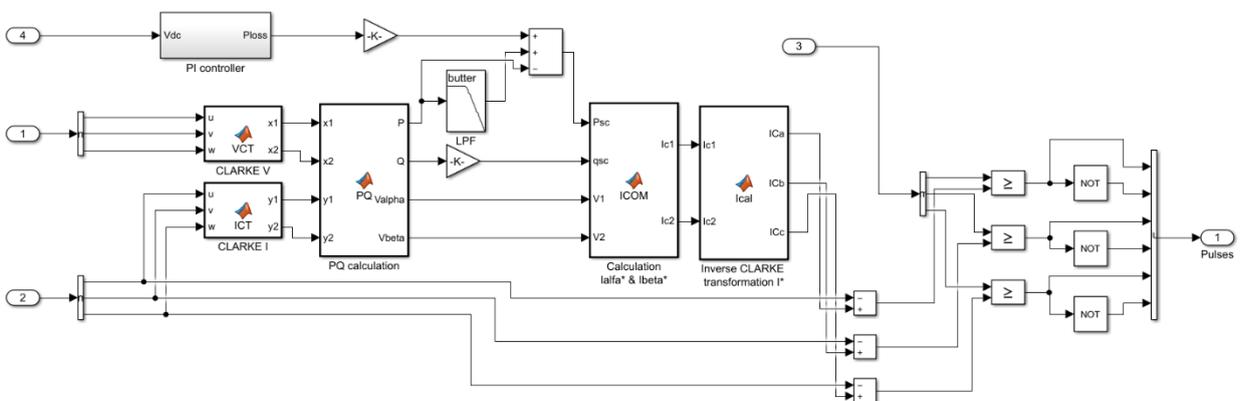


Рис. 3. Подсистема имитационной модели CLARKE (Система управления активным фильтром высших гармоник)

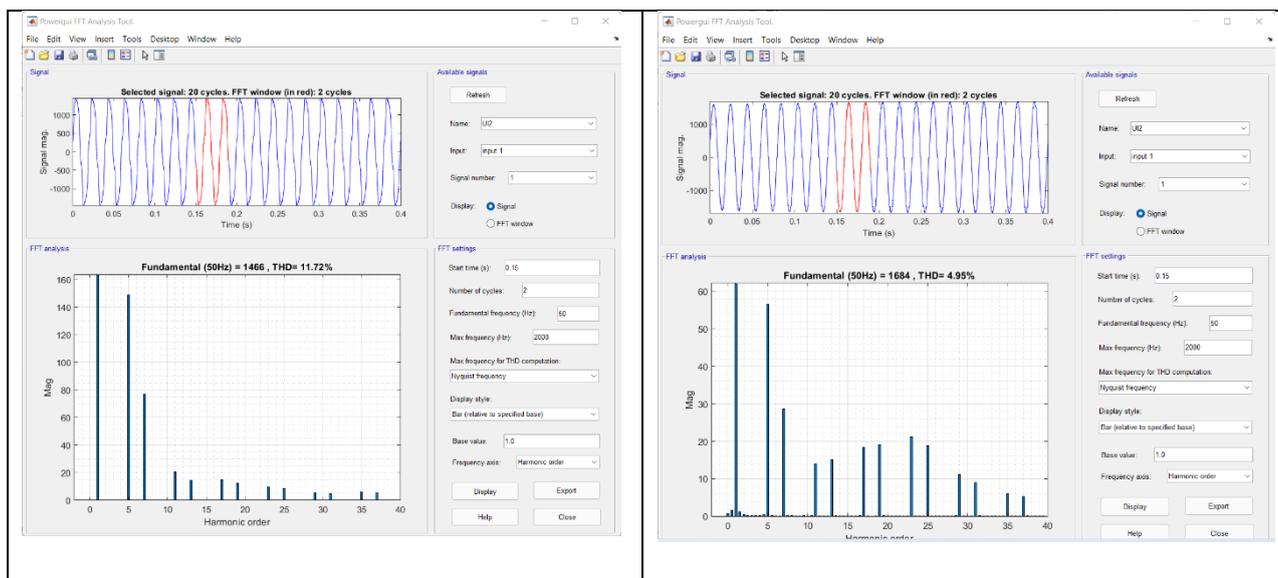


Рис. 4. Форма сигналов по напряжению, а также гармонический состав по напряжению на выходе понизительной подстанции энергопоезда до и после подключения активного фильтра высших гармоник

Заключение

Сравнительный анализ результатов суммарного значения напряжений гармонических составляющих (THD (U)) показал снижения показателя с 11,72 % до 4,95 %, что подтверждает эффективность использования активного фильтра высших гармоник в подземных электрических сетях выемочных участков высокопроизводительных угольных шахт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Государственная программа РФ «Развитие угольной промышленности до 2030 г.». – М., 2014.
2. Сычев Ю.А., Абрамович Б.Н., Полищук В.В. Технологии повышения качества электрической энергии как основной фактор обеспечения энергетической безопасности предприятий минерально-сырьевого комплекса. ГИАБ 2019; 7: с. 184–193
3. Abramovich B.N., Sychev Yu.A., Prokhorova V.B. The application of modern information technologies for power monitoring and control in conditions of distributed generation. В сборнике: Conference of Open Innovation Association, FRUCT 16. «Proceedings of the 16-th Conference of Open Innovations Association, FRUCT 2014» 2014. pp. 3–8.
4. Meshcheryakov V.N., Khabibullin M.M., Pikalov V.V., Valtchev S. Active Power Filter with Common DC Link for Compensation of Harmonic Distortion in Power Grids» In Proc. of 16-th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC 2014), 2014, Antalya, pp. 1586–1590.
5. Шевырёв Ю.В., Шевырева Н.Ю., Плехов А.С., Титов Д.Ю. Применение компьютерных моделей для выбора регуляторов качества

электроэнергии при работе электроприводов с полупроводниковыми преобразователями: Монография. Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2018. – 180 с.

Ключевые слова: угольная шахта; система электроснабжения; гармонический состав; имитационная модель.

Сведения об авторах:

Плащанский Леонид Александрович – профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС;

Решетняк Сергей Николаевич – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС, старший научный сотрудник лаборатории 2.3 ИПКОН РАН;

Решетняк Мария Юрьевна – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС.

e-mail: reshetniak@inbox.ru

Адрес: г. Москва Ленинский проспект д.4

УДК 621.3

АНАЛИЗ ОСВЕЩЕНИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ МИКРОРАЙОНА «ПРОБУЖДЕНИЕ» Г. ОРЛА

¹ФГБОУ ВО Орловский ГАУ

²ФКП образовательное учреждение № 69

А. П. Васильев¹, Е. И. Потетюлькин¹, А. В. Грибакин²

Проблема уличного освещения остро стоит в населенных пунктах из-за недостаточного финансирования. Уличное освещение часто выходит из строя из-за старых электрических сетей, что приводит к перегоранию и выходу из строя ламп, перегоранию фотореле. Данная проблема представляет особую актуальность так, как отсутствие уличного освещения в тёмное время суток – одна из наболевших проблем для жителей населенных пунктов.

Теория вопроса

Основной акцент ночного освещения населенных пунктов стоит не на создании цветосветовой среды окружающего пространства, а на обеспечении распознаваемости различных объектов на улицах в темное время суток, как для пешеходов, так и для транспорта [1].

Существует несколько основных проблем с уличным освещением в крупных

городах [2]:

- Неэффективные источники света;
- Непродуктивное размещение осветительных приборов;
- Световое загрязнение.

Методика проведения исследований

Произведен анализ освещения дорожной сети микрорайона «Пробуждение» г. Орла с использованием люксметра. По мере необходимости осмотры УО проводились и в ночное время суток для выявления освещенности и дефектов в освещении.

При проведении энергоаудита были выполнены замеры освещенности и яркости дорожного полотна на улицах города Орла: улицы Разведчика Воробьева, Зеленина, Полковника Старина, а также были установлены соответствия требуемым нормам. Для проведения анализа качества освещения был использован люксметр RGK LM-20. По результатам измерений был проведен анализ освещенности действующей осветительной сети данных улиц города и предложены мероприятия по энергосбережению в уличном освещении.

Результаты

На дорожном покрытии улицы Разведчика Воробьева выбран отрезок, на котором выполнялись замеры по освещенности. Расстояние между опорами со светильниками составляет 30 метров. Замеры проводились через 5 метров вдоль дороги и через 1,5 метра поперек. Всего был задействован участок дороги в 20 метров, освещенность зафиксирована в 15 контрольных точках. Сумма всех замеров, поделенная на 15 точек, дала необходимый результат среднего уровня освещенности на проезжей части.

Аналогично были проведены замеры освещенности дорожной сети улиц Зеленина и Полковника Старина. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты исследования освещенности в микрорайоне «Пробуждение»

Название улицы	Средняя освещенность, $E_{ср}$, лк	Равномерность освещенности на дорожном покрытии, U_h , лк	Относительная удельная мощность, $D_{ср}$, Вт·м ⁻² ·лк ⁻¹	Уст. -я мощность установки, P_i , кВт	Годовое электропотребление W_g , МВт·час/год
Разведчика Воробьева	5,9	0,4	0,103	6,77	11,1
Зеленина	10,6	0,16	0,041	1,32	2,2
Полковника Старина	3,4	0,3	0,056	1,44	2,36

Визуальный осмотр улиц показал: светильники расположены на железобетонных опорах, опоры располагаются с одной стороны улицы, ширина

дорожного полотна составляет около 2,5 м. Сеть наружного освещения дорожного полотна составляет около 2,5 м. Сеть наружного освещения включает в себя 47 светильников ЖКУ-100 по Разведчика Воробьева и улица Зеленина, на ул. Полковника Старинова на отдельных участках не установлено ни одного светильника, поэтому эти участки улицы нуждаются в установке опор и 11 светильников ЖКУ-100.

В ходе анализа освещенности установлено, что уровень средней освещенности составляет 5,9, 10,6, 3,4 лк соответственно на улицах Разведчика Воробьева, Зеленина, Полковника Старинова, что не соответствует ГОСТ Р 55706-2013 «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы». Для устранения этого недостатка необходимо произвести замену установленных светильников. Участок дороги является аварийным для всех участников дорожного движения, в таком случае, необходимо быть предельно внимательными и сконцентрированными.

Заключение

В ходе анализа освещенности установлено, что уровень средней освещенности микрорайона «Пробуждение» г. Орла не соответствует ГОСТ Р 55706-2013 «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы». Анализ используемых в уличном освещении световых приборов показал, что все источники света имеют как положительные, так и отрицательные стороны. При выборе того или иного светильника необходимо учитывать множество факторов и критериев [3,4]. В качестве технического решения для улучшения освещения дорожной сети предложено использование светодиодных источников света, обладающих рядом положительных преимуществ [5]. Также для приведения уровня освещенности дорожной сети микрорайона к нормативным значениям необходимо установить 11 опор и светильников ЖКУ-100.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курмангалиев, Д.С. Разработка рекомендаций по повышению эффективности работы системы освещения дорожной сети Г. Орла / Д. С. Курмангалиев, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников, Орел, 16 декабря 2020 года / Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина. – Орел: Издательство Картуш, 2021. – С. 258-259. – EDN PQZPD.

2. Энергосберегающий способ управления освещением удаленных от населенных пунктов автодорог и эффективность его применения / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, В. И. Зелюкин, Ю. И. Сидоренкова // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68. – № 3(44). – С. 29-36. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-3-29-36. – EDN ZACCAS.

3. Патент № 2763116 С1 Российская Федерация, МПК F21S 9/00, H05B 39/04. Способ энергосберегающего управления освещением участков автомобильных

дорог : № 2021112513 : заявл. 29.04.2021 : опубл. 27.12.2021 / А. В. Виноградов, В. И. Зелюкин, А. В. Виноградова ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – EDN FYLJZN.

4. Патент № 2754355 С1 Российская Федерация, МПК В60Q 1/14, H05B 47/105, F21S 9/00. Система автоматизированного энергосберегающего управления освещением участков автомобильных дорог : № 2020131300 : заявл. 23.09.2020 : опубл. 01.09.2021 / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, Ю. И. Левочкина [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ". – EDN UQTHAR.

5. **Гладков, О.Б.** Концепт-проект сверхъяркого светодиодного прожектора с жидкостным линзовым концентратором светового луча и иммерсионной системой охлаждения / О. Б. Гладков, Р. П. Беликов, В. А. Чернышов // Физика и современные технологии в АПК : материалы XI Всероссийской молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников с международным участием, Орел, 19 февраля 2020 года. – Орел: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2020. – С. 378-381. – EDN EVDIDT.

Ключевые слова: освещенность, уличное освещение, соответствие нормативным значениям, люксметр.

Васильев Антон Павлович – обучающийся 3 курса, гр. АИБ-303, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Потетюлькин Евгений Игоревич – обучающийся 3 курса, гр. АИБ-303, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Грибакин Александр Владимирович - преподаватель ФКП образовательное учреждение № 69

e-mail: toha767@yandex.ru

Адрес: г. Орел, ул. Генерала Родина, 69.

УДК 621.3

УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОВОДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

В.С. Деревнина, Зацепина В.И.

В данной работе определяется актуальность использования проводов нового поколения, сравниваются характеристики существующих проводов, а также

выбирается наиболее выгодный с экономической и практической точки зрения провод из предложенных для сравнения.

Введение

От степени надежности зависит состояние энергосистемы в целом. Одними из самых ненадежных элементов электрической системы являются воздушные линии электропередачи. [1] Воздушная линия электропередач состоит из таких элементов как опора, траверса, изоляторы и провода. Каждый из этих элементов имеет свою вероятность отказа. Процентное соотношение отказов: провода – 52%, изоляторы – 31%, опоры – 13%, арматура – 4 %. [2]

Таким образом, самым ненадежным элементом являются провода. Поэтому из-за низкой надежности проводов складывается актуальность проблемы. Одним из способов повышения надежности проводов является замена проводов АС на более современные провода нового поколения.

Разработка проводов нового поколения с использованием предоставит возможность:

- увеличить пропускную способность линий электропередач вследствие уменьшения удельного сопротивления провода;
- повысить надёжность работы ВЛ из-за увеличения механической прочности провода;
- исключить образование гололёда и пляски проводов в связи с увеличением термостойкости провода. [3]

Таким образом, использование данных проводов является актуальной и перспективной темой для развития.

Целью работы является выявить наиболее перспективный вид проводов нового поколения. Для этого необходимо провести анализ существующих на рынке проводов нового поколения и сравнить их характеристики с проводом АС.

Анализ существующих проводов нового поколения

Отечественная промышленность располагает достаточным производственным потенциалом для выпуска современных типов проводов, со значительно меньшей стоимостью по сравнению с проводами зарубежных производителей. [4] Примером применения проводов нового поколения является строительство Крымского энергомоста, успешно завершённое в этом году, полностью выполнено (в части воздушных линий) с проводами марки АААС-Z455-2Z производства российской компании «Ламифил». [5]

Представим в таблице характеристики находящихся в продаже провода нового поколения некоторых марок, в том числе компании «Ламифил». Сравним их со сталеалюминиевым проводом марки АС. Сведем данные в таблицу 1.

Сравним характеристики проводов и сделаем выводы. Провод марки АС обладает наибольшим диаметром, а марки АААС – наименьшим. С увеличением диаметра провода при обледенении провода масса льда становится больше, а воздействие ветра сильнее. При этом чем больше диаметр, тем ниже потери на

корону и радиопомехи. Но провода нового поколения с меньшим диаметром имеют гладкую внешнюю поверхность, что приводит к существенному снижению потерь на корону в современных проводах. Напряженность электрического поля, при котором начинается коронный разряд, у провода Aero-Z примерно на 15% выше, чем у обычного провода.

Таблица 1

Провода нового поколения в сравнении с проводом AC

	AC 240/39	ACCC Monte Carlo 240	AACSRZ 251	AAAC-Z242- 2Z
Наружный диаметр провода, мм	21,6	20,79	19,1	18,9
Масса провода, кг/м	0,952	0,814	0,875	0,687
Модуль упругости провода, Н/мм ²	82500	71600	74900	56800
Максимальная рабочая температура провода, °C	90	175	90	90
Номинальный ток, А	610	1085	651	693

Сравним характеристики проводов и сделаем выводы. Провод марки AC обладает наибольшим диаметром, а марки AAAC – наименьшим. С увеличением диаметра провода при обледенении провода масса льда становится больше, а воздействие ветра сильнее. При этом чем больше диаметр, тем ниже потери на корону и радиопомехи. Но провода нового поколения с меньшим диаметром имеют гладкую внешнюю поверхность, что приводит к существенному снижению потерь на корону в современных проводах. Напряженность электрического поля, при котором начинается коронный разряд, у провода Aero-Z примерно на 15% выше, чем у обычного провода.

Провод марки AC обладает наибольшей массой, а марки AAAC – наименьшей. Это значит, что провод AC должен иметь лучшую стойкость к пляске и вибрации, а провод AAAC иметь наименьшую статическую нагрузку на опору и арматуру. Но в проводах нового поколения за счет более гладкой внешней структуры провода имеют примерно на 30-35 % меньшее аэродинамическое сопротивление ветровым нагрузкам по сравнению с обычным проводом. Этот факт приводит к резкому снижению пляски проводов.

Чем выше модуль упругости, тем меньше стрела провеса и амплитуда при сбросе гололёда. Чем меньше – меньше динамическая нагрузка на опоры и

арматуру. Таким образом, провода нового поколения меньше воздействуют на опору, как в статике, так и в динамике.

Максимальная рабочая температура проводу напрямую связана с длительным предельно допустимым током. Чем выше номинальный ток, тем выше пропускная способность провода.

На основании проведенного анализа, можно сказать, что в проводах нового поколения учтены и доработаны недостатки провода АС. Провод АААС-Z имеет наименьшую статическую и динамическую нагрузку на опору и арматуру. А провод АССС наибольшую пропускную способность. При установке усиленной арматуры использование провода нового поколения АССС на высокие напряжения является наиболее целесообразным.

Выводы

Таким образом, был произведен анализ рынка проводов нового поколения компании «Ламифил». Рассмотрены три альтернативных провода и сравнены их характеристики с проводом АС. Наиболее перспективными были выбраны провода марки АССС и АААС-Z, поскольку провод АССС имеет наибольшую пропускную способность, а провод АААС-Z – наиболее важные характеристики для увеличения надежности линии. Однако окончательный выбор провода делается на основании параметров трассы, климатических условий и тока нагрузки.

Результаты

Применение современных типов проводов позволит увеличить надежность линии электропередач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Выявление климатических факторов, влияющих на надежность воздушных линий электропередачи [Текст] / О.Е.Кондратьева, Е.М. Мясникова, О.А. Локтионов, Д.А. Воронков // Управление качеством на этапах жизненного цикла технических и технологических систем: сб.науч.тр. / Национальный исследовательский университет «МЭИ». – Курск, 2019. - С. 373-377.

2. Чеканова М.А. Современные методики и технологии, направленные на повышение надежности работы воздушных линий электропередачи. [Текст] / М.А. Чеканова // Молодежь и научно-технический прогресс: сб.науч.тр. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. – Губкин, 2018. - С. 193-196.

3. Необходимость создания проводов нового поколения для линий электропередач [Текст] / Ю.В.Пискунов, Р.Г. Шакиров, Н.Ф. Ахметов, А.Ф. Габитов // Исследования и разработки молодых ученых: наука и практика: сб.науч.тр. / «Уфимский государственный авиационный технический университет». –Новосибирск, 2017. - С. 61-67.

4. Пехтелева В.Р. Провода нового поколения российского производства [Текст] / В.Р. Пехтелева, Е.Д. Осминкин, Н.Ю. Шевченко // Инновации в науке и практике: сб. науч. тр. / КТИ (филиал) ВолгГТУ. – Барнаул, 2018. – С. 225-230.

5. Федоров Н. А. Провода нового поколения и вопросы надежности ЛЭП [Текст] / Н. А. Федоров // Вопросы надежности работы систем электроснабжения в условиях гололедно-ветровых нагрузок: сб. науч. тр. / Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2017. – С. 42-49.

Ключевые слова: провод, погонное сопротивление, медь, воздушная линия.

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования.

Деревнина Виктория Сергеевна – студент 1 курса магистратуры кафедры электрооборудования.

e-mail: Viktoriaderevnina7962@gmail.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

УДК 621.3

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАЧАЛЬНОГО ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДЕТАНДЕРА

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

В.Я. Губарев, А.Г. Арзамасцев, А.Ю. Картель

Природный газ является одним из перспективных видов топлива, исходя из его физико-химических свойств, экологичности и энергетической эффективности. Поэтому вопросы энергосбережения в газовой отрасли являются перспективными и актуальными. Одним из способов энергосбережения в газовой отрасли является использование турбодетандеров. При расширении газа в детандере, его давление и температура снижаются, что при определенном начальном влагосодержании может приводить к образованию кристаллогидратов. В качестве решения этой проблемы всегда использовался подогрев, т.к. применение «холодного» газа в энергетике не находило своего места. В связи с разработкой новых направлений использования детандер-генераторных агрегатов (ДГА) в энергетике, появилась необходимость определения границы образования кристаллогидратов, а также анализ способов борьбы с ними, для получения «холодного» газа. В статье исследована зависимость величины начального влагосодержания на эффективность работы детандера.

Введение

Природный газ в настоящее время занимает существенную долю в топливно-энергетическом балансе Российской Федерации. В связи с этим актуальной темой является повышение эффективности энергетических предприятий, работающих на природном газе, а также объектов газотранспортной сети [1].

Теория вопроса

Точка росы не является постоянной величиной и может существенно изменяться в зависимости от величины начального влагосодержания газа. Согласно СТО [2], точка росы газа в умеренном климате должна быть не выше -10°C , что соответствует (при давлении в магистральном газопроводе 3,92 МПа) величине максимального значения влагосодержания газа $d_0^{\max} = 0,082 \text{ г/кг}$ сухого газа.

Процесс расширения газа в детандере сопровождается уменьшением его температуры до нескольких десятков градусов Цельсия ниже нуля. В случае падения температуры газа ниже точки росы для данного давления и влагосодержания возможна конденсация паров влаги и образование кристаллогидратов, что существенно ухудшает работу детандера и может привести к выходу его из строя [3].

Методика проведения исследований

Так как в детандере изменяются как давление, так и температура газа, для определения значений точки росы необходимо для каждой иметь методику по расчету значения максимального влагосодержания для процесса расширения газа в детандере, при котором пары воды в газе переходят в состояние насыщения. Расширение газа будет происходить до тех пор, пока начальное влагосодержание газа d_0 не сравняется с максимальным значением d_{\max} при текущих значениях давления и температуры в процессе расширения. При выполнении условия равенства $d_0 = d_{\max}$, температура $T_{\text{доп}}^{\text{вых}}$ и давление $P_{\text{доп}}^{\text{вых}}$ газа являются минимально допустимыми значениями на выходе из детандера по условию предотвращения конденсации паров воды [4].

Описание метода исследований

Для определения допустимого давления газа на выходе из детандера необходимо иметь методику определения максимального влагосодержания от температуры газа для процесса расширения.

Действительная удельная работа детандера при расширении газа находится по известной формуле:

$$l_{\text{дет}} = c'_p \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}^{\text{действ}}) = c'_p \cdot (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}^{\text{ид}}) \cdot \eta_{\text{д}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ид}} = T_{\text{ВХ}} \cdot \left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \right)^{\frac{k-1}{k}}$ – температура газа на выходе из детандера для адиабатного процесса расширения, К; $T_{\text{ВЫХ}}^{\text{действ}}$ – действительная температура газа на выходе из детандера, К.

Тогда действительная температура газа в конце процесса расширения может быть выражена из (1), что дает зависимость:

$$T_{\text{ВЫХ}}^{\text{действ}} = T_{\text{ВХ}} \cdot \left(1 - \left(1 - \left(\frac{T_{\text{ВЫХ}}^{\text{ид}}}{T_{\text{ВХ}}} \right) \right) \cdot \eta_{\text{д}} \right). \quad (2)$$

Максимальная удельная работа в детандере достигается при расширении газа от входного давления $P_{\text{ВХ}}$, равного давлению газа на входе в ГРП, до минимального значения выходного давления $P_{\text{ВЫХ}}^{\text{min}}$, равного или чуть большего давлению газа в топливосжигающих агрегатах. Если расширение газа в детандере происходит до давления $P_{\text{ВЫХ}}^{\text{min}}$, то можно говорить о полном использовании располагаемого перепада давления.

Для полного использования располагаемого перепада давлений формула (2) принимает вид:

$$T_{\text{ВЫХ}}^{\text{min}} = T_{\text{ВХ}} \cdot \left(1 - \left(1 - \left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}^{\text{min}}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) \cdot \eta_{\text{д}} \right). \quad (3)$$

При расчете значения максимального влагосодержания газа для процесса его расширения в детандере задаемся значениями температуры T в интервале от минимально возможной температуры на выходе из детандера $T_{\text{ВЫХ}}^{\text{min}}$ до входной температуры $T_{\text{ВХ}}$.

Для значения температуры T из данного интервала находим с учетом (2) соответствующее ему давление газа:

$$P_{\text{Г}} = P_{\text{ВХ}} \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{ВХ}} - T}{T \cdot \eta_{\text{д}}} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (4)$$

На рисунке 1 приведены зависимости величин входного и выходного давлений газа в ДГА от величины начального влагосодержания газа.

Удельная действительная полезная работа ДГА при наличии ограничений по выходному давлению для влажного газа вычисляется по формуле:

$$l_{\text{дга}}^{\text{действ}} = c'_p \cdot T_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{\text{ВЫХ}}^{\text{доп}}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{э.м.}}. \quad (5)$$

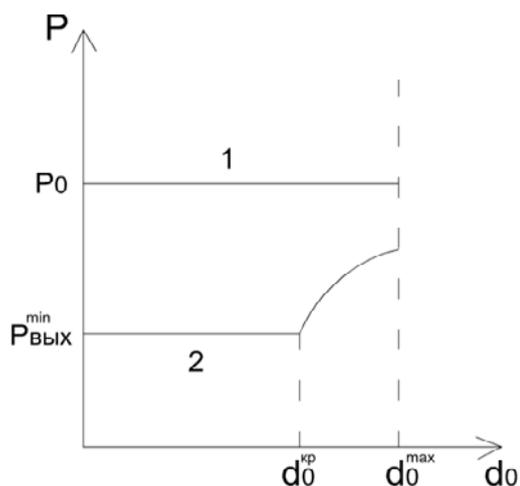


Рис. 1. Зависимость величин входного и выходного давлений газа в ДГА от начального влагосодержания газа: 1- входное давление; 2- выходное давление.

Удельная полезная работа ДГА при полном использовании располагаемого перепада давлений влажного газа с учетом выражения (10) будет определяться по формуле:

$$l_{\text{дга}}^{\text{max}} = c'_p \cdot T_0 \cdot \left[1 - \left(\frac{P_{\text{вых}}^{\text{min}}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \cdot \eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{э.м.}} \tag{6}$$

Предлагается ввести коэффициент эффективности детандера $k_{\text{дет}}$, который будет находиться по формуле:

$$k_{\text{дет}} = \frac{l_{\text{дга}}^{\text{действ}}}{l_{\text{дга}}^{\text{max}}} \tag{7}$$

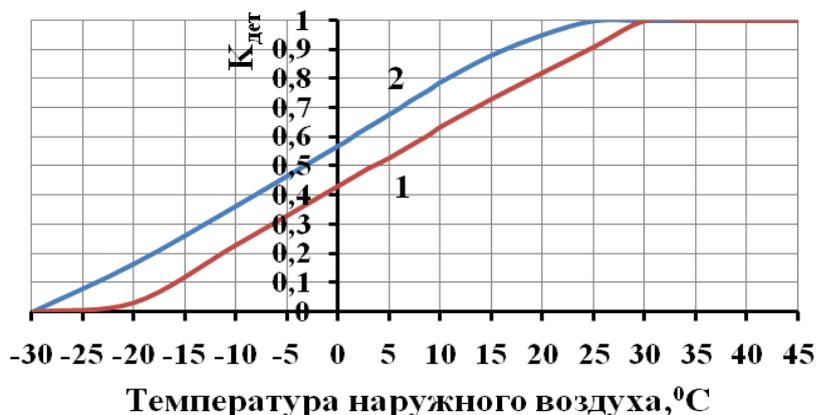


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности детандера от температуры газа для значений входного давления $P_{\text{вх}} = 13 \text{ атм}$: 1-для влагосодержания 40 мг/кг; 2-для максимально допустимого влагосодержания 82 мг/кг

Данный коэффициент равен отношению работы детандера при расширении в нем влажного газа (с учетом ограничений по величине выходного давления) и максимально возможной работы при располагаемом перепаде давлений. Величина коэффициента эффективности $k_{дет}$ определяется тремя параметрами газа: входными температурой и давлением, а также начальным влагосодержанием.

На рисунке 2 представлена зависимость $k_{дет}$ от температуры газа на входе в детандер для различных значений влагосодержания.

Заключение

При температуре газа 0°C для значений влагосодержания от 40 до 82 мг/кг удельная полезная работа детандера может уменьшиться по сравнению с максимальным значением при полном использовании располагаемого перепада давлений при величине входного давления 13 атм в 1,7-2,5 раза.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости снятия ограничения по величине выходного давления в период отрицательных температур наружного воздуха для относительно высоких значений начального влагосодержания [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Картель, А.Ю.** Исследование особенностей применения детандер-генераторных агрегатов на когенерационных котельных с двигателями внутреннего сгорания / А.Ю.Картель, В.Я.Губарев, А.Г.Арзамасцев // Вестник ЧГУ. –2018. – №1(82). –С. 20-27.
2. **СТО Газпром 089.2010.** Газ горючий природный, поставляемый и транспортируемый по магистральным газопроводам. Технические условия. – М.,2010. – 4 с
3. **Агабабов, В.С.** Влияние детандер-генераторных агрегатов па тепловую экономичность тепловых электрических станций: дис. ... док. техн. наук: 05.14.14 / В.С. Агабабов. –М., 2003. – 218 с.
4. **Картель, А.Ю.** Анализ энергетической эффективности использования схем с детандер-генераторным агрегатом для когенерационных котельных с двигателями внутреннего сгорания: дис. ... кан. техн. наук: 05.14.01 / А.Ю. Картель. –М., 2020. – 66-75 с.
5. **Патент на полезную модель №162579.** Детандер-генераторный агрегат / В.Я.Губарев, А.Ю.Картель. №2014148549/06, заявл. 21.10.2014, опубл.20.06.2016. Бюл.№17.

Ключевые слова: турбодетандер, влагосодержание природного газа, кристаллогидраты.

Сведения об авторах

Губарев Василий Яковлевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Липецкого государственного технического университета.

Арзамасцев Алексей Геннадьевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Липецкого государственного технического университета.

Картель Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: zetzervam@gmail.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30

УДК 621.3

ГРОЗОПОРАЖАЕМОСТЬ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ПОДСТАНЦИЯХ ИЗ-ЗА ПАССИВНОЙ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Е.К. Хатунцев, В.И. Зацепина

В работе проанализированы способы защиты линий электропередач и высоковольтных электроустановок на подстанциях, приведено сравнение двух типов защит, предложен эффективный способ защиты оборудования на подстанции.

Введение

Электрооборудование на подстанциях, а также линии электропередач подвержены воздействию атмосферным перенапряжениям из-за прямых ударов молний или индуктивным влиянием близких грозовых разрядов. В зависимости от города, среднеквадратичная продолжительность гроз может достигать 100 и более часов. Задачей в работе выступает необходимость модернизация защит на всех подстанциях, независимо от атмосферного региона.

Анализ методов защит на подстанции

По принципу действия молния индуцирует перенапряжение, которое создаёт бегущий импульс тока и напряжения, распространяющегося по линии подобно импульсам, вызванных прямыми ударами молнии в ЛЭП. Для каждого случая были реализованы различные виды защиты. В нашем случае необходимо рассмотреть два типа защит: активная и пассивная [1]. Особенность активного

молниеотвода заключается в его зоне защиты, которая покрывает всю площадь подстанции, имея всего три молниеотвода, как представлено на рисунке 1.

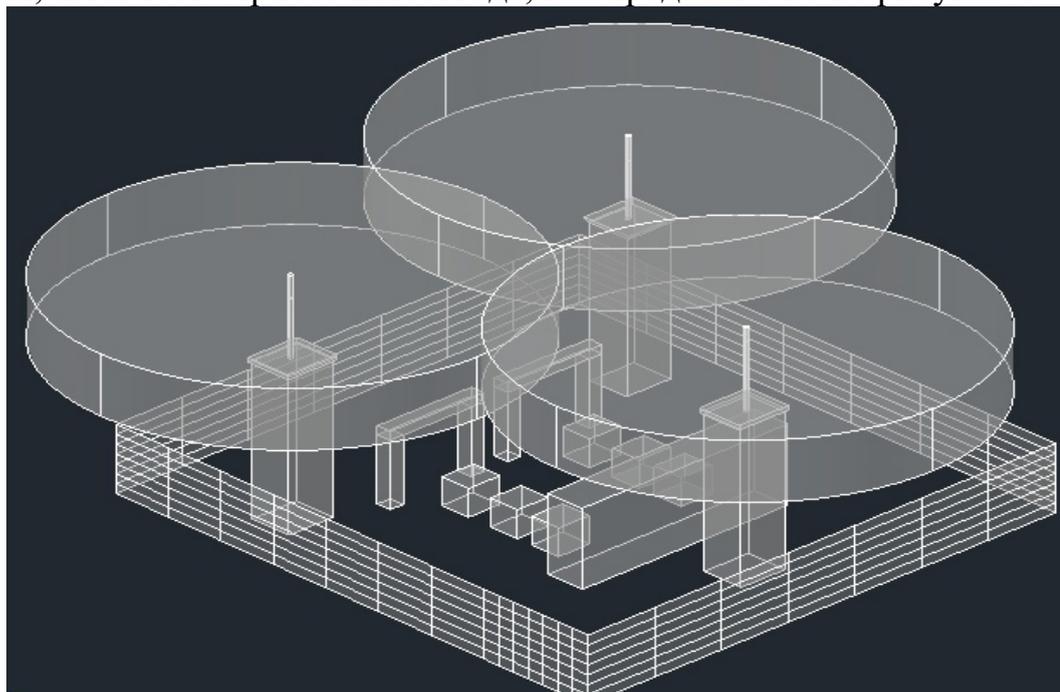


Рис. 1. Зоны защиты активных молниеотводов

Если рассматривать зону защиты у пассивного молниеотвода, то тут даже при наличии 4 молниеотводов наблюдается неспособность качественно обеспечить защиту. На рисунке два мы наблюдаем зону защиты с использованием 4 молниеотводов, синим отображены участки, которые подвержены прямому попаданию молнии из-за пассивной молниезащиты.

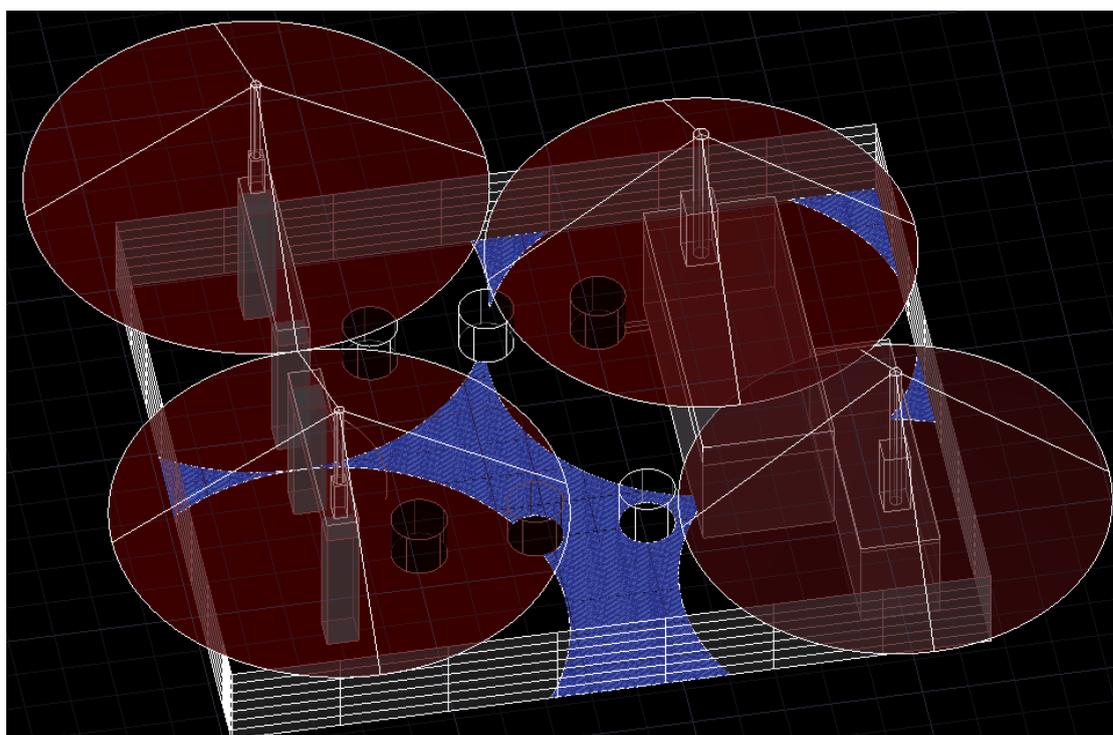


Рис. 2. Зоны защиты пассивных молниеотводов

Остальные особенности и недостатки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение двух типов защит

Тип молниеотвода	Зона безопасности	Зона защиты	Количество токоотводов и заземлителей	Стоимость	Монтаж
Стержневой молниеотвод (пассивный)	Зона безопасности в 2 раза меньше	Зона защиты в 3-4 раза меньше	От одного до двух	От 70 000 руб.	От 7 до 11 дней
Активный молниеотвод	Зона безопасности в 4 раза больше	Зона защиты в 8-9 раз больше	От двух и больше	От 100 000 руб.	1-2 дня

Вывод

Переход от пассивной молниезащиты к активной способствует обеспечению надежной защите линий электропередач и электроустановок на подстанциях, а также позволит сократить как потери электроэнергии, так и позволит сэкономить средства на ремонт оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений** / Под научной редакцией Н.Н.Тиходеева С-П.: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999.

Ключевые слова: провод, погонное сопротивление, медь, воздушная линия, молниеотвод.

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования.

Хатунцев Евгений Константинович – студент 1 курса магистратуры кафедры электрооборудования.

e-mail: evgenyhatuntzev@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Трофимова Е.Р., Зацепина В.И.

Сложность энергосистемы в сочетании с постоянно растущим спросом на электроэнергию создает необходимость в эффективном анализе и управлении энергосистемой. Эволюция старой системы к новой интеллектуальной энергосистеме усиливает эту потребность из-за большого количества датчиков и исполнительных механизмов, которые необходимо контролировать и управлять, новых типов распределенных источников энергии, которые необходимо интегрировать, и новых типов нагрузок, которые необходимо поддерживать. В данной работе интеллектуальная сеть была разработана с помощью MATLAB/SIMULINK для анализа активной мощности. Анализ активной мощности дает точное представление о диапазоне максимально допустимых нагрузок, которые могут быть подключены к соответствующим шинам. Smart Grid, рассматриваемая как энергосистема следующего поколения, использует двусторонний поток электроэнергии и информации для создания широко распространенной автоматизированной сети доставки энергии. Цель данной работы моделирование интеллектуальной сети на основе солнечной и ветровой энергии. Задачей работы является предложение и моделирование использования солнечных батарей на промышленных предприятиях.

Методика проведения исследований

Интеллектуальная сеть - это интеграция традиционной электрической сети 20-го века с новейшими телекоммуникационными и информационными технологиями 21-го. Такая интеграция позволяет эффективно использовать ресурсы для оптимизации энергопотребления, устанавливать и управлять распределенными источниками энергии, а также обмениваться произведенной энергией. Другими словами, поток энергии и связь будут двусторонними. Многие коммунальные компании по всему миру начали устанавливать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия, рядом с местами потребления. Кроме того, владельцы жилых домов начали устанавливать в своих помещениях умные бытовые приборы и возобновляемые источники энергии для эффективного производства и потребления электроэнергии [1].

Поскольку концепции интеллектуальных сетей стали быстро развивающейся темой исследований и разработок в последние несколько лет, пользователи интеллектуальных сетей общаются в двустороннем направлении, используя несколько беспроводных и проводных протоколов связи, таких как Zigbee, WiFi,

Homeplug, ЛЭП, GPRS, WiMax, LET, Lease line и Fibers [5,6]. Несколько пакетов программного обеспечения были обновлены, и многие из них находятся в стадии разработки, чтобы приспособиться к новой эксплуатации, обслуживанию и управлению сетью, например, система управления распределением (DMS), географические информационные системы (GIS), системы управления отключениями (OMS), информационные системы для клиентов (CIS) и системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA) [2].

В результате развития интеллектуальных сетей появились новые технологии, позволяющие сократить количество протоколов связи и обрабатывать большие объемы данных. Интернет вещей (IoT) является одной из самых последних технологий, способствующих развитию интеллектуальных сетей [3].

Было проведено несколько исследований, касающихся ветряных турбин и ветрогенераторов. В данном исследовании предлагаемая модель ветровой турбины основана на характеристиках зависимости скорости ветра от выходной мощности ветровой турбины. Общая математическая модель солнечного элемента изучалась в течение последних трех десятилетий. Схема модели солнечного элемента, которая состоит из фототока, диода, параллельного резистора (ток утечки) и последовательного резистора. Схема показана на рисунке 1

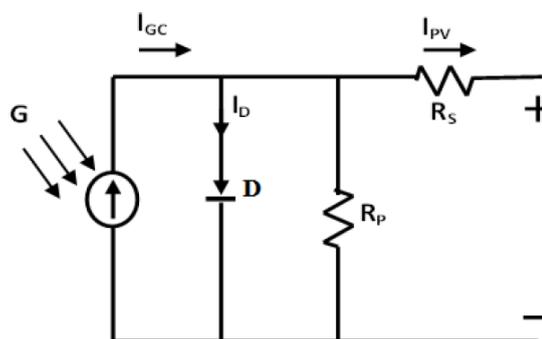


Рис. 1. Эквивалентная схема фотоэлемента с одним диодом

Существует четыре основные части интеллектуальной системы, которые будут работать вместе, чтобы преодолеть все те проблемы, которые являются недостатками предыдущих систем.

1. Система Умный дом.
2. Умный счетчик.
3. Городской сервер.
4. Главный сервер.

Умный дом — это дом клиента, который состоит из умных приборов. Приборы становятся умными благодаря установке умной беспроводной карты. Схема умной беспроводной карты состоит из следующих элементов.

1. Цифровой измерительный прибор.
2. Микроконтроллер.
3. Датчик.
4. Простая беспроводная карта [4].

Городской сервер (TS) является базовой единицей интеллектуальной системы управления. Фактически, это центральный компьютер и полноценный сервер, который способен принимать решения за всех своих пользователей. TS подключен к главному серверу (MS). Городской сервер отправляет рассчитанные до этого времени единицы мощности на MS после каждого часа, так что все данные остаются сохраненными на MS., в то время как TS хранит данные только за текущий месяц. Это необходимо для эффективной работы, так как пока проходит текущий месяц, TS удаляет свои данные, потому что MS имеет все данные предыдущего и текущего месяца до этого времени.

TS может быть подключена или не подключена непосредственно к интеллектуальной сети или к обычной электростанции, или к обеим. Это зависит от конкретного района на основе дешевого и надежного производства электроэнергии в этом районе. Связь между TS и интеллектуальной сетью такая же, как и связь главного центрального компьютера интеллектуальной сети с системой интеллектуальной сети [5].

Главный сервер (MS) является центральным устройством, вокруг которого работает вся система. Он хранит результаты измерений, счета, записи, данные клиентов, топологию разделения всей мощности интеллектуальной сети/электростанций для своих городских серверов и т.д.

Результаты экспериментов

Чтобы понять принцип работы интеллектуальной сети, рассмотрим следующую ситуацию. Вся наша система состоит из двух домов, двух предприятий легкой промышленности и остальной электрической сети. Набор системы был смоделирован для симуляции. На рисунке 2 показан блок моделирования системы в среде Matlab / Simulink.

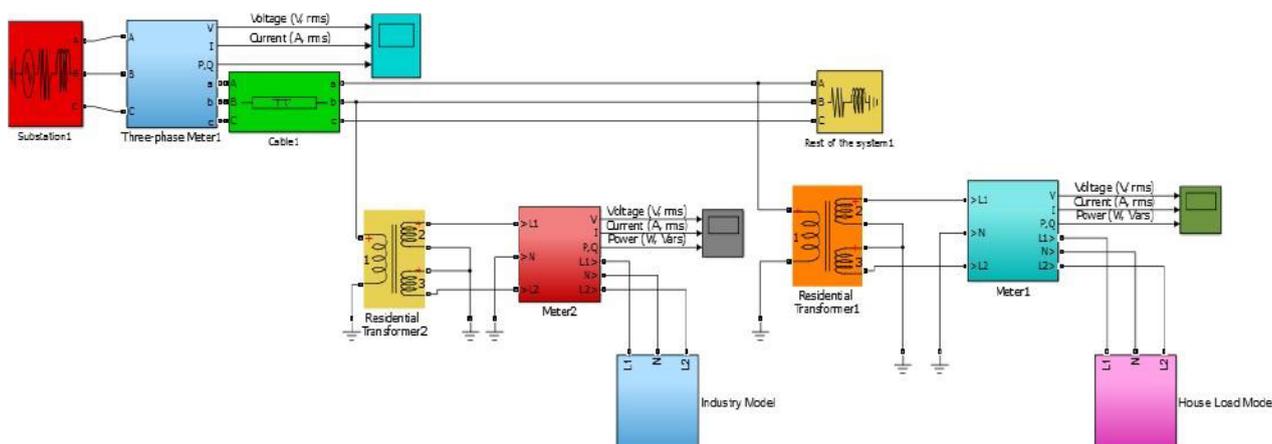


Рис. 2. Блочное моделирование для системы интеллектуальных сетей

После проведения моделирования мы получили следующие результаты. Первый дом, показанный на рисунке 2, питается от двух видов энергии, ветровой энергии мощностью 4 кВт и общей электрической сети GEN. Его кривая нагрузки описывается следующим образом.

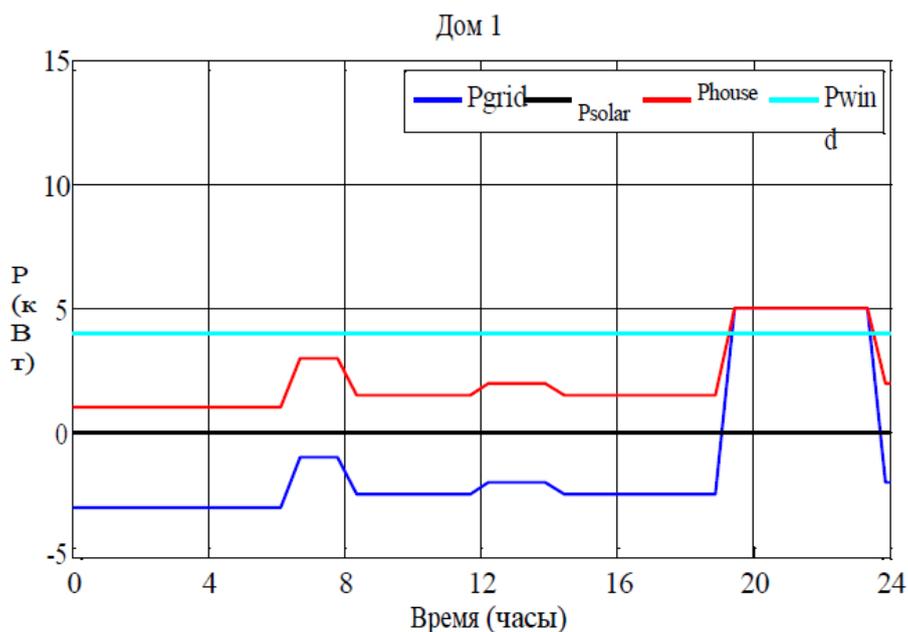


Рис. 3. Результаты моделирования первого дома

Заключение

Предлагаемая модель предполагает использование обоих видов солнечной и ветровой энергии при нормальных условиях эксплуатации и объясняет обмен энергией между потребителями и GEN. Стоимость электроэнергии не принимается во внимание, но различные потребители могут выбирать самую дешевую энергию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **F. M. Guangul, S. A. Sulaiman, and A. Ramli**, "Effect of Preheating the Gasifying Inlet Air on the Hydrogen Output in Oil Palm Fronds Gasification," *Advanced Materials Research*, vol. 1113, 2015.
2. **Григораш, О.В.** Возобновляемые источники электроэнергии: термины, определения, достоинства и недостатки / О. В. Григораш, Ю. П. Степура, А. Е. Усков, А. В. Квитко // Труды Кубанского государственного аграрного университета, 2011. - № 5 (32). - Краснодар. - С. 189-192
3. **Попель О.С.** Возобновляемые источники энергии в регионах Российской Федерации: проблемы и перспективы // Энергосовет, 2011. №5(18). С. 22 - 26.
4. Understandsolar. (2018, November 6). Top 7 Disadvantages of Solar Energy. Available: <https://understandsolar.com/advantagesvs-disadvantages-solar-power/>
5. **К. Touafek et al.**, "Improvement of Energy Efficiency of Solar Hybrid Water Collectors," 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC), 2017, pp. 1-4.

Ключевые слова: Интеллектуальная сеть, альтернативные источники питания, smart grid, промышленное предприятие.

Сведения об авторах

Трофимова Елизавета Романовна – магистрант кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: r.trofimova.e@mail.ru

Адрес: город Липецк, ул. Московская, д.30.

УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКА СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

А.Е. Кудрявцев, В.И. Зацепина

Гибридное распределение электроэнергии переменного и постоянного тока стало тенденцией развития распределительной сети. Для повышения гибкости работы гибридной системы распределения электроэнергии переменного и постоянного тока в данной статье предлагается гибкая подстанция, спроектированная в качестве интерфейсного устройства. Она состоит из портов переменного и постоянного тока высокого/низкого напряжения. Кроме того, она может одновременно обеспечивать преобразование напряжения и электрическую изоляцию, а также может осуществлять управление потоком мощности между сетью и нагрузкой. Проанализированы топология и основной принцип работы гибкой подстанции.

Введение

С развитием распределенной генерации доля мощностей по регенеративной выработке электроэнергии на стороне пользователя распределительных сетей продолжает увеличиваться [1-2]. Кроме того, все более серьезными становятся требования к альтернативным источникам питания, к нагрузкам постоянного тока. Следовательно, увеличивается спрос на двустороннее взаимодействие между сетью и пользователями, распределительной сетью высокого и среднего напряжения, распределительной сетью среднего и низкого напряжения.

По сравнению с системой распределения электроэнергии переменного тока, гибридная система распределения переменного/постоянного тока стала более перспективной благодаря преимуществам относительно нестабильности, высокой эффективности передачи, надежного регулирования и экономной передачи электроэнергии. Обычная подстанция в основном предназначена для преобразования уровня напряжения. В дополнение к решению вопроса преобразования напряжения, гибридная распределительная сеть переменного и постоянного тока должна решать вопросы управления потоками для повышения гибкости эксплуатации. Для внедрения более сложной гибридной распределительной сети переменного и постоянного тока необходимо использовать новое поколение подстанций с широким спектром новой силовой электроники.

Теория вопроса

Топология схемы гибкой подстанции состоит из модульного многоуровневого преобразователя (MMC), двунаправленных изолированных преобразователей постоянного тока и четырехпозиционных преобразователей переменного тока в постоянный [3]. Двунаправленные изолированные преобразователи постоянного тока подключены в режиме последовательного ввода-вывода параллельно (ISOP). В этой гибкой системе функция MMC заключается в преобразовании трехфазного переменного напряжения на стороне высоковольтного переменного тока (HVAC) в постоянное напряжение на стороне HVDC. Поскольку подмодули (SMs) в MMC соединены последовательно, это определяет, что эта гибкая подстанция может быть расширена. Функция двунаправленного изолированного преобразователя постоянного тока ISOP в середине заключается в преобразовании высокого постоянного напряжения, получаемого от MMC, в постоянное напряжение на стороне низкого напряжения постоянного тока (LVDC), и это также может помочь достичь электрической изоляции стороны HVDC и стороны LVDC. Четырехфазный преобразователь переменного / постоянного тока используется для преобразования низкого постоянного напряжения в трехфазное переменное напряжение на стороне LVAC для пользователей. Кроме того, если требования к применению на стороне LVAC отличаются, например, требуется только однофазный переменный ток, T-NPC может быть заменен другими подходящими преобразователями.

Методика проведения исследований

Типичная схема гибкой подстанции, подключенной к гибридной системе распределения переменного и постоянного тока, показана на рисунке 1. Гибкая подстанция имеет четыре порта шины, которыми являются порт шины HVAC, порт шины HVDC, порт шины LVAC и порт шины LVDC соответственно. Интерфейс HV состоит из порта шины HVAC и порта шины HVDC, которые могут подключаться к сети напрямую. С помощью интерфейса LV, состоящего из порта шины LVAC и порта шины LVDC, можно получить доступ к блокам

распределенной генерации (DG) (таким как фотоэлектрические и ветряные турбины) и блокам накопления энергии (таким как батареи, суперконденсаторы и топливные элементы). Можно видеть, что различные сети в гибридной системе распределения переменного и постоянного тока могут резервировать друг друга, и стабильность всей системы может быть эффективно повышена за счет гибкого доступа к подстанции.

Подключение порта шины HVAC к порту шины HVDC осуществляется с помощью выпрямительной части MMC. Он использует стратегию управления с двойным замкнутым контуром, которая заключается в управлении внешним кольцом постоянного напряжения и внутренним кольцом переменного напряжения. Внешний контур напряжения стабилизируется PI-контроллером, который выдает опорное значение активного тока.

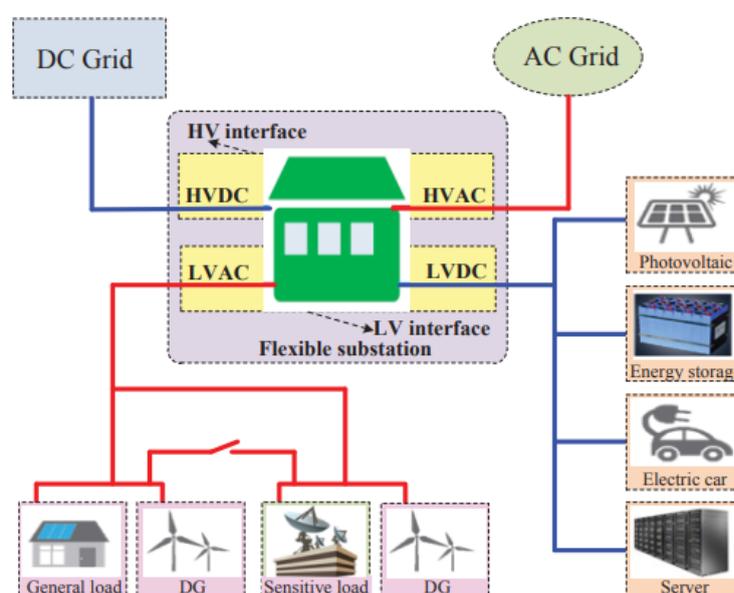


Рис. 1. Концептуальная схема гибридного распределения переменного/постоянного тока

Описание метода исследований

В наши дома поступает напряжение 220 В переменного тока, а блоки питания преобразуют входящее напряжение 220 В переменного тока в 24 В или 5 В постоянного тока, что дает четкое представление о возможности прямой передачи электрической энергии от соответствующих источников питания, без промежуточных звеньев, что является основой для анализа возможности создания сети постоянного тока 24 В на базе солнечных панелей.

Основные электрические нагрузки постоянного тока в концепции нового здания:

- Ноутбук.
- Различные электроинструменты (лобзик, отвертка).
- Телевизор.
- Световая нагрузка (светодиодные лампы).

Сеть переменного тока в данном случае будет являться резервной для подзарядки аккумуляторных батарей, а также будет выступать питающей сетью для крупных потребителей [4]. Напряжение питания составляет 24 В постоянного тока, поскольку это напряжение является наиболее оптимальным из-за его преимуществ в плане безопасности, количества оборудования, требующего именно такого уровня разности потенциалов, и передачи более высоких значений мощности при низких значениях силы тока. Для сравнения были исследованы три уровня напряжения 12, 24, 48 В постоянного тока, наиболее распространенных в вопросе низковольтного распределения электроэнергии. Потери напряжения в сети 12 В являются самыми высокими [5]. Согласно этому критерию, наиболее оптимальными уровнями являются 24, 48 В. Следующий критерий заключается в сравнении возможности будущего использования преобразователей постоянного тока. КПД инвертора варьируется от 75% до 95%. Чем выше разница между входным и выходным напряжением, тем ниже КПД. Таким образом, концептуально модель гибридной сети постоянного/переменного тока для питания бытового здания будет выглядеть, как показано на рисунке 2.



Рис. 2. Концепция гибридной сети постоянного/переменного тока

В конечном итоге сеть постоянного тока с питанием от фотоэлектрических панелей будет генерировать электроэнергию для электрических аппаратов, которые не нуждаются в большом количестве электричества, а также солнечные панели будут передавать часть выработанной энергии аккумуляторным батареям.

Заключение

С развитием чистых источников энергии и нагрузок постоянного тока преимущества гибридной распределительной сети переменного и постоянного

тока по сравнению с традиционной распределительной сетью переменного тока становятся все более заметными. Технология достаточно экономична и позволяет избежать высоких потерь при преобразовании энергии. Также описанная система не так сложна в реализации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **R. Poudineh, T. Jamasb**, “Distributed generation, storage, demand response and energy efficiency as alternatives to grid capacity enhancement, *Energy Policy*, 2014, 67: 222-231.

2. **J. Rodríguez-Molina, J.F. Martínez, P. Castillejo**, “A Study on Applicability of Distributed Energy Generation, Storage and Consumption within Small Scale Facilities,” *Energies*, 2016, 9: 745.

3. **Y. Li, N. Chen, C. Zhao**, “Research on evaluation index system of lowcarbon benefit in AC/DC hybrid distribution network,” In Proceedings of the International Conference on Electricity Distribution (CICED), Xi’an, China, 10-13 August 2016, 1-6.

4. **Чечина А. В.** Альтернативные источники энергии в энергоэффективности системы «Умный дом» / А. В. Чечина, А. Ю. Родичев, Н. В. Токмаков, А. В. Просекова, А. В. Сытин / Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. – 2018. – С. 168-170. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41599078> (дата обращения: 10.12.2021). – Текст: электронный.

5. **Киселева С. В.** Имитационная модель ветроэнергетической установки с гибридным накопителем электрической энергии / С. В. Киселева, А. Б. Тарасенко, С. Г. Игнатъев, В. В. Шакун / Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность. – 2018. – С. 98-103. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36473109> (дата обращения: 10.12.2021). – Текст: электронный.

Ключевые слова: фотоэлектрические панели, гибридная распределительная сеть, автономный режим работы.

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование» Липецкого государственного технического университета.

Кудрявцев Артем Евгеньевич – аспирант кафедры «Электрооборудование» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: tembich001@mail.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30

УДК 621.3

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОСНОВЕ СЛИЯНИЯ МОДЕЛЕЙ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

И.В. Павлов, В.И. Зацепина

Прогнозирование электрической нагрузки играет жизненно важную роль в обеспечении безопасной и стабильной работы энергосистемы, а также обеспечении надежности. Краткосрочное прогнозирование нагрузки является основой работы энергосистемы и обычно используется для составления планов в областях генерации и диспетчеризации. В то же время, точные результаты краткосрочного прогнозирования нагрузки могут снизить стоимость производства электроэнергии и повысить экономическую выгоду.

В данной работе разработана модель краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки на основе слияния моделей. Она была создана путем комбинирования алгоритмов машинного обучения, таких как машина экстремального обучения, XGBoost и нейронной сети. Модель прогнозирования как ожидается, обеспечит точное краткосрочное прогнозирование нагрузки и обеспечит баланс между спросом и предложением в энергосистеме, тем самым обеспечивая экономичное, надежное, качественное и эффективное электроснабжение системы.

Введение

Прогнозирование электрической нагрузки - это изучение закономерностей между достоверными данными и будущими изменениями нагрузки на основе данных, таких как электрическая нагрузка, экономика, метеорология, и т.д. Теоретически, прогнозирование электрической нагрузки заключается в поиске внутренней взаимосвязи между электрической нагрузкой и различными внешними факторами, таким образом, обоснованно предсказывая будущую нагрузку.

Существующие методы прогнозирования в основном делятся на две категории. Одна из них - классический статистический метод, основанный на математической теории, а другой - метод применения искусственного интеллекта на основе технологии машинного обучения. [1] Существует определенная связь между кривой электрической нагрузки и временем. Регулярные колебания электрической нагрузки обеспечивают определенную исследовательскую базу для прогнозирования нагрузки. При прогнозировании электрической нагрузки данные о нагрузке должны быть введены в модель прогнозирования в соответствии со временем. Традиционные методы краткосрочного прогнозирования электрической нагрузки в основном включают

регрессионный анализ, экстраполяцию, временные ряды и т.д., которые основаны на линейном моделировании.

Теория вопроса

В соответствии с продолжительностью цикла прогнозирования нагрузки, процесс можно разделить на долгосрочное прогнозирование нагрузки, среднесрочное, краткосрочное и сверхкраткосрочное прогнозирование нагрузки. [2-3]

Долгосрочное прогнозирование нагрузки обычно берет годы в качестве единицы прогнозирования. Долгосрочная нагрузка на электроэнергию в основном зависит от развития экономики и обычно представляет собой монотонное увеличение без периодических изменений, и точность её прогнозирования, как правило, невысока. Среднесрочное прогнозирование нагрузки обычно берет месяцы в качестве единицы прогнозирования на следующие несколько месяцев или кварталов. На среднесрочную нагрузку, очевидно влияет климат, и в прогнозе учитывается больше факторов, чем в долгосрочном прогнозе, который обычно используется для организации ежемесячного технического обслуживания и некоторых диспетчерских работ. Краткосрочная нагрузка характеризуется очевидной недельной и суточной периодичностью, на которую, очевидно, влияют метеорологические факторы и типы дат. Сверхкраткосрочное прогнозирование нагрузки как правило, основывается на времени и минутах. Влияние температуры отражается на нагрузке, который в меньшей степени подвержен влиянию метеорологических факторов. В соответствии с электрической нагрузкой предыдущего периода, прогнозируется электрическая нагрузка в последующие несколько периодов.

Методика проведения исследования

Соответствующие достоверные данные являются важной частью объекта прогнозирования. Основное внимание должно быть сосредоточено на сборе данных о нагрузке за один и тот же период, а также все факторы, влияющие на изменение нагрузки в этот период, такие как погода, праздничные дни, крупные праздники и т.д.

На основе вышеуказанных всеобъемлющих и подробных исторических данных, необходимо "извлечь суть", провести всесторонний анализ этих подробных данных и отбор отсеять данные, которые являются наиболее объективными и значительно влияющими на содержание прогноза. После подготовки и фильтрации данных о нагрузке, проводится всесторонний и детальный анализ характеристик нагрузки объекта.

В соответствии с спецификой объекта, выбирается обоснованный метод прогнозирования и строится математическая модель, приближенная к реальному. [4] Как правило, результаты прогнозирования, рассчитанные с помощью предыдущей моделью прогнозирования, можно сравнить с результатами

полученными другими методами. Их также можно оценить в соответствии с имеющимся опытом и накопленными теоретическими выводами [5].

Описание метода исследований

Сложение — это способ объединения классификационных моделей или регрессионных. Оно состоит из двухслойных оценок. Первый слой состоит из всех базовых моделей, которые используются для прогнозирования результатов на основе тестовых наборов данных. Второй слой состоит из метаклассификатора или регрессора, который принимает все прогнозы базовых моделей в качестве входных данных и генерирует новые прогнозы.

Архитектура смешивания напрямую использует несовпадающие наборы данных для обучения на разных уровнях. Преимущество смешанной заключается в том, что она проще и позволяет избежать утечки информации.

Модель машины экстремального обучения (ЭОМ) - это современный алгоритм быстрого обучения. Для нейронной сети с одной неизвестной и с одним скрытым уровнем, ЭОМ может инициализировать входные значения и смещение случайным образом и получить соответствующий результат на выходе. XGBoost в основном используется для решения задач контролируемого обучения, в которых используются обучающие данные для прогнозирования целевых переменных. Стохастическая модель (СМ) – это концепция информации, энтропии и информации, представляемые в виде дерева решений, это основа для того, чтобы определить порядок выбора признаков, когда дерево решений применяет признаки для будущей классификации.

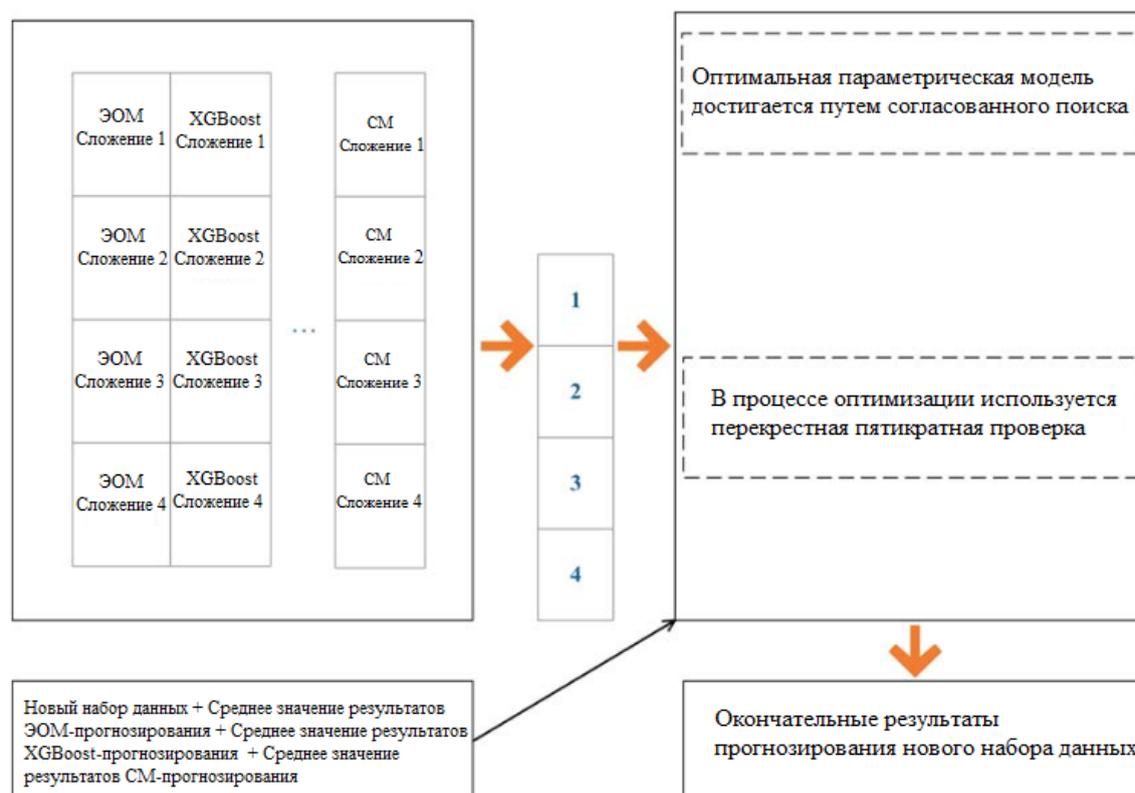


Рис. 1. Модель смешивания на основе четырех отдельных алгоритмов

На первом этапе используются ЭОМ, XGBoost, СМ и нейронная сеть. На втором этапе используется алгоритм линейной регрессии. Перед тем как использовать алгоритм поиска гармонии, необходимо определить следующие параметры: функция описания сложность модели, степень отличия модели, диапазон параметров, установка параметра гармонии, максимальное число итераций, размер библиотеки гармонии и т.д. Когда оптимальная модель определена, вторым шагом является создание модели смешивания. Новые признаки строятся из предсказанного выхода единой модели на первом уровне, вместе с исходными данными в качестве входных данных на втором уровне, а выход из второго уровня является окончательным прогнозируемым результатом. Модель смешивания показана на рис. 1.

Заключение

С увеличением количества обучающих выборок и случайных факторов влияния, процесс оптимизации традиционной модели краткосрочного прогнозирования нагрузки станет очень сложным, легко попасть в локальный оптимум, а стабильность прогнозирования будет невысокой.

Существующие модели краткосрочного прогнозирования нагрузки повысили точность прогнозирования. Однако, работа с мультиколлинеарностью входных переменных во время работы модели является сложной задачей.

Основываясь на недостатках одной модели, комбинированная модель может гибко использовать преимущества различных методов и эффективно улучшить эффективность прогнозирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **H. Wang, Y. Huang, M. Shi, S. Liu**, "Short-term load forecasting model based on multi-model integration". In Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, vol. 1549, no. 5, p. 052007, 2020.

3. **Almehaie, Eisa, and Hassan Soltan**. "A methodology for electric power load forecasting." Alexandria Engineering Journal, vol. 50, no. 2, pp. 137-144, 2011.

4. **W. J. Lee, J. Hong**, "A hybrid dynamic and fuzzy time series model for mid-term power load forecasting". International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 64, pp. 1057-1062, 2015.

5. **X. Liu**, "Research on Short-term Power Load Forecasting Method Based on Machine Learning". Beijing University of Posts and Telecommunications, 2019.

5. **Кассем С. А.** Прогнозирование электропотребления предприятия с применением искусственных нейронных сетей / С. А. Кассем // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2021. Том 7. № 1 (25). С. 177-193.

Ключевые слова: прогнозирование, энергосбережение, потери, нейронные сети, регрессионные модели, классификационные модели.

Сведения об авторах

Павлов Иван Владимирович – студент аспирантуры кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования.

e-mail: grecha1917@gmail.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д.30

УДК 621.3

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ С АКТИВНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ В УСЛОВИЯХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ИХ КОНТРОЛЬ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет»

Аладьин М. Е., Сычев Ю. А.

Приведено описание проблем в современных системах распределенной генерации электрической энергии, а также описаны современные комбинированные системы электроснабжения, подразумевающих параллельную работу централизованных и автономных источников электрической энергии. Дано обоснование актуальности существующих проблем эффективного централизованного управления работой многофункциональных фильтрокомпенсирующих устройств с активными преобразователями в системах комбинированного электроснабжения промышленных предприятий. Произведен анализ перспективных направлений развития технологий распределенной генерации, а также приведены ее ключевые достоинства и недостатки. Приведено описание проблемы качества электрической энергии в условиях комбинированных систем электроснабжения. Представлена и описана структура системы комбинированного электроснабжения на основе централизованных и автономных источников электроэнергии с универсальными многофункциональными компенсаторами, имеющими в своем составе активные преобразователи, а также структура системы управления данными электротехническими комплексами.

Введение

Принципы и технологии работы систем распределенной генерации электрической энергии путем параллельной работы альтернативных и

возобновляемых источников отличаются заметным развитием и распространением за последние три десятилетия как во всем мире, так и в России, в частности. Однако, необходимо акцентировать внимание, что данные системы получения электроэнергии в чистом виде не способны полностью обеспечивать питание потребителей в условиях промышленных предприятий, но они способны резервировать или дополнять имеющиеся централизованные системы электроснабжения ответственных электроприемников, а также данные системы способны питать электричеством домохозяйства и частные дома. Вероятность возникновения аварий более чем оправдала параллельную работу централизованных и автономных источников электроэнергии при питании промышленных предприятий. Также, данная комбинация источников подходит для питания нагрузок, чья непрерывная и устойчивая работа особенно важна для всей технологической цепочки предприятия. Данные системы и называются комбинированными системами электроснабжения промышленных предприятий [1, 2].

В состав электротехнических комплексов распределенной генерации входят многофункциональные фильтрокомпенсирующие устройства с активными преобразователями, являющимися основными управляемыми элементами. Значимую долю в электропотреблении на промышленных предприятиях занимают системы частотно-регулируемого электропривода, представляющих собой нелинейную нагрузку, в которых ключевыми элементами являются также активные преобразователи [3]. Стоит выделить, что данные преобразователи представляют собой главные элементы устройств бесперебойного питания и других подключаемых систем разного рода функционала, например статических компенсаторов реактивной мощности сети, динамических компенсаторов искажения напряжения и фильтров высших гармоник как последовательных, так и параллельных [4-6].

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что активные преобразователи являются важным звеном устойчивой и бесперебойной работы комбинированных систем электроснабжения, а также способны обеспечивать необходимое качество электроэнергии в данных сетях, поскольку являются основными управляемыми элементами современных электротехнических комплексов генерации и потребления энергии [6-8].

Проблема качества электроэнергии в комбинированных системах электроснабжения промышленных предприятий

Проблема снижения качества электроэнергии в комбинированных системах электроснабжения промышленных предприятий выражается в колебаниях частоты и напряжения сети, гармониках тока и напряжения. Колебания возникают по двум причинам: из-за переменного состава источников возобновляемой энергии и электромагнитных помех со стороны централизованной системы электроснабжения [8-10].

Активные преобразователи, используемые в электротехнических комплексах распределенной генерации, являются источниками высших гармоник как тока,

так и напряжения [11, 12]. Международная нормативная база содержит следующие параметры оценки качества электрической энергии в системах с фотоэлектрическими элементами: частота, искажение, уровень и колебания значения напряжения сети. Проблемы качества электрической энергии возникают в случае отклонения значений, приведенных выше параметров от допустимых, тогда активные преобразователи, работающие в составе электротехнических комплексов солнечных источников электроэнергии, должны устранять данные отклонения путем усовершенствования систем управления [13].

Анализ ряда источников показывает, что негативное влияние гармоник со стороны солнечных электростанций несравним с уровнем влияния гармоник со стороны нелинейной нагрузки, но тем не менее в случае попадания первых в сеть, имеет место взаимное усиление негативного воздействия гармоник на энергосистему в целом.

Централизованные системы также могут быть источником гармоник, что обуславливается феррорезонансными явлениями в трансформаторах и реакторах. Ряд исследований также демонстрирует способность линий электропередач и силовых трансформаторов выступать в качестве источников гармонических искажений в определенных режимах работы [14-16].

Структура системы управления и мониторинга активными преобразователями

Структура системы управления и контроля активным преобразователем в условиях комбинированной системы электроснабжения приведена на рисунке 1.

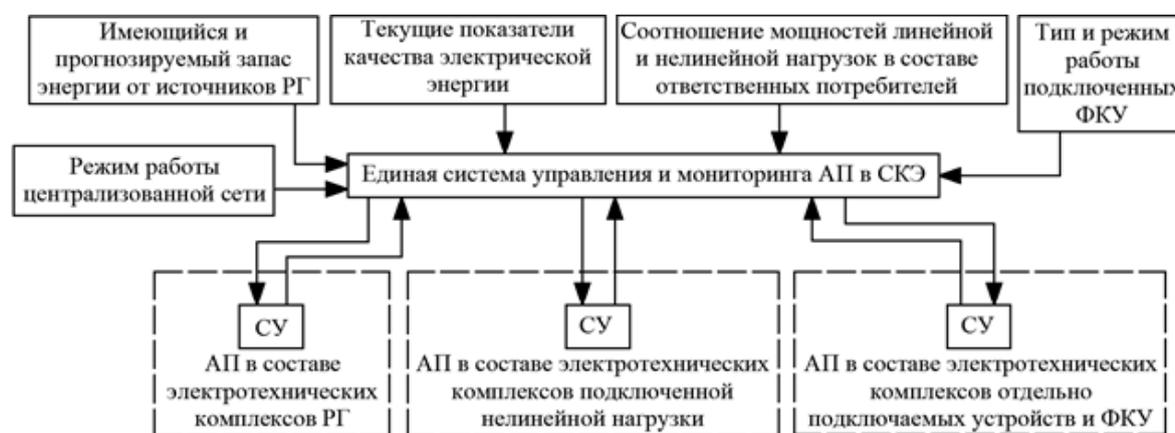


Рис. 1. Структура системы управления и контроля активного преобразователя в условиях комбинированной системы электроснабжения

Главная цель приведенной системы заключается в эффективном управлении и контроле активного преобразователя в составе различных электротехнических комплексов в зависимости от имеющихся факторов, которые характеризуют режимы энергопотребления и обеспечения, а также в зависимости от отдельно подключенных комплексов, содержащих в своем составе многофункциональные компенсаторы и активные преобразователи [18-20].

Исходные данные представлены в виде следующей информации:

- имеющийся и прогнозируемый запас электрической энергии от источников распределенной генерации в зависимости от климатических особенностей, имеющихся неисправностей и количества параллельно функционирующих установок распределенной генерации;

- значения актуальных показателей качества электрической энергии, в том числе уровня высших гармонических составляющих и несимметрии тока и напряжения, отклонения напряжения, коэффициента мощности по первой гармонике и с учетом остальных;

- соотношение мощностей линейной и нелинейной нагрузки в составе различных подключенных потребителей для учета их вклада в показатели формирования несинусоидальных режимов;

- тип, количество и режимы работы подключенных фильтрокомпенсирующих устройств с различной структурой и функциональным назначением.

Приведенная выше система способна собирать и обрабатывать информацию о всех активных преобразователях, входящих в состав комбинированной системы электроснабжения, что крайне необходимо при выборе наиболее рационального режима функционирования активных преобразователей, входящих в состав источников распределенной генерации, а также нагрузки и иных электротехнических комплексов [21-23].

Заключение

Таким образом, в данной работе приведено обоснование актуальности проблемы централизованного управления и управления многофункциональными фильтрокомпенсирующими устройствами с активными преобразователями в системах комбинированного электроснабжения на основе централизованных и автономных источников электроснабжения, выявлены базовые функции активных преобразователей в системах комбинированного электроснабжения, разработана, приведена и дано обоснование структуры единой централизованной системы управления и контроля активными преобразователями в системах комбинированного электроснабжения как в составе многофункциональных фильтрокомпенсирующих устройств, так и в составе электротехнических комплексов распределенной генерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абрамович Б.Н.** Система бесперебойного электроснабжения предприятий горной промышленности / Записки Горного института. 2018. Т.229. С.31-40. DOI: 10.25515/PM1.2018.1.31.

2. **Ляхомский А.В., Перфильева Е.Н., Кутепов А.Г.** Анализ деятельности организаций угольной отрасли по обеспечению повышения энергоэффективности. Уголь. 2021. № 4 (1141). С. 32-36.

3. **Ляхомский А.В., Плащанский Л.А., Решетняк С.Н., Решетняк М.Ю.** Анализ гармонического состава напряжения в подземных электрических сетях высокопроизводительных угольных шахт. Промышленная энергетика. 2021. № 10.
4. **Ляхомский А.В., Петроченков А.Б., Перфильева Е.Н., Ромодин А.В., Мишуринских С.В.** Об оценке электропотребления погружного электрооборудования на физической модели. Промышленная энергетика. 2020. № 8. С. 26-33.
5. **Ляхомский А.В., Петухов С.В.** Энергоэффективность экскаваторных работ угледобывающих предприятий. Промышленная энергетика. 2019. № 1. С. 38-41.
6. **Ляхомский А.В., Фомин В.В.** Моделирование электропотребления технологических переделов железорудных горно-обогатительных предприятий. "Электрификация и энергоэффективность". Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 4. С. 53.
7. **Ustinov, D.A.; Khomiakov, K.A.** Determination of Dynamic Characteristics for Predicting Electrical Load Curves of Mining Enterprises. *Electricity* 2022, 3, 162-181. <https://doi.org/10.3390/electricity3020010>
8. **Шевырев Ю.В., До Тхань Лич.** Обоснование схемы активного фильтра гармоник на основе гибридного каскадного инвертора. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2021. Т. 21. № 2. С. 105-114.
9. **Шевырев Ю.В.** Улучшение качества электроэнергии при работе полупроводникового преобразователя частоты. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. С. 171-178.
10. **Шевченко С.А., Зацепина В.И.** Анализ качества электроэнергии. В сборнике: Энергетика будущего - цифровая трансформация. Сборник трудов II всероссийской научно-практической конференции. Липецк, 2021. С. 127-129.
11. **Кудрявцев А.Е., Зацепина В.И.** Альтернативные источники энергии, как мера повышения энергоэффективности. В сборнике: Энергетика будущего - цифровая трансформация. Сборник трудов II всероссийской научно-практической конференции. Липецк, 2021. С. 265-268.
12. **Зацепина В.И., Астанин С.С.** Методика анализа экономической обоснованности мероприятий по повышению отказоустойчивости систем электроснабжения. Промышленная энергетика. 2021. № 5. С. 2-8.
13. **Кустов А.Н., Зацепина В.И., Бялы В.** Сравнение и выбор оптимальных накопителей в изолированных энергосистемах с возобновляемыми источниками энергии. Вести высших учебных заведений Черноземья. 2021. № 1 (63). С. 95-101.
14. **Garipov B. I., Ustinov D. A.** Simulation of combined power system with storage device. / *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues.*, № 1, 2019. С 1 - 7. DOI: 10.1201/9781003017226-34
15. **Кудрявцев А.Е., Зацепин Е.П.** Альтернативные источники энергии как мера повышения энергетической эффективности. Агротехника и энергообеспечение. 2021. № 4 (33). С. 142-145.

16. **Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Скоморохов П.И.** Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения посредством комбинированного воздействия на искажения напряжения. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2019. Т. 21. № 5. С. 79-86.

17. **Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Скоморохов П.И.** Анализ воздействия негативных сетевых возмущений резкопеременного характера на эффективность функционирования систем электроснабжения. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 4. С. 560-566.

18. **Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Скоморохов П.И., Телегин В.В.** Повышение безотказности систем электроснабжения при воздействии сетевых возмущений. Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. № 2 (56). С. 67-75.

19. **Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я.** Анализ применения FACTS-устройств в системах с резкопеременными нагрузками. Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. № 4. С. 21.

20. **Абрамович Б.Н., Богданов И.А.** Повышение эффективности автономных электротехнических комплексов нефтегазовых предприятий. Записки Горного института. 2021. Т. 249. № 3. С. 408-416.

21. **Абрамович Б.Н.** Система бесперебойного электроснабжения предприятий горной промышленности. Записки Горного института. 2018. Т. 229. С. 31-40.

22. **Сычев Ю.А., Аладьин М.Е., Зимин Р.Ю.** Многофункциональные фильтрокомпенсирующие устройства в комбинированных системах электроснабжения предприятий минерально-сырьевого комплекса. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 7. С. 164-179.

23. **Sychev Y. A., Abramovich B. N., Prokhorova V. B.** The assessment of the shunt active filter efficiency under varied power supply source and load parameters / International Journal of Electrical and Computer Engineering, № 10, Т 6, 2020. С 5621 – 5630.

Ключевые слова: распределенная генерация, альтернативные источники, возобновляемые источники, электроснабжение, комбинированные системы, активные преобразователи, фильтрокомпенсирующие устройства, нелинейная нагрузка, компенсаторы, качество электроэнергии, частота, напряжение.

Сведения об авторах

Аладьин Максим Евгеньевич – аспирант кафедры электроэнергетики и электромеханики Санкт-Петербургского горного университета.

Сычев Юрий Анатольевич – доктор технических наук, профессор кафедры электроэнергетики и электромеханики Санкт-Петербургского горного университета.

e-mail: m.aladyin@gmail.com

Адрес: г. Санкт-Петербург, 21-я линия Васильевского Острова, 2, 199106.

УДК 621.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВИВШИХСЯ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ МНОГОЦЕПНЫХ ЛЭП С УЧЕТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ПРОВОДНИКОВ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

А.А. Шевченко, А.С. Ведерников

В статье рассматривается вопрос влияния электромагнитного взаимодействия проводников многоцепной линии электропередач на параметры установившихся аварийных режимов. Определение параметров нормальных режимов многоцепных ЛЭП с учетом влияния электромагнитных полей, создаваемых вокруг проводников, показывает, что токи, протекающие по фазам, распределяются неравномерно в зависимости от их пространственного положения. В статье представлены результаты расчета нормального режима двухцепной ЛЭП 220 кВ. Аварийный режим характеризуется возникновением тока короткого замыкания, который в разы превышает нормальные токи. Ток короткого замыкания создает усиленное электромагнитное поле, что увеличивает влияние на неповрежденные фазы. В неповрежденных фазах появляются токи и напряжения наведения, что увеличивает риски ложной работы РЗА. Главная задача статьи заключается в закреплении понимания важности учета действия электромагнитных полей при нахождении параметров установившихся аварийных режимов многоцепных ЛЭП.

Введение

Многоцепных линий электропередач с каждым годом становится все больше и больше. Строительство таких линий оправдано экономической выгодой, связанной с наименьшей затратой ресурсов на их возведение. Это в первую очередь связано с тем, что строительство нескольких параллельно идущих самостоятельных линий дороже, чем возведение многоцепной ЛЭП, состоящей из двух, трех, четырех и более цепей.

В многоцепных линиях электропередач большую роль играют электромагнитные поля. Проводники фаз ЛЭП взаимодействуют друг с другом посредством электромагнетизма, подвергаясь при этом взаимному перебросу токов и наведению напряжения. Такие взаимные влияния могут приводить к ложной работе релейной защиты и автоматики. [4]

Конструкция релейной защиты подразумевает отстройку от определенного аварийного тока. Но под действием электромагнитного поля и токами наведения от поврежденной фазы, в остальных проводниках возможно возникновение таких токов, которые будут превышать уставки РЗ, что будет приводить к ложному срабатыванию.

Теория вопроса

В работах таких исследователей, как А. Berman, M. Laughton, W. Xu, В.Г. Гольдштейн, доказано, что необходимо при расчете установившихся режимов учитывать электромагнитное влияние. [2, 5, 6] На примере расчетов видно, что в нормальном режиме токи и напряжения имеют разные величины из-за различного расположения относительно друг друга, а соответственно и подвергающиеся разному электромагнитному воздействию.

Методика проведения исследований

На данный момент при математическом моделировании установившихся режимов трехфазных систем делается допущение о симметрии фаз, что позволяет применять упрощенные П и Т-образные схемы замещения. Основным методом расчета несимметричных режимов является метод симметричных составляющих, однако и в нем предполагается симметрия схем замещения отдельных последовательностей. При этом даже одноцепные ВЛ по своей конструкции несимметричны, а несимметрия многоцепных ВЛ более сложна, поскольку вызывается также их геометрией, и не исчезает даже в симметричных режимах.

Поэтому актуальной является задача поиска расчетного метода, который позволит выполнять пофазный расчет токов и напряжений многоцепных ВЛ. Таким методом является метод фазных координат (МФК). Известно его применение для установившихся режимов. Поскольку данный метод изначально учитывает несимметрию фаз и цепей, существуют перспективы его применения для расчета токов КЗ. МФК заключается в пофазном представлении токов и напряжений ЛЭП. Количество матриц-столбцов векторов токов и напряжений N равно количеству фазных проводников и грозотросов (при их наличии), а матрицы сопротивлений и проводимостей размера $N \times N$. В МФК параметры многоцепной линии представляются в виде продольной и поперечной составляющей. Расчет режима по МФК аналогичен алгоритму для П-образной схемы замещения. [3]

Расчет нормального режима ЛЭП, результаты которого представлены далее, проведен при помощи ЭВМ в математической программе по методу фазных координат.

Описание метода исследований

Расчет проведен для двухцепной линии электропередач напряжением 220 кВ. Основной задачей данного метода является определение пространственного положения проводников исходя из геометрических параметров опоры, представленной на рисунке 1.

Напряжение линии 220 кВ, токи в начале заданы 550 А для каждой фазы, длина 60 км. Марка провода АС-185.

Результаты определения параметров нормального режима представлены в таблице 1.

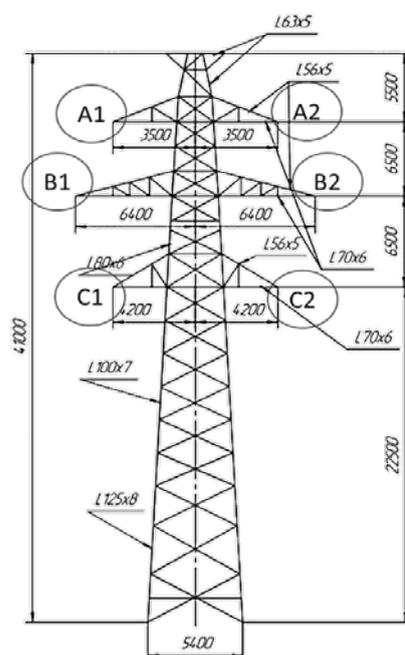


Рис. 3. Опора двухцепной линии электропередач 220 кВ

Таблица 1

Значения параметров нормального режима, рассчитанные с учетом электромагнитного межфазного взаимодействия проводников

Фаза	Напряжение в конце ВЛ	Ток в конце ВЛ
«А1»	211,4 кВ	554,75 А
«В1»	217,9 кВ	550,86 А
«С1»	231,9 кВ	542,92 А
«А2»	211,4 кВ	554,75 А
«В2»	217,9 кВ	550,86 А
«С2»	231,9 кВ	542,92 А

Заключение

Надежность релейной защиты выше, когда ложных срабатываний меньше. В случае, описанном выше необходимо учитывать явления электромагнитного влияния на соседние проводники. Если токи наведения от поврежденной фазы, которые не будут учтены при расчете, будут превышать уставки устройств РЗА, то будут возникать ложные срабатывания, что в свою очередь будет приводить к снижению надежности данных устройств, а как следствие и к снижению надежности всей электроэнергетической сети.

Главным выводом данной статьи является то, что при определении параметров установившихся аварийных режимов многоцепных линий электропередачи необходимо учитывать межфазное электромагнитное влияние проводников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ведерников А.С., Ведерникова Е.С., Шишков Е.М.** Метод фазных координат в расчётах установившихся режимов двухцепных ЛЭП. // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. 17-ой междунар. науч. – техн. конф. студентов и аспирантов. М.: Изд. дом МЭИ, 2011. Т. 3. – С. 312 – 314.
2. **Гольдштейн В.Г., Шишков Е.М. Ведерников А.С.,** Методика расчёта установившихся режимов много-цепных воздушных линий электропередачи. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск, 2012. – №1. – С. 400-403
3. **Савельев А.А., Шипилов А.С., Шевченко А.А., Ведерников А.С.** Пример использования метода фазных координат для расчета установившегося режима двухцепной ЛЭП // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: изд-во ИрННТУ, 2021, Т.1. – С. 68 – 72.
4. **Шевченко А.А., Савельев А.А., Шипилов А.С., Ведерников А.С.** Учет межфазного электромагнитного взаимодействия проводников при расчете установившихся аварийных режимов многоцепных ЛЭП. // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иркутск: изд-во ИрННТУ, 2021, Т.1. – С. 64 – 67.
5. **Berman A., Xu W.** Analysis of faulted power systems by phase coordinates // Power Delivery, IEEE Transactions on. – 1998. – Т. 13. – №. 2. – С. 587-595.
6. **Laughton M. A.** Analysis of unbalanced polyphase networks by the method of phase coordinates. Part 1. System representation in phase frame of reference // Proc. IEEE, 1968. – v. 115. - № 8. – PP. 1163-1172.

Ключевые слова: многоцепные ЛЭП, установившийся аварийный режим, электромагнитное влияние, метод фазных координат, ток короткого замыкания, РЗА, ток нормального режима.

Сведения об авторах

Ведерников Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, декан электротехнического факультета Самарского государственного технического университета.

Шевченко Андрей Александрович – аспирант кафедры «Электрические станции» Самарского государственного технического университета.

e-mail: shefa981@yandex.ru

Адрес: г. Самара, ул. Первомайская, 18.

УДК 621.3

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЁЖНОСТЬ АЭС В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ БАЛАКОВСКОЙ АЭС

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный Технологический Университет)»
Московский политехнический университет

В.И. Силаев, Р.В. Ключев

2022 год стал самым тяжёлым, нестабильным и разрушительным для ряда «развитых» стран мира (государства Европы, США, Австралии, Японии и др.), которые богатели в последние десятилетия за счёт «менее» развитых стран, беря у них реальные ресурсы, активы, капиталы и давая взамен ничем необеспеченные «деньги» [1]. Таким образом, создавая страны-потребители и страны-производители. Нарастивая государственный долг страны-потребители, могли покупать товары, ресурсы и технологии за счёт «нарисованных» денег, а при помощи давления через различные финансовые инструменты на страны-производители, переносили свою инфляцию и издержки в эти страны. Однако кризисные явления, скрытые за «количественным смягчением» (т.е. эмиссией необеспеченных денег), которые были вызваны развитием ВИЭ в ущерб традиционной энергетике и дистрикциями сельского хозяйства, промышленности, нефтегазового сектора и прежде всего атомной отрасли, через монетарную политику «развитых» стран – показали полную нежизнеспособность такой экономической модели и энергетического уклада [2]. А угроза голода и блэкаутов, а также полной деиндустриализации Европы - заставило Европейскую Комиссию снова обратить внимание на развитие атомной отрасли и причислить её к «зелёной энергетике». Но время было упущено для стран-потребителей. Специалисты в атомной отрасли, которые ещё могли создавать и строить новые АЭС в XX веке, не оставили после себя «новую инженерную школу» [3]. Поэтому для бывших лидеров атомной промышленности брошен очень серьёзный цивилизационный вызов, связанный с созданием фактически этой отрасли с нуля. Наиболее безопасными АЭС в Мире по праву считаются российские, которые опережают наших некогда конкурентов на несколько поколений вперёд. Одна из самых энергоэффективных и безопасных АЭС России – Балаковская АЭС, которая начала работать 28 декабря 1985 года. И за время работы БАЭС не были допущены выбросы 466 млн. тонн парниковых газов.

Введение

Для преодоления системного упадка вызванного: пандемией COVID-19, рецессией мировой экономики, нефтяным, газовым, энергетическим, продовольственным, социальным, политическим и климатическим кризисами –

необходимо использовать атомную генерацию, как наиболее эффективную, доступную, надёжную, предсказуемую, стабильную и прогнозируемую, которая не зависит от изменения погоды, как те же СЭС и ВЭС. Однако именно в момент кризиса проявляются надёжные и слабые стороны энергетического уклада. Ставка на ВИЭ сделала страны-потребители зависимыми от погоды и ослабило все сложноструктурированные промышленные и энергетические связи в мировой экономики, вызвав глобальную инфляцию и деиндустриализацию «развитых» стран. Текущая традиционная энергетика и промышленность недоинвестирована, как минимум на 1,5 трлн. долларов (по нашим подсчётам на ВИЭ было потрачено с 2000 по 2022 год – 4,13 трлн. долларов, но при этом доля в мировой генерации на декабрь 2022 года составило всего 4%). Упущенное время, необходимо нагонять в кратчайшие сроки и для этого необходимо рассмотреть наиболее эффективные и надёжные АЭС в Мире, чтобы масштабировать их опыт и помочь сделать нашей цивилизации, необходимый качественный переход на рельсы Четвёртого Энергетического Перехода (ЧЭП) на основе не ВИЭ, а АЭС [4]. Именно исследования в области атомных технологий, создания Закрытого Ядерного Топливного Цикла и исследования термоядерного синтеза - создают единственный путь по достижению углеродной нейтральности к 2050 году и при этом не приведут к социально-экономическим кризисам в обществе, которые мы наблюдаем уже сейчас в Мире.

Теория вопроса

Французике АЭС «нового поколения» мощностью 1300 МВт из-за ошибок при проектировании имеют ряд недостатков (а именно коррозия, которая была обнаружена на сварных швах подключенных к 1 контуру труб аварийной системы охлаждения); немецкие АЭС поэтапно закрывают и выводят из эксплуатации (последние 3 действующие АЭС должны вывезти из эксплуатации к концу 2022 года); американские АЭС из-за погоды могут быть остановлены, как это было в Техасе зимой 2021 года; японские АЭС из-за радиофобии вызванной после аварии на АЭС «Фокусима-1» перестали развиваться и имели ряд критических ошибок и недостатков, которые вошли в список постфокусимских требований по безопасности на АЭС (но у японского правительства, есть планы по восстановлению атомной генерации из-за энергетического кризиса); китайские традиционные АЭС создавались совместно с американскими компаниями и использовался французский опыт создания реакторов, поэтому имеют схожие проблемы. Однако китайские энергетики запустили первые в мире модульные атомные электростанции («Shidao Bay-1»), которые имеют ряд собственных недостатков и преимуществ. Но из-за недолгого периода эксплуатации не хватает данных для создания [5]. Но и решающий фактором является открытость данных. Поэтому для исследования необходимо обратиться именно к российским АЭС, которые считаются по праву эталонными, а их опыт стал фундаментом требований по безопасности АЭС и особая роль в этом принадлежит Балаковской АЭС.

Методика проведения исследований

Для проведения синтетических тестов был использован регрессивный анализ и методология расчётов синтетического показателя «энергетической рентабельности» с учётом всех факторов. Для более точного понимания модели, мы рассмотрим Коэффициент Ипользования Установленной Мощности (КИУМ) и показатели энерговыработки с 1985 года по 2022 год на Балаковской АЭС, которые представлены на рисунке 1. Для определения EROI (EROEI), нам необходим эталоны, которые уже заложены в нашу синтетическую модель. Кроме EROI (EROEI), в ходе исследований мы получили данные по выбросам CO₂ по разным видам генерации, которые отражены на рисунке 2.

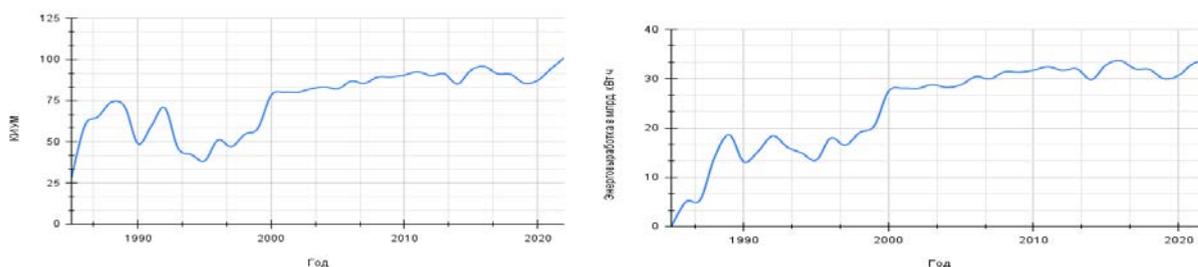


Рис. 1. КИУМ и энерговыработка Балаковской АЭС с 1985 года по 2022 год

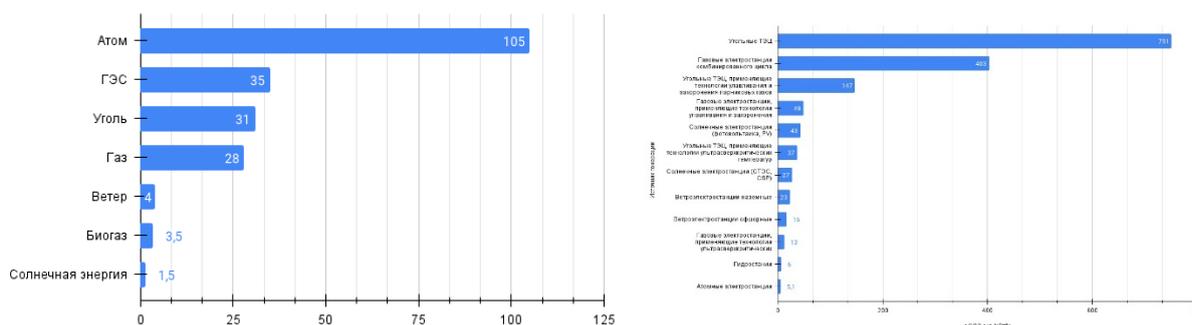


Рис. 2. Показатели EROI (EROEI) на декабрь 2022 года и выбросы CO₂ по разным видам генерации

Описание метода исследований

Исследования проводилось с помощью синтетических тестов, регрессивного анализа и прежде всего изучением большого объёма данных для получения качественного заключения. Таким образом были получены данные, которые позволяют оценить энергоэффективность и надёжность каждого вида генерации с учётом климатических факторов, а также энергетических рисков. Это позволяет делать более качественные математические модели и при создании аналитических данных получать более точные данные.

Заключение

Полученные данные отражают бесперспективность ЧЭП на основе ВИЭ, основой энергетического перехода может стать только атомная энергетика, как

наиболее безопасная и чистая. Ярким тому примером служит Балаковская АЭС, которая за 37 лет своей работы не допустила выбросов в атмосферу более 466 млн тонн парниковых газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Силаев В.И., Наниева Б.М.** Перспективы энергетики в Эпоху Глобальных Кризисов // III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ». - Кемерово: Институт энергетики КузГТУ, 2021. - С. 208-1-208-5.

2. **Клюев, Р.В.** Климатическое влияние на энергетику Европейского союза на примере Германии вследствие провальных энергетических реформ в 2009-2010 Г. И катастрофическое положение энергетики Европы в эпоху глобальных кризисов / Р. В. Клюев, О. А. Гаврина, В. И. Силаев // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2022. – № 2(68). – С. 14-25. – DOI 10.53015/18159958_2022_18_2_14. – EDN EMVCUF.

3. **Силаев В.И., Клюев Р.В.** Переработка отходов ядерной промышленности // III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ». - Кемерово: Институт энергетики КузГТУ, 2021. - С. 231-1-231-6.

4. **Силаев, В. И.** Распределенная энергетика труднодоступных территорий на основе плавающих атомных энергоблоков / В. И. Силаев, О. А. Гаврина, Д. Т. Голоев // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XII Международной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 16–19 сентября 2022 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2022. – С. 162-165. – EDN INCMOI.

5. **Силаев, В.И.** Быстрые реакторы-размножители с жидкометаллическим теплоносителем для атомных электростанций под управлением искусственного интеллекта / В. И. Силаев, Х. М. Кцоев, М. Т. Плиева // Современные тенденции развития информационных технологий в научных исследованиях и прикладных областях: Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 29–30 апреля 2021 года. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2021. – С. 80-84. – EDN QQRLJQ.

Ключевые слова: эпоха глобальных кризисов, атомная энергетика, энергоэффективность и надёжность АЭС, Балаковская АЭС, EROI и EROEI

Сведения об авторах

Силаев Вадим Иванович – магистрант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного Технологического Университета).

Клюев Роман Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технология горного и нефтегазового производства» Московского политехнического университета.

e-mail: kknig@bk.ru; kluev-roman@rambler.ru

Адрес: Республика Северная Осетия - Алания, город Владикавказ, ул. Николаева, д.44

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА С АМОРФНЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ И СВЕРХПРОВОДНИКОВЫМИ ОБМОТКАМИ

ФГБОУ ВО “Самарский государственный технический университет”

А.А. Юдин, А.А. Казанцев, Л.М. Инаходова

Ежегодное потребление электроэнергии в России находится на уровне 1000 млрд кВт·ч, при этом общие потери электроэнергии в распределительных трансформаторах оцениваются в 7,5 млрд кВт·ч и примерно 50% — это потери в магнитопроводах трансформаторов из холоднокатаной электротехнической стали [1]. Разработка модели трансформатора, имеющего современную конструкцию для анализа электрических режимов при частотах, близких или равных частоте его собственных колебаний, является чрезвычайно сложной проблемой [5].

В современных условиях потери электроэнергии и мощности можно снизить применением в конструкциях силовых трансформаторов следующих инновационных решений: использование эффекта сверхпроводимости низко- и высокотемпературной, внедрение новых эффективных способов формирования основного магнитного потока с помощью аморфных ферромагнитных материалов и применение комбинированных конструкций силовых трансформаторов, сочетающих в себе перечисленные выше решения [2].

Введение

В работе было выполнено моделирование участка сети нефтегазового месторождения с заменой существующих масляных трансформаторов было проведено в ПК RastrWin3. Была оценена эффективность применения инновационных трансформаторов по сравнению с масляными. Были построены графики зависимости коэффициента полезного действия от коэффициента загрузки (кз) для различных видов трансформаторов. Результаты моделирования показали, что энергоэффективность инновационных трансформаторов значительно выше, чем у трансформаторов с традиционным исполнением магнитопровода.

Теория вопроса

Для распределительных подстанций сетей электроснабжения наиболее перспективный путь снижения затрат на производство и эксплуатацию силовых

Таблица 1

Максимальные КПД трансформаторов при определенных значениях коэффициента загрузки

Тип трансформатора	$\eta_{\max}, \%$	$k_{z\max}$
ТМ	98,805	0,4
АФТ	99,470	0,18
ВТСТ	99,273	0,61
АВТСТ	99,652	0,28

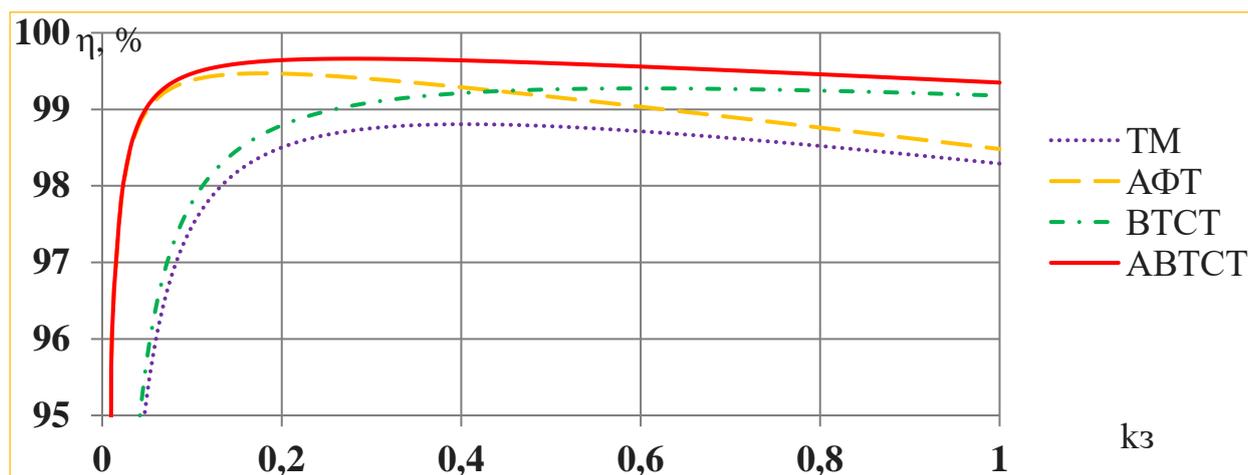


Рис. 2. Графики зависимости КПД от k_z для различных видов трансформаторов класса напряжения 35/0,4 кВ мощность 400 кВА

Заключение

Из результатов проведенной работы видно, что энергоэффективность современных трансформаторов значительно выше, чем у трансформаторов с традиционным исполнением магнитопровода.

Делаем вывод, что введение в эксплуатацию силовых распределительных трансформаторов с магнитопроводами из аморфных сплавов, высокотемпературных сверхпроводниковых трансформаторов и их комбинированной конструкции является одним из наиболее перспективных путей снижения технических потерь энергосистем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савинцев Ю.М. Анализ состояния производства в РФ силовых масляных СТ I-III габаритов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2012. - №1. – С. 43-53
2. Александров Н.В. Исследование влияния сверхпроводниковых трансформаторов на режимы электроэнергетических систем. Автореферат дис. канд. техн. наук по специальности 05.14.02. НГТУ. Новосибирск. 2014.
3. Дерябина А.С. Исследование электрических режимов при использовании инновационных конструкций силовых трансформаторов в системах

электроснабжения нефтегазодобывающих компаний / Дерябина А.С., Казанцев А.А. / Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации. Сборник статей по материалам второй Всероссийской научно-практической конференции. Белебей, 2021. С. 28-31

4. **Высоцкий В.С.** Сверхпроводимость в электромеханике и электроэнергетике/ Высоцкий В.С., Сытников В.Е. и др /- Электричество 2005 №7.

5. **Кузнецов Д.В.** Совершенствование концепции и методов организации энергоснабжения мегаполисов / Кузнецов Д.В., Гольдштейн В.Г. / Промышленная энергетика 2014. №2.

Ключевые слова: трансформатор, энергосбережение, потери, энергоэффективность, аморфные магнитные материалы, высокотемпературные сверхпроводниковые материалы.

Сведения об авторах

Юдин Александр Андреевич – студент бакалавриата кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Самарского государственного технического университета.

Казанцев Александр Андреевич – старший преподаватель кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Самарского государственного технического университета.

Инаходова Лолита Меджидовна – профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» Самарского государственного технического университета.

e-mail: roynastvel@mail.ru

Адрес: г. Самара, ул. Революционная, 42

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИННОГО ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПУСКА МОЩНОГО НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»,
ООО Малое инновационное предприятие «ЭнПро»

Е.И. Грачева, Т.В. Табачникова

Расчетная модель электротехнического комплекса добывающей скважины с погружным электродвигателем разработана в Matlab Simulink с целью исследования влияния запуска электропривода нефтеперекачивающего насоса с

асинхронным электродвигателем большой единичной мощности на электропривод нефтяной скважины. При моделировании учитывалась компенсация реактивной мощности в обоих электротехнических комплексах. В ходе проведения исследования определялись режимные параметры при различных вариантах моделирования. Анализ полученных результатов показал повышение устойчивости работы электротехнического комплекса при наличии в системе конденсаторных установок, так как они позволяют обеспечить повышение питающего напряжения на зажимах исследуемых электроприводов нефтепромысловых установок. Результаты проводимых исследований влияния пусковых режимов электродвигателей позволяют сформулировать технологические ограничения на нижний предел допустимых значений напряжения питания погружных электродвигателей.

Введение

На режимные параметры погружного электродвигателя (ПЭД) нефтяной скважины, оборудованной центробежным насосом, существенное влияние оказывает пуск мощных перекачивающих насосных установок, подключенных в сети непосредственно вблизи скважины [1]. Факт увеличения пусковых токов электродвигателей большой единичной мощности приводит к тому, что на зажимах ПЭД напряжение снижается, изменяя в свою очередь основные режимные параметры его работы.

Теория вопроса

В данной статье в качестве объекта исследования рассматриваются электротехнические комплексы добывающей скважины (ЭКДС) с ПЭД и вспомогательного оборудования (ЭКВО), который представлен насосом по перекачке нефти с асинхронным электроприводом ВАО4-450S2 номинальной мощностью 200 кВт. Нефтяная скважина оборудована центробежным насосом с ПЭД45-103. Центра питания у рассматриваемых установок общий (рис. 1). Принципиальная схема электроснабжения такого электротехнического комплекса позволяет составить его схему замещения (рис.2). [2, 3, 4]

Методика проведения исследований

Расчетная модель такого электротехнического комплекса для проведения исследований процессов пуска составлена в программе Matlab Simulink без учета и с учетом конденсаторных батарей. [5]

В расчетной модели подсистема ВАО4-450 представлена структурой на рисунке 3, а подсистема ПЭД представляет собой электротехнический комплекс скважины, изображенный на рисунке 4. Расчетная модель отражает, что погружной асинхронный двигатель получает питание через повышающий трансформатор мощностью 100 кВА и коэффициентом трансформации $k_{тр} = 3,5$.

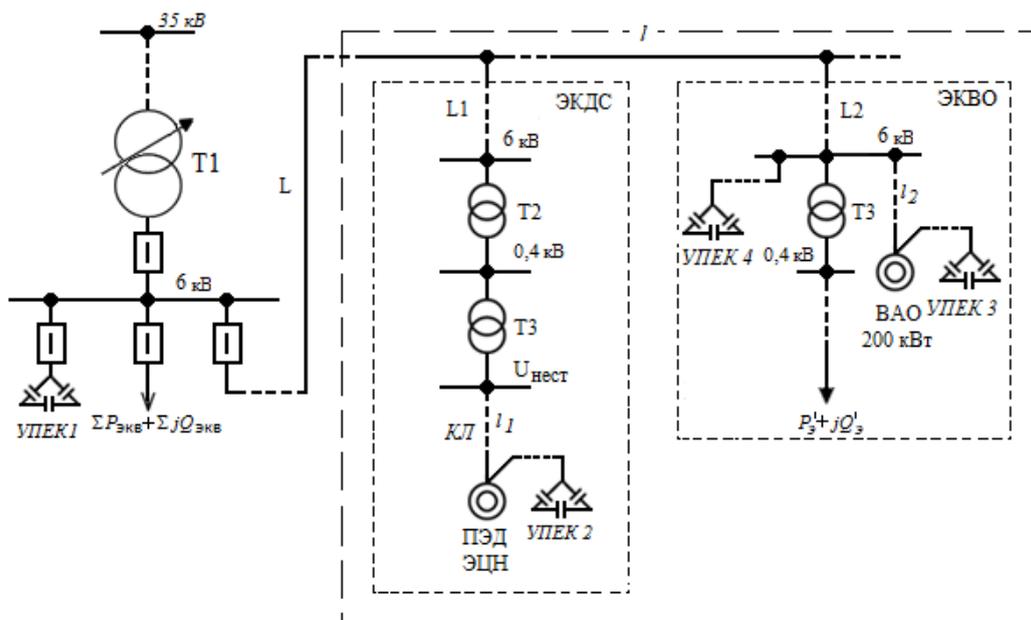


Рис. 1. Фрагмент принципиальной схемы электроснабжения промышленного насоса перекачки нефти и скважины с ПЭД

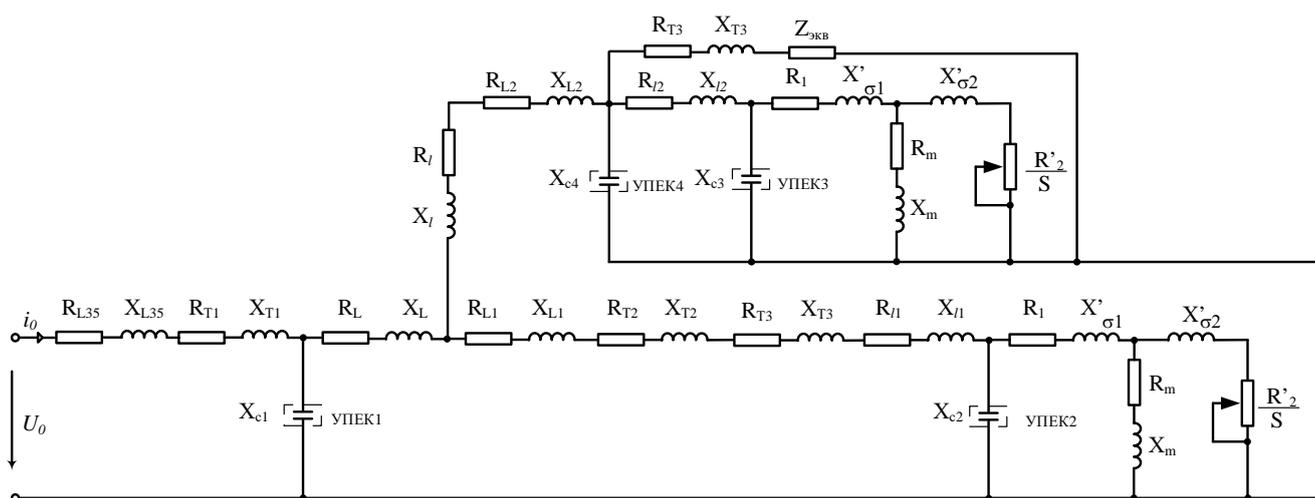


Рис.2. Схема замещения электротехнического комплекса промышленного насоса перекачки нефти и скважины с ПЭД

Описание метода исследований

Результаты моделирования демонстрируют, что пуск электродвигателя насоса перекачки нефти происходит за 8,861 с, а провал напряжения при разгоне составил 5,45 % (максимальный провал при пуске – 7,7 %).

Увеличение провала напряжения при разгоне по сравнению с расчетами электротехнического комплекса ШСНУ объясняется большей потребляемой мощностью ПЭД. Дополнительное падение напряжения составляет 5,51 % от номинального значения. Ток погружного двигателя при запуске насоса для перекачки нефти проваливается до значения $0,44I_{ном}$ и устанавливается затем на уровне $0,607I_{ном}$.

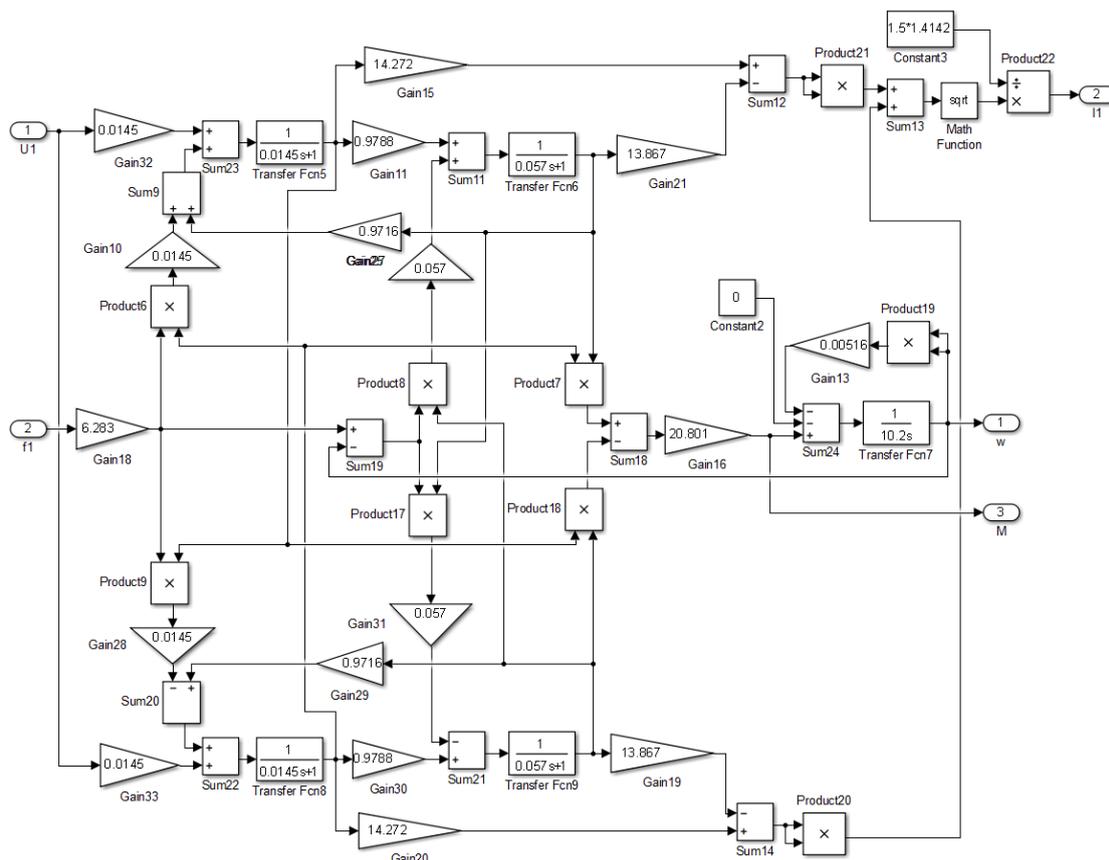


Рис. 3. Расчетная модель электродвигателя ВАО4-450S2

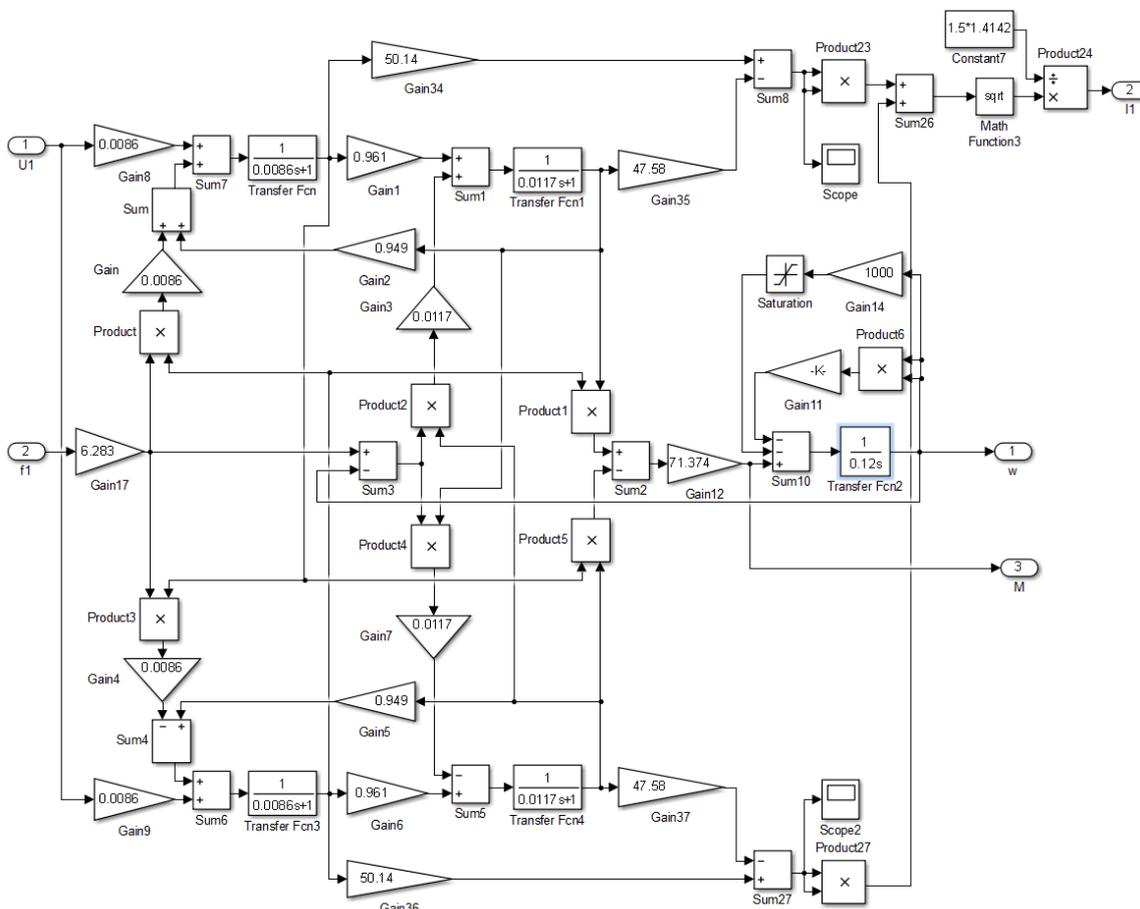


Рис. 4. Расчетная модель электротехнического комплекса нефтяной скважины

С учетом конденсаторных батарей на установившуюся скорость электродвигатель перекачивающего насоса выходит за 8,843 с, а провал напряжения при этом составляет 5,35 % (максимальный провал при пуске составил 7,6 %).

Заключение

Полученные результаты убедительно показывают, что применение конденсаторных батарей даёт выигрыш не только в виде компенсации потребляемой реактивной мощности, но и уменьшает негативное влияние на режимные параметры скважинных ПЭД при пуске электрически связанных с ним, подключенных в непосредственной близости электродвигателей нефтяных перекачивающих насосов средней и большой мощности. Учет влияния пусковых режимов электродвигателей позволяет сформулировать технологические ограничения на нижний предел допустимых значений напряжения питания ПЭД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Nurbosynov, D.N.** Simulation Model for the Electrical Engineering Complex of a Producing Well with a Screw Pump Unit / T.V.Tabachnikova, L.V. Shvetskova, E.D. Nurbosynov; 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). DOI: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976627. Electronic ISBN: 978-1-7281-6700-8. Print on Demand(PoD) ISBN: 978-1-7281-6701-5. – Text : electronic.
2. **Gracheva, E.I.**, “Assessment of power losses in intrafactory power grids” / A.N. Gorlov, Z.M. Shakurova; Bulletin of PITTU named after Academician M. Osimi, vol. 4 (13), pp. 38-50, 2019. – Text : electronic.
3. **Tabachnikova, T.V.** Analytical studies of transformers operating modes in supply and distribution electric network of a field substation / A.D. Makht, E.D. Nurbosynov; International Scientific Electric Power Conference – 2019. IOP Publishing. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 643 (2019) 012090. doi:10.1088/1757-899X/643/1/012090. – Text : electronic.
4. **Petrov, T**The use of a digital controller in the loading system of the test bench to improve the accuracy of simulating the modes of oil pumping units / V. Kornilov, A. Safin; E3S Web of Conferences, Saint-Petersburg, 2020, P.01072, DOI 10.1051/e3sconf/202022001072. – Text : electronic.
5. **Tabachnikova, T.V.** Calculation of the Rotation Speed of a Submersible Induction Motor for the Tasks of Determining the Optimal Value of the Supply Voltage / A.V. Starikov, I.A. Kosorlukov; 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). DOI: 10.1109/FarEastCon50210. 2020.9271308. – Text : electronic.

Ключевые слова: моделирование режима работы, потери напряжения, электротехнический комплекс добывающей установки, электротехнический комплекс вспомогательного оборудования, индивидуальные и

централизованные компенсирующие установки.

Сведения об авторах

Грачёва Елена Ивановна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета.

Табачникова Татьяна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, директор ООО Малое инновационное предприятие «ЭнПро».

e-mail: tvtab@mail.ru

Адрес: г. Альметьевск, проспект Габдуллы Тукая, д. 36

УДК 621.3

АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИЙ

М.А. Назаров, А.Ю. Хренников

Существует множество путей по снижению потерь на собственные нужды подстанций (СН ПС). Основными сферами потерь на ПС являются электроэнергия и тепловая энергия, применяемая для обогрева помещений и оборудования ПС.

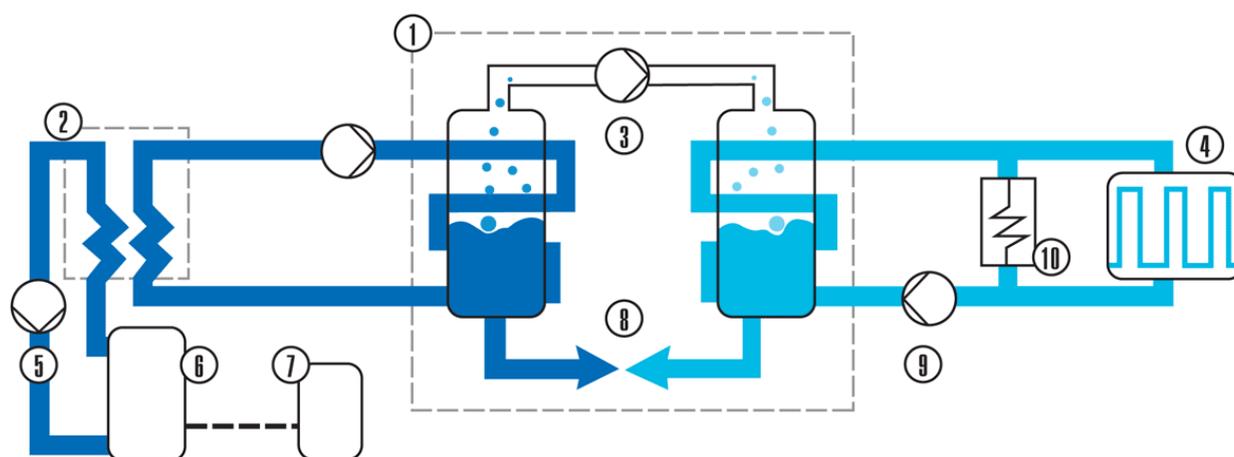
Введение

Помимо потерь электроэнергии на ПС, также возникают потери тепловой энергии. Для того, чтобы снизить данные потери, необходимо применение систем утилизации электрической и тепловой энергии, неиспользуемой на собственные нужды ПС.

Теория вопроса

Энергию возможно правильно утилизировать путем отведения тепла трансформатора для последующего обогрева помещений, оборудования. Для отведения тепла применяются охладитель, циркуляционные и тепловые насосы, теплообменники, отопительное оборудование здания (рис.1). Отопительное оборудование ПС использует в своем составе воду в качестве теплоносителя. Обогрев помещений и оборудования проводится по конвективному принципу.

Сокращение затрат электрической энергии на отопление при помощи утилизированного тепла трансформатора может составлять до 60% [1].



- | | | |
|-----------------------------|---|---------------------------|
| 1. Тепловой насос | 5. Циркуляционный насос масляного контура | 8. Дроссель |
| 2. Теплообменник | 6. Автотрансформатор | 9. Циркуляционный насос |
| 3. Компрессор | 7. Шкаф управления охлаждением автотрансформатора | 10. Резервные электродоты |
| 4. Система отопления здания | | |

Рис. 1. Принципиальная схема установки утилизации тепла трансформатора

Также применяются автоматизированные системы обогрева, которые создают оптимальный микроклимат отапливаемых помещений и оборудования [5].

Экономия электроэнергии на отопление помещений также можно получить внедрением программируемых термостатов, которые снижают температуру в помещениях, где не проводятся работы и обслуживание оборудования. Термостат снижает объем проходящего теплоносителя через отдельное отопительное оборудование, тем самым исключается перерасход тепловой энергии [2].

Методика проведения исследований

Системы автоматизации могут быть использованы для аккумулирования в летний период излишков тепловой энергии таких как:

- тепловая энергия системы охлаждения силового трансформатора;
- отведенная тепловая энергия системой кондиционирования ОПУ ПС [4].

Для аккумулирования тепловой энергии используется грунт, утепленный таким образом, чтобы запасенная тепловая энергия был использована в холодный период года. Для расчета необходимо использовать уравнения тепловых потоков.

Описание метода исследований

Суммарный тепловой поток для нагрева воздуха помещений ПС:

$$\frac{dQ_{\text{сум}}}{dt} = \frac{dQ_{\text{гр}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{тр}}}{dt} + \frac{dQ_{\text{к}}}{dt} - \frac{dQ_{\text{пот}}}{dt} \quad (1)$$

где $Q_{гр}$ – тепловая энергия, отбираемая из грунта тепловой машиной, Дж; $Q_{тр}$ – тепловая энергия, отводимая от масла силового трансформатора, Дж; $Q_{к}$ – тепловая энергия, запасенная в летний период времени с использованием системы кондиционирования, Дж.

Тепловые потери ПС запишем в виде дифференциального уравнения в следующем виде:

$$\frac{dQ_{пот}}{dt} = S_{ок.пс} \cdot R_{пов.пс} \cdot (T_{пом} - T_{нв}) \quad (2)$$

где $S_{ок.пс}$ – площадь ограждающих конструкций ПС, м²; $R_{ок.пс}$ – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций ПС, Вт/(кг·°С); $T_{нв}$ – температура наружного воздуха, °С.

Для снижения затрат на отопление ПС возможно применение утепления помещений и оборудования, которое позволяет снизить их тепловую отдачу, что приводит к снижению тепловых потерь. [3]

Тепловые потери ПС:

$$S_{ок.пс} = a \cdot b + 2h \cdot (a + b) \quad (3)$$

где a , b , h – длина, ширина и высота ПС соответственно, м.

Изменение температуры помещений ПС:

$$\frac{dT_{пом}}{dt} = \frac{1}{V_{пом} \cdot \rho_{в} \cdot c_{в}} \cdot \frac{dQ_{сум}}{dt} \quad (4)$$

где $V_{пом}$ – объем ПС, м³; $\rho_{в}$ – плотность воздуха, кг/м³; $c_{в}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С).

На примере ОПУ ПС размерами 12x48 м представим годовые графики температуры внутри помещений на рис. 2. построенные в Matlab.

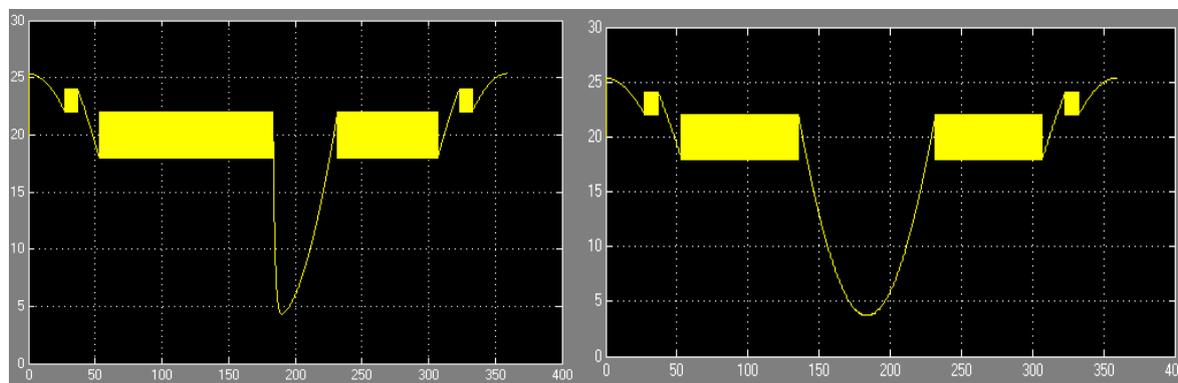


Рис. 2. Изменение температуры помещений ПС в течение года для системы отопления с аккумулярованием тепловой энергии (слева) и без аккумулярования (справа)

Следует отметить, что изменение температуры в помещениях в летний период изменяется в диапазоне 22-24°C, поскольку работает система кондиционирования. В зимний период при температуре -25°C запасенная тепловая энергия является недостаточной для покрытия потребности ОПУ ПС.

Заключение

Система отопления с аккумулярованием тепловой энергии в грунте позволила больший период времени покрывать потребность ПС, не используя сторонние отопительные системы, а также поддерживать большую температуру в помещениях в наиболее холодный период – до -25°C.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Назаров М.А., Хренников А.Ю.** Направления энергосбережения на подстанциях [Электронный ресурс] : V Международная Студенческая Научная Конференция. Междисциплинарный научный форум. URL: <https://studconf.com/conference/3-2020/engineering/1939/> (дата обращения: 08.12.2022).

2. **Свирен С.Я.** Электрические станции, подстанции и сети / С.Я. Свирен – ЁЁ Медиа, 2012 г. – 221 с.

3. **Беляев В. С., Граник Ю. Г., Матросов Ю. А.** Энергоэффективность и теплозащита зданий / В. С. Беляев – Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014 г. – 240 с.

4. **Протасевич А.М.** Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха : учебное пособие / А.М. Протасевич. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2021. – 286 с.

5. **Хренников А.Ю., Точилкин В.Г.** Наладка и эксплуатация релейной защиты и автоматики. Учебно-методическое пособие для магистратуры/ Директ-Медиа -М, 2021. - 212 с., ил.

Сведения об авторах

Назаров Максим Александрович – аспирант кафедры «Электроснабжение электротехника», ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет». E-mail: maximnazarov27@gmail.com.

Хренников Александр Юревич, д.т.н., профессор ТГУ, Учёный секретарь НТС - начальник отдела НТС и НТИ, АО "НТЦ ФСК ЕЭС" Россети, электротехнический факультет Тольяттинского политехнического института в 1986 г., к.т.н. – 1997 г., Докторская диссертация: «Комплексное диагностическое моделирование параметров технического состояния силового трансформаторно-реакторного электрооборудования», 2009. E-mail: ak2390@inbox.ru.

Адрес: г. Тольятти, ул. 40 Лет Победы, 24, 97.

УДК 621.3

ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПОВЕЖДЕНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ РФ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

Ф.А. Куликов

В рамках ведомственного проекта «Цифровая энергетика» происходит широкомасштабное внедрение новых цифровых технологий в национальную энергетическую систему РФ. Одна из таких технологий - технология синхронизированных векторных измерений (СВИ), которая уже нашла широкое применение для мониторинга электромеханических переходных режимов в энергосистеме РФ. В статье рассматривается возможность применения данных, получаемых от устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ) для задачи определения места повреждения (ОМП) на воздушных линиях электропередачи (ВЛЭП).

Цель исследования заключается в исследовании возможности использования данных от УСВИ для ОМП на ВЛЭП сверхвысокого напряжения (СВН).

В ходе исследования на базе ВЛЭП 500 кВ, собранной в программном комплексе MATLAB/Simulink, рассматривается точность ОМП при учете влияния различных искажающих замер токов и напряжений факторов при использовании УСВИ классов «М» и «Р».

В результате вычислительных экспериментов установлено, что использование УСВИ класса «М» для ОМП возможно, однако более рациональным является использование цифровых фильтров, предназначенных для целей релейной защиты, т.е. фильтров класса «Р».

Введение

Согласно приказу Министерства энергетики Российской Федерации №101 на крупных объектах энергетики должны устанавливаться УСВИ, выполняющие с нормированной точностью замер параметров электрического режима в однозначно определенные посредством глобальных навигационных спутниковых систем моменты времени [1]. Оснащение ВЛЭП УСВИ открывает новые варианты решения неизменно актуальной задачи электроэнергетики – ОМП. Использование СВИ в качестве источника данных для ОМП позволяет использовать методы, основанные на двустороннем замере [2] благодаря регламентированной точности синхронизации всех УСВИ в энергосистеме не хуже 1 мкс [3]. Особый интерес представляет анализ возможности

использования установленных на данный момент в ЕЭС РФ УСВИ класса «М» для ОМП.

Методика проведения исследований

Исследование возможности применения УСВИ было выполнено с использованием следующих методов ОМП [4,5]:

$$L = \frac{(\dot{U}'_0 - \dot{U}''_0) + \dot{I}''_0 \cdot \dot{Z}_0 \cdot l}{(\dot{I}'_0 + \dot{I}''_0) \cdot \dot{Z}_0}; \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{\gamma_0} \cdot \operatorname{atanh} \frac{\dot{U}'_0 - \dot{U}''_0 \cdot \cosh(\gamma_0 \cdot l) + \dot{I}''_0 \cdot \dot{Z}_{W0} \cdot \sinh(\gamma_0 \cdot l)}{\dot{I}'_0 \cdot \dot{Z}_{W0} - \dot{U}''_0 \cdot \sinh(\gamma_0 \cdot l) + \dot{I}''_0 \cdot \dot{Z}_{W0} \cdot \cosh(\gamma_0 \cdot l)}, \quad (2)$$

где L – результат расчёта выражения ОМП; l – длина линии электропередачи; \dot{U}'_0 и \dot{U}''_0 – напряжение нулевой последовательности в начале и конце ВЛЭП соответственно; \dot{I}'_0 и \dot{I}''_0 – ток нулевой последовательности в начале и конце ВЛЭП соответственно; γ_0 – постоянная распространения нулевой последовательности; \dot{Z}_{W0} – волновое сопротивление нулевой последовательности.

Модель ВЛЭП 500 кВ, на базе которой проводились исследования собрана в программном комплексе MATLAB/Simulink. Каждая из 1000 итерация по методу Монте-Карло производилась следующим образом: 1) расчет электрического режима при учете влияния искажающих замер токов и напряжений факторов (переходное сопротивление в месте короткого замыкания (КЗ), фаза напряжения аварийной фазы в момент возникновения КЗ, местоположение КЗ и др.); 2) экспортирование замеров токов и напряжений в начале и конце ВЛЭП в рабочее пространство MATLAB и расчет места повреждения по выражениям (1) и (2).

Результаты экспериментов

Результаты выполненных исследований при варьировании влияющих на замер факторов методом Монте-Карло для обоих цифровых фильтров при использовании комплекта синхронизированных измерений тока и напряжения, соответствующих концу 2 и 3 периода промышленной частоты показаны на рисунке 1. Анализ результатов показывает, что при использовании фильтра класса «М» погрешность не превышает 2,5 %, а в 70 процентах случаев не превышает 1%. При переходе к фильтру класса «Р» точность существенно возрастает, соизмеримые результаты на классе «Р» достигаются уже к концу второго периода. При использовании комплекта, соответствующего концу 3 периода УСВИ класса «Р», позволяет достичь погрешности, не превышающей 1,5 %.

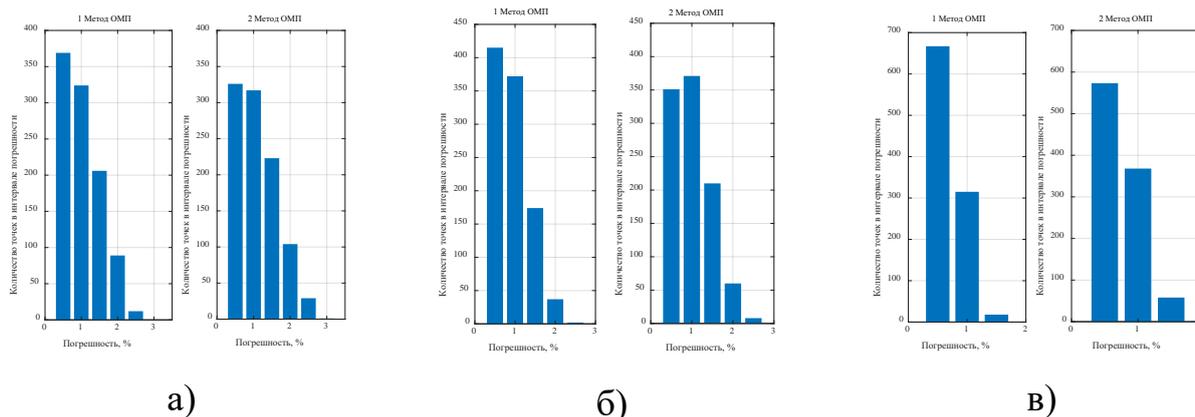


Рис. 1. Погрешности ОМП при варьировании значений, влияющих на замер факторов на фильтре типа: а) «М» на 3 период промышленной частоты от начала КЗ; б) «Р» на 2 период промышленной частоты; в) «Р» на 3 период промышленной частоты

Заключение

Проведенные вычислительные эксперименты наглядно демонстрируют перспективу применений УСВИ для задачи ОМП не только при использовании фильтра класса «Р», но и при использовании цифровых фильтров класса «М», изначально не предназначенных для фиксации электромагнитных переходных процессов. УСВИ класса «Р» оказывается значительно более эффективным при фиксации электромагнитных переходных процессов и позволяет достичь требуемой точности локализации места повреждения почти на целый период промышленной частоты быстрее, по сравнению с фильтром «М», что особенно важно при непродолжительных КЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. IEC/IEEE 60255-118-1:2018/ Measuring relays and protection equipment – Part 118-1: Synchrophasor for power systems – Measurements. IEC/IEEE 2018.
2. Аржанников Е.А. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов; под ред. В.А. Шуина. М.: Энергоатомиздат, 2003.
3. СТО 59012820.29.020.011-2016. Релейная защита и автоматика. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования. Стандарт организации АО «СО ЕЭС», 2016
4. Пленков Э.Р. Синхронизация векторов токов и напряжений при определении места повреждения на воздушных линиях электропередачи // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Том 22. № 12. С. 202-210.
5. Saha M., Izykowski J., Rosolowski E. Fault Location on Power Networks. London, Springer-Verlag, 2010.

Ключевые слова: синхронизированные векторные измерения, определение места повреждения, воздушная линия электропередачи.

Сведения об авторах

Куликов Филипп Александрович – аспирант кафедры «Электрические системы» Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина.

email: kulikov96@outlook.com

Адрес: г. Иваново, ул. Родниковская, 44.

УДК 621

ОЦЕНКА ЗАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

А.С. Ведерников, Н.В. Танаев

В связи с наблюдающейся тенденцией постоянного роста энергопотребления населением в условиях непрерывного увеличения цен на энергоносители весьма актуальной является задача энергосбережения. Одним из направлений решения данной задачи является корректировка мощности трансформаторов на трансформаторных подстанциях, обслуживающих городские микрорайоны. В рамках представленной работы проведен анализ загрузки трансформаторной подстанции микрорайона города Самары.

Проблема энергосбережения является весьма актуальной в условиях постоянного роста цен на топливно-энергетические ресурсы. Данная проблема актуальна для всего народного хозяйства, в том числе и для энергетики. Повышение энергетической эффективности является приоритетной государственной политикой на всех уровнях систем электроснабжения: от выработки, преобразования и распределения, до потребления электроэнергии потребителями. Так в проекте «Энергетическая стратегия России на период до 2035 года» в числе мер для реализации потенциала энергосбережения и повышения энергоэффективности называется «разработка стандартов энергоэффективности зданий и сооружений, оборудования и техники, а также пропаганда энергосбережения и повышения энергетической эффективности среди различных групп населения»[1]. Одним из направлений решения данной задачи является оптимизация выбора оборудования для трансформаторных подстанций, что может обеспечить значительную экономию ресурсов.

Проектирование большинства понижающих подстанций в СССР велось с учетом перспективного увеличения электрических нагрузок [2]. Мощности понижающих трансформаторов выбирались на порядок выше оптимальной

стандартной мощности, определенной по технико-экономическим показателям. На сегодняшний день расчет нагрузок жилых зданий регламентируют следующие документы: СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» и РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских электрических сетей» [3].

В настоящее время в области потребления электроэнергии населением можно отметить следующую ситуацию: с одной стороны наблюдается непрерывное увеличение видов бытового оборудования, потребляющего электрическую энергию (электроплиты, кондиционеры, вентиляционные системы и насосы, бытовая электроника и др.), с другой стороны потребители стремятся к экономии электроэнергии, используя аппаратуру более высокой категории энергосбережения. При этом проектирование трансформаторных подстанций по-прежнему подчиняется старым нормативам.

С целью оценки текущей ситуации на трансформаторных подстанциях жилых микрорайонов города Самары было проведено исследование загруженности трансформаторов. Рассмотрим анализ загруженности подстанций на примере трансформаторной подстанции 16/4, обслуживающей микрорайон «Радужный-Элит» (рис.1).

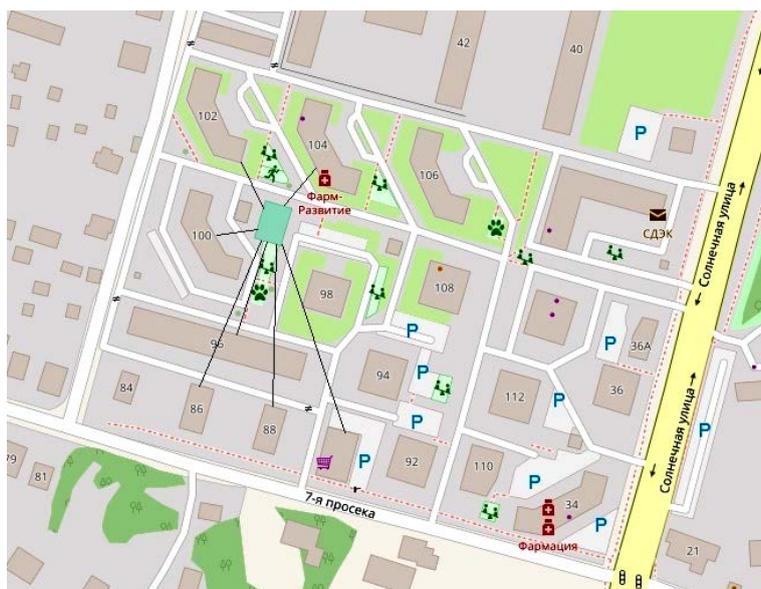


Рис. 1. Карта микрорайона «Радужный-Элит» с наглядным подключением жилых домов к трансформаторной подстанции 16/4

В состав рассматриваемой трансформаторной подстанции входит 2 группы трансформаторов: 2 по 400 кВА, к которым подключен дом №100, и 2 по 1250 кВА, к которым подключены все остальные жилые сооружения.

Для данной подстанции были сняты часовые графики энергопотребления за 2019 год. Согласно официальным данным по плановым часам пиковой нагрузки на 2019 год для территорий, предоставленным АО «СО ЕЭС», был проведен анализ нагрузки на трансформаторы, входящие в состав подстанции, и выявлены часы максимальной нагрузки, которые приходятся на зимний и на летний период [4].

На рисунках 2 и 3 показаны часовые графики трансформаторов с номинальной мощностью 400 и 1250 кВА соответственно на 18 августа и 26 декабря (пиковые нагрузки в зимний и летний периоды) в сравнении с номинальной мощностью.

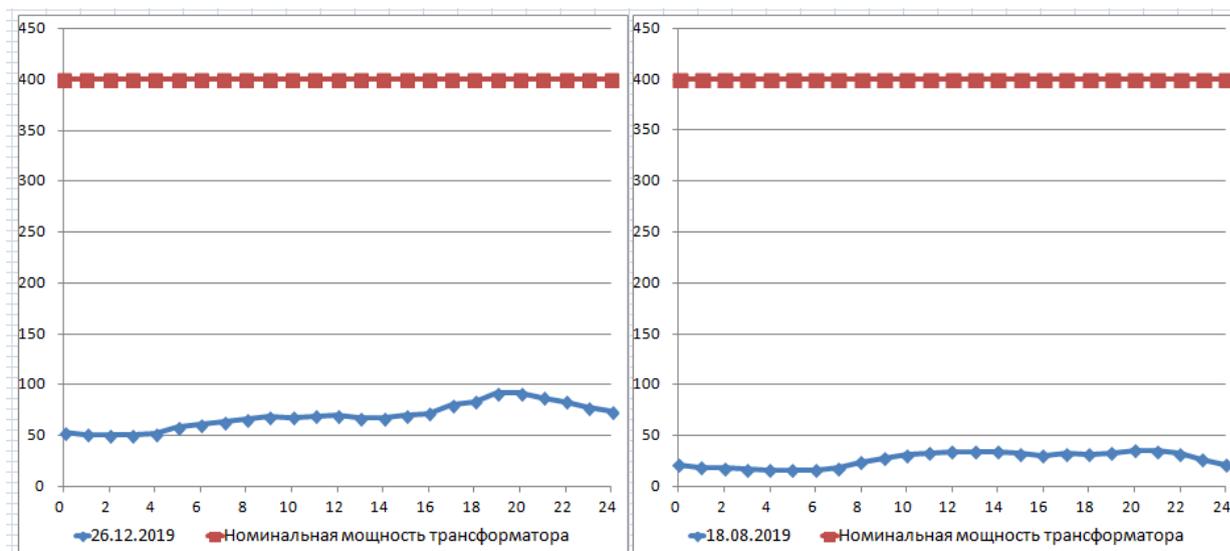


Рис. 2. Часовой график пиковой нагрузки в летний и зимний период для трансформаторов 400 кВА

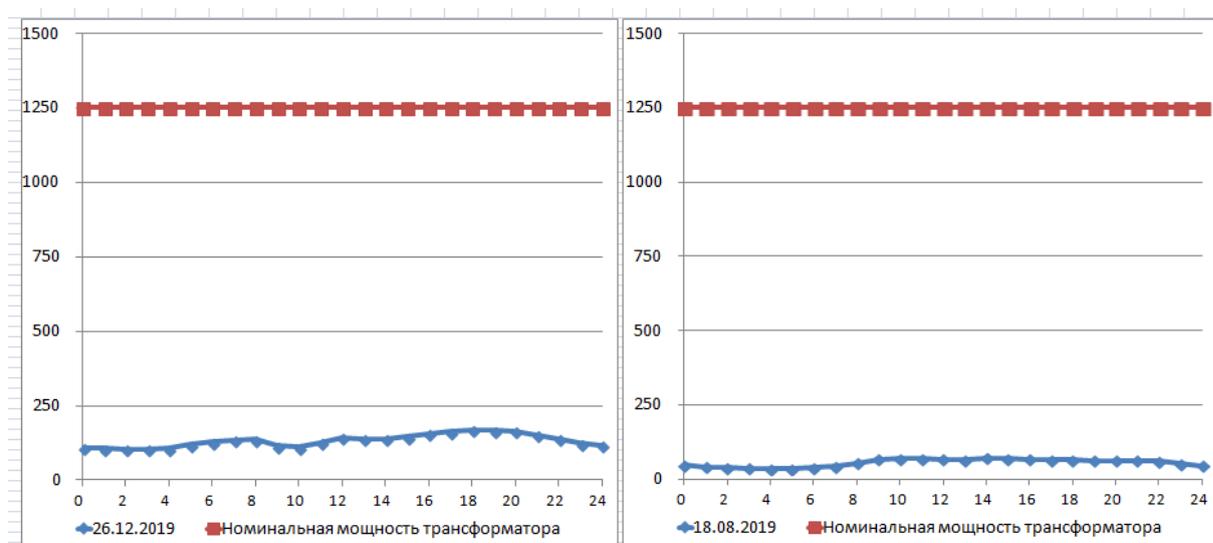


Рис. 3. Часовой график пиковой нагрузки в летний и зимний период для трансформаторов 1250 кВА

Среднегодовые коэффициенты загрузки трансформаторов были рассчитаны по формуле [5]:

$$K_3 = \frac{\sum_{T=1}^{365} \sum_{t=1}^{24} S_{Tt}}{n \cdot 24 \cdot 365 \cdot S_{НОМ}},$$

где T – дата когда был сделан замер;

t – час когда был сделан замер;

S_{Tt} – мощность на обмотке трансформатора на дату T , во время t ;

n – число трансформаторов;

$S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

В результате были получены следующие данные: среднегодовой коэффициент загрузки на трансформаторах 400 кВА составил 9%, а на трансформаторах 1250 кВА всего 6%.

Аналогичный анализ был проведен на подстанциях «Солнечный-2», «Солнечный-3» и «Волгарь» города Самары, близких по этажности застройки к микрорайону «Радужный-Элит». Загруженность трансформаторов варьировалась в пределах от 5% до 20% в зависимости от сезона.

Таким образом, из проведенного анализа следует, что трансформаторы на подстанциях, обслуживающих жилые микрорайоны недогружены. Такая ситуация является следствием повышенных требований к мощности трансформаторов при проектировании трансформаторных подстанций для жилого сектора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р // Собр. Законодательства РФ. - 2020. - № 24 (9 июня). - ст. 3847.

2. Гуминский А.Н. Повышение эффективности режимов работы двухтрансформаторной подстанции / А.Н. Гуминский // Вестник гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого – 2011. – № 3. – с. 74-81.

3. Федотов А.И., Кривов А.Н., Ахметшин А.Р. Методика расчета электрических нагрузок жилых и общественных зданий по фактическим данным. Сборник « Электроэнергетика глазами молодежи - 2017» Материалы VIII Международной научно-технической конференции. Самара, 02-06 октября 2017 г. 2017. С. 248-249.

4. Плановые часы пиковой нагрузки на 2019 год для территорий, отнесенных к ценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности, и территорий, отнесенных к неценовым зонам оптового рынка электрической энергии и мощности: [Электронный ресурс] // Официальный сайт Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы» (АО «СО ЕЭС»). URL: <https://www.so-ups.ru/news/newonsite-view/news/11955/> (дата обращения: 05.12.2022)

5. Додхудоев М.Д. Анализ схемы электроснабжения Варзобского района и оценка целесообразности её реконструкции / Додхудоев М.Д., Вохидов М.М.// Политехнический вестник. Серия: инженерные исследования – 2020. – № 4. – с. 26-30.

Ключевые слова: трансформатор, городские электрические сети, загруженность

Сведения об авторах:

Ведерников Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, декан электротехнического факультета Самарского государственного технического университета.

Танаев Николай Валерьевич – магистрант кафедры «Электрические станции» Самарского государственного технического университета.

e-mail: yudzero125@gmail.com

Адрес: г. Самара, ул. Ново-Садовая, 321а, кв.62

УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ НОРМАТИВНЫХ ЗНАЧЕНИЙ Г. МОСКВЫ И МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин, В.И. Солуянов

Расчет электрических нагрузок жилых и общественных зданий выполняется с использованием утвержденных нормативных требований, которые должны периодически актуализироваться с учетом изменения количества и электропотребления электроприемников. На сегодняшний день ввиду несвоевременного обновления нормативных требований строительные компании несут значительные затраты, доказательство чему низкая загрузка трансформаторных подстанций, которые редко бывают загружены более чем на 40% в часы максимума. Это приводит с одной стороны к неоправданным капиталовложениям, а с другой стороны к повышенным потерям электроэнергии в силовых трансформаторах в процессе эксплуатации. Цель исследования заключается в снижении стоимости технологического подключения к электрическим сетям жилых зданий путем проведения исследования фактических значений и на их основе разработке новых удельных электрических нагрузок. В статье представлен проект изменений № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», и приведён расчет эффекта от его применения на примере г. Москвы и Московской области.

Введение

Важным направлением совместной деятельности Ассоциации «Росэлектромонтаж» и КГЭУ является разработка новых удельных расчетных электрических нагрузок (УРЭН) жилых и общественных зданий на основе их фактических нагрузок, полученных от интеллектуальных систем учета

электроэнергии [1-3]. Проводимые исследования выявили значительное отличие нормативных (действующих) от фактических электрических нагрузок жилых и общественных зданий, а большая часть силовых трансформаторов (СТ) загружена менее чем на 30% [1-6].

Чем ниже нагрузка трансформаторной подстанции (ТП), тем выше потери электроэнергии [7]. Для примера на рис. 1а представлен график электрической нагрузки реальной ТП, состоящей из двух СТ мощностью по 1000 кВА каждый, питающих три многоквартирных жилых дома с общим количеством квартир 536.

Из рис. 1а видно, что электрическая нагрузка (синяя область) на один работающий СП в часы пик не превышает 22%, а в часы минимум снижается до 7%. При этом потери варьируются от 3 до 8% (красная кривая).

Если СТ заменить на менее мощный (соответствующий реальной нагрузке), например, установить два по 250 кВА, то потери можно уменьшить до 1,3-2,2% (красная кривая), рис. 1б.

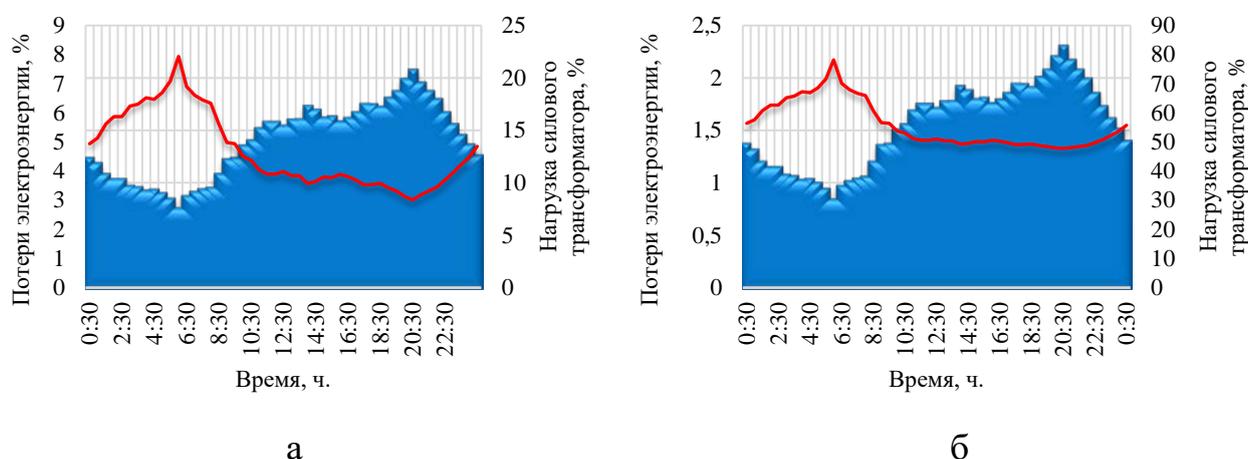


Рис. 1. График нагрузки (синяя область) и потерь электроэнергии (красная кривая) в СТ (а – 1000 кВА; б – 250 кВА).

Результаты, представленные в [1-3], позволили разработать проект изменения № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа», фрагмент которого для г. Москвы и Московской области (таблица 7.1а) представлен в табл. 1.

Таблица 1

Фрагмент «Таблица 7.1а – Удельная расчетная электрическая нагрузка»

№	Потребители электроэнергии	Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир, кВт/квартира				
		40	60	100	200	400
1.	Квартиры с плитами электрическими, мощностью 8,5 кВт	1,45	1,16	0,97	0,91	0,79

На рис. 2 представлена разница в УРЭН между изменениями № 4 и 6 к СП 256.1325800.2016.

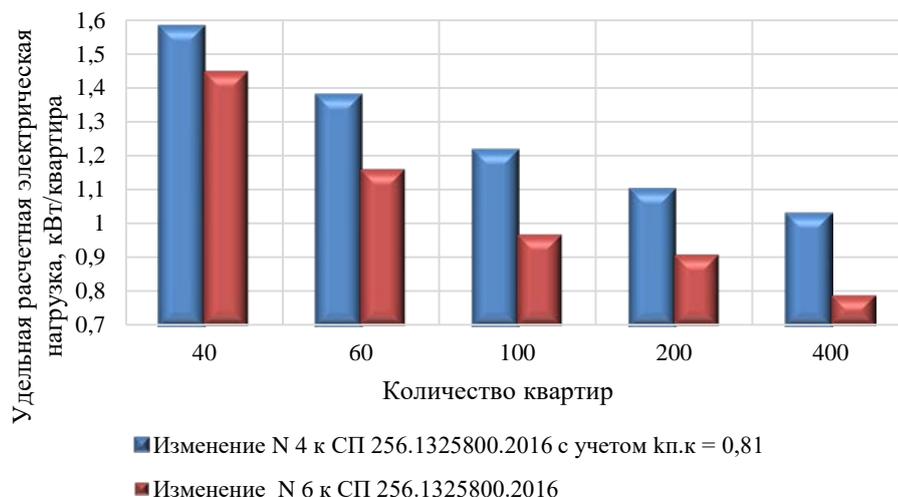


Рис. 2. Разница в УРЭН изменений № 4 и 6 к СП 256.1325800.2016

Для оценки эффективности применения изменения № 6 к СП 256.1325800.2016 приведён пример расчета электрической нагрузки 17 этажного 6 подъездного жилого дома, состоящего из 400 квартир, строящегося в г. Москве для двух вариантов (1. Вариант - изменения № 4 к СП 256.1325800.2016; 2. Вариант - изменения № 6 к СП 256.1325800.2016).

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП от электроприемников квартир определяется по формуле:

$$\text{Вариант: } P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n = 1,27 \cdot 400 = 508 \text{ кВт.}$$

$$\text{Вариант: } P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n = 0,79 \cdot 400 = 319 \text{ кВт.}$$

Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок для двух вариантов идентична, определяется по формуле:

$$P_{\text{р.л}} = K_{\text{с.л}} \sum_1^{n_{\text{л}}} P_{ni} = 0,53 \cdot (6 \cdot 5 + 6 \cdot 15) = 63,6 \text{ кВт.}$$

Нагрузка насосов для двух вариантов идентична: $P_{\text{кнс}} = 18 \text{ кВт}$ и $P_{\text{дн}} = 1,92 \text{ кВт}$.

Расчетная нагрузка жилого дома определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Вариант: } P_{\text{р.ж.д}} &= k_{\text{п.к}} \cdot P_{\text{кв}} + 0,9 \cdot (P_{\text{кнс}} + P_{\text{дн}} + P_{\text{рл}}) = \\ &= 0,81 \cdot 508 + 0,9 \cdot (2 \cdot 18 + 2 \cdot 1,92 + 63,6) = 504,5 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Вариант: } P_{\text{р.ж.д}} &= P_{\text{кв}} + 0,9 \cdot (P_{\text{кнс}} + P_{\text{дн}} + P_{\text{рл}}) = \\ &= 316 + 0,9 \cdot (2 \cdot 18 + 2 \cdot 1,92 + 63,6) = 409,1 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Заключение

Технико-экономический эффект от использования новых нормативов заключается в снижении расходов на системы электроснабжения и затрат на оплату мощности технологического присоединения.

В сравнении с имеющимися аналогичными работами полученные в настоящее время результаты являются уникальными по масштабности и длительности измерений, что позволяет их положить в основу переработки соответствующего раздела СП 256.1325800.2016.

Вместе с тем необходимо учитывать, что они применимы именно к г. Москве и Московской области. Для остальных субъектов РФ необходимо проведение аналогичных исследований для оценки возможности распространения полученных нормативов и на другие регионы. Можно ожидать, что в южных регионах страны максимальная нагрузка будет приходиться на летние месяцы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Soluyanov, Y.** Application of Digital Technologies to Analyze the Actual Electrical Loads of Multi-Apartment Residential Buildings / Y. Soluyanov, A. Akhmetshin, V. Soluyanov // Proceedings - 2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2022, – Sochi, 2022. – P. 153-157. – DOI 10.1109/ICIEAM54945.2022.9787163. – EDN GCNUTN.
2. **Soluyanov, Y.** Calculation of New Electrical Loads for Public Premises Included in Multi-Apartment Residential Buildings / Y.I. Soluyanov, A.I. Fedotov, A.R. Akhmetshin, V.I. Soluyanov // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022. – Moscow, 2022. – DOI 10.1109/REEPE53907.2022.9731455. – EDN TYYZOU.
3. **Солуянов, Ю.И.** Анализ фактических электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы / Ю.И. Солуянов, Н.В. Чернова, А.И. Федотов, А.Р. Ахметшин // Промышленная энергетика. – 2022. – № 9. – С. 12-19. – DOI 10.34831/EP.2022.82.36.002. – EDN KBOZXD.
4. **Vyalkova, S.** Analysis of hybrid model error of short-term forecast of energy consumption in Moscow / S. Vyalkova, I. Nadtocka // Proceedings - 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2021, – Sochi, 2021. – P. 802-806. – DOI 10.1109/ICIEAM51226.2021.9446344. – EDN XJKMFF.
5. **Vyalkova, S.A.** Development of mathematical models for the short-term forecasting of daily consumption schedules of active power by Moscow / S.A. Vyalkova, I. Nadtocka, O. Kornukova // Journal of Physics: Conference Series: – Omsk, 2021. – P. 012082. – DOI 10.1088/1742-6596/1901/1/012082. – EDN BSQUPW.
6. **Вялкова, С.А.** Разработка моделей краткосрочного прогнозирования суточных графиков активной мощности Г. Москвы / С.А. Вялкова, О.А. Корнюкова, И.И. Надтока // Проблемы машиноведения: Материалы V Международной научно-технической конференции, Омск, 16–17 марта 2021 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 166-173. – DOI 10.25206/978-5-8149-3246-4-2021-166-173. – EDN BWIZLD.
7. **Грачева, Е.И.** Влияние нагрузочной способности силовых трансформаторов на их эксплуатационные характеристики / Е.И. Грачева, О.В. Наумов, Е.А. Федотов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – Т. 19. – № 7-8. – С. 71-77.

Ключевые слова: удельные расчетные электрические нагрузки, резервная электрическая мощность, график электрической нагрузки, электроснабжение, многоквартирные жилые дома.

Сведения об авторах:

Федотов Александр Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова» Казанского государственного энергетического университета.

Ахметшин Азат Ринатович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета.

Солуянов Владимир Иванович – аспирант кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова» Казанского государственного энергетического университета.

e-mail: dr.akhmetshin@ieee.org

Адрес: г. Казань, ул. Красносельская, 51

УДК 621.3

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ МЕТОД СИСТЕМАТИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗА ДАННЫХ УЧЕТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Е.М. Николюкина

Введение

Энергетическое обследование (энергоаудит) является неотъемлемой частью любой программы, направленной на экономию энергии, так как позволяет замерить существующий уровень энергетических расходов, выявить сектора с наибольшими потерями энергии, определить потенциал для энергосбережения и на основе полученных данных составить программу по внедрению энергосберегающих технологий.

Мониторинг энергопотребления необходим для оценки эффективности энергозатрат в целом и эффективности внедрения энергосберегающих мероприятий с целью прогнозирования и планирования на будущее. [1]

Теория вопроса

Теоретическую основу составили законодательные, нормативные акты, регламентирующие требования к системам электроснабжения: Федеральный

закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» №261-ФЗ, СанПиН 2.4.2.2821-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных учреждениях», постановления Правительства РФ.

Информационной базой исследования послужили данные, предоставленные кафедрой «Электроэнергетика» ФГБОУ ВО «ТГТУ», материалы, представленные в сети Интернет.

Методика проведения исследования

Информационной базой для проведения исследования стали данные Финансово-аналитического отдела ФГБОУ ВО «ТГТУ» по потребленной электрической энергии за период март-май 2022 года. На основании данных счетов на оплату, проведены аналитические расчеты о потреблении электрической энергии учебных корпусов, административных зданий, общежития и объектов спортивного назначения. По приведенным ниже данным сделаны следующие выводы в табл.1. [2]

Описание метода исследований

Таблица 1

Количество потребленной электрической энергии за период по горизонтальному методу анализа, кВт*ч

	мар.22	апр.22	май.22
Кол-во потреб.ээ, кВт*ч	261798	140730	166557

Наглядно отобразим на рисунке 1.



Рис. 1. Динамика потребления электрической энергии март-май 2022 г.

При применении горизонтального метода анализа выявлено, что количество потребленной электрической энергии за март 2022 составило 261798 кВт*ч, за апрель 140730 кВт*ч, снижение потребления относительно марта на 121068 кВт*ч (46,24%). Снижение обусловлено увеличением светового дня, что повлекло за собой уменьшение потребляемой электроэнергии осветительными

приборами в учебных корпусах и общежитиях, а также уменьшения количества учебных часов в корпусах в виду снижения потока студентов выпускных курсов.

В мае наблюдается увеличение потребления электрической энергии относительно апреля на 18% и составило 25857 кВт*ч за счет увеличения времени пребывания студентов в виду подготовкой к экзаменационной сессии.

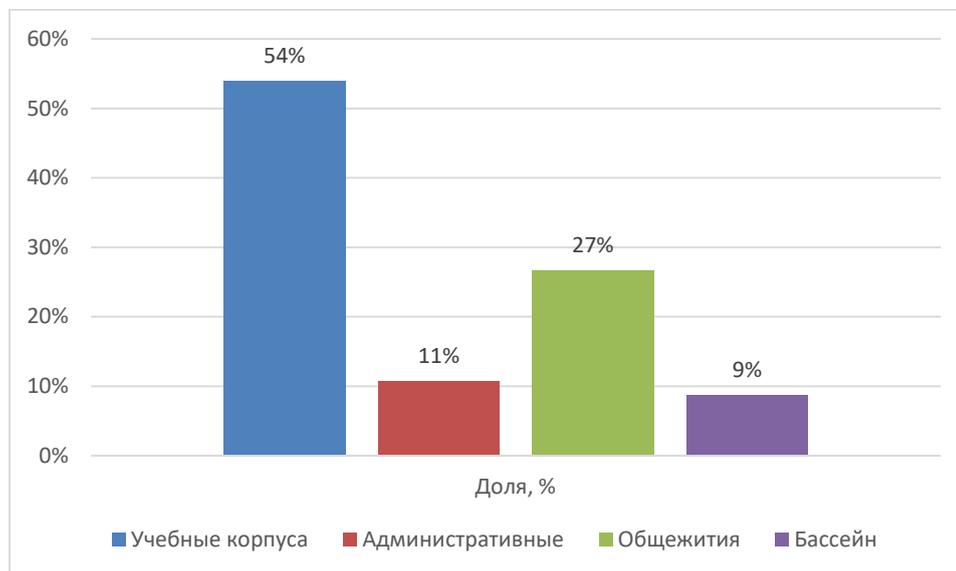


Рис. 2. Структура потребления электрической энергии по назначению помещений по вертикальному методу анализа

При проведении вертикального анализа данных доля потребляемой энергии учебными корпусами составила: учебные корпуса – 54%; административные помещения – 11%; общежития – 27%; бассейн – 9%

Так как на учебные корпуса приходится наибольшая доля потребления электрической энергии необходимо предпринять следующие мероприятия для снижения потребления:

1. Провести анализ нагрузки по каждому учебному корпусу за полный календарный год, который должен будет включать почасовую аналитику нагрузок ежемесячно;
2. Выявить пиковые значения потребления, определить объекты наибольшего энергопотребления;
3. Проанализировать взаимосвязь повышенных нагрузок с учебным расписанием;
4. Внести предложения в учебно-организационный отдел о корректировке времени проведения лабораторных и практических занятий в целях энергосбережения и оптимизации затрат учебных корпусов на электрическую энергию.

Заключение

Разработка мер по регулированию потребления электрической энергии в учебных корпусах университета является необходимой. Внедрение современных

решений по уменьшению потребления уже ведутся на кафедре «Электроэнергетика» ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Разработка плана периодического энергетического обследования университета позволит рационально использовать ресурсы и направлять высвободившиеся средства на модернизацию систем электроснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ [Электронный ресурс]. – URL: <https://zdamsam.ru/a71808.html>

2. Финансово-аналитический отдел ФГБОУ ВО «ТГТУ» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.tstu.ru/r.php?r=struct.structure.depart.uk-fao.fin_uk-fao

3. **Николюкина Е.М.** Изучение современных решений энергоэффективного потребления осветительных установок для учебного корпуса ФГБОУ ВО «ТГТУ» [Текст] / Е.М. Николюкина // ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ Вып. III [Электронный ресурс] : материалы Третьей Всероссийской научной конференции / отв. ред. Т. И. Чернышова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

4. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л.И. Коверникова, В.В. Суднова, Р.Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2017. – 219 с

5. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В БЮДЖЕТНОМ СЕКТОРЕ [Электронный ресурс]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/10833>

6. Постановление Правительства РФ от 07.10.2019 №1289 «О требованиях к снижению государственными (муниципальными) учреждениями в сопоставимых условиях суммарного объема, потребляемых ими дизельного и иного топлива, мазута, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, угля, а также объема потребляемой ими воды» – КонсультантПлюс, 2021 г.

7. **Алексеев М.В.** ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ // The Scientific Heritage. 2021. №71-2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoberezhenie-i-povyshenie-energeticheskoy-effektivnosti-obrazovatelnyh-uchrezhdeniy>

Ключевые слова: энергоаудит, экономия энергии, повышение энергоэффективности, образовательные учреждения.

Сведения об авторе:

Николюкина Екатерина Михайловна – аспирант 1 курса кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

e-mail: nikolykina@mail.ru

Адрес: г. Тамбов, ул. Советская, 106.

УДК 621.3

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЭЛАСТОМЕРЫ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

ФГБОУ ВО «Гамбовский государственный технический университет»

Н.В. Земцова, А.В. Щегольков

В современной практике создания наномодифицированных материалов получили распространение углеродные наноструктуры. Наиболее перспективными являются наномодифицированные композиты на основе эластичных матриц и проводящих добавок, имеющих морфологическую структуру в виде многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ). Принципиальной особенностью МУНТ является возможность реализации принципиально новых и более эффективных технологических режимов для различных типов функциональных композитов.

Введение

Современная практика в области материаловедения включает в себя подходы, связанные с созданием новых типов функциональных материалов, которые используют в своей основе междисциплинарные принципы, содержащие в себе разнообразные взаимодополняющие научные направления. В частности, это наука о материалах, которая может сочетаться с фундаментальными принципами физической химии, электрофизики и электротехнологий [1, 2]. Существенный интерес представляют собой функциональные материалы, включающие в себя свойства саморегулируемого электронагрева [3, 4], а также различные типы электроактивных материалов [5] и материалов, обеспечивающих реализацию электрокалорического эффекта [6], который может быть использован при создании надежных устройств для систем охлаждения на принципе перехода механической энергии в термическую. Практическая значимость создания наномодифицированных эластомеров определяет основную цель исследований, связанную с подбором определенного типа эластичной матрицы и проводящих добавок, что позволяет добиваться оптимизации режимных и конструктивных параметров устройств, в которых представленные материалы выполняют функциональные задачи.

Теория вопроса

Модель электропроводности эластомера с МУНТ и дисперсными частицами имеет вид [7]:

$$\sigma = \sigma_c + (\sigma_m - \sigma_c)[(\varphi - \varphi_c)/(F - \varphi_c)]^t \quad (1)$$

где σ_m — электропроводность эластомера при максимальном массовом содержании проводящих добавок (См/см),

σ — электропроводность эластомера (См/см),

σ_c — электропроводность эластомера на пороге перколяции (См/см),

F — максимальная объемная доля наполнителя (МУНТ и дисперсных металлических частиц),

ϕ — объемная доля проводящего наполнителя,

ϕ_c — объемная доля проводящего наполнителя (МУНТ) на пороге перколяции,

t — критический показатель.

Для эластомеров теплопроводность рассчитывается:

$$\lambda = \lambda(T) = \lambda(T_{cp}(t)) = \frac{Lq_L(t) - C(T) \frac{d}{dt} \int_0^L xT(x,t) dx}{T_0(t) - T_L(t)}, \quad (2)$$

где $C(T)$ — теплоемкость наномодифицированного эластомера, Дж/(м³·°С); L — толщина образца эластомера, м; q_L — тепловой поток на поверхности образца эластомера, Вт/м²; t — время, с; T — температура, °С; x — координата по толщине образца эластомера, м.

Методика проведения исследований

Для исследования были изготовлены образцы на основе двухкомпонентных эластомеров. В качестве матрицы эластомера были использованы: Силагерм 8020, Силагерм 8030, Силагерм 8040 (таблица 1).

Таблица 1

Параметры матриц эластомеров

Параметры эластомеров	Силагерм 8020	Силагерм 8030	Силагерм 8040
Твердость по Шору А	20-25	25-35	35-45
Вязкость при 20 °С, СПз	5000-7000	8000-10000	10000-15000
Длительность застывания эластомеров, мин.	30-90	30-90	30-90
Кратность удлинения при разрыве, %	5	4,5	5
Прочность при растяжении, МПа	3,0-4,0	3,5-4,5	4,0-5,0

Для получения образца производили смешение материала с помощью лабораторного смесителя РТ2.

В качестве источника электрической энергии использовался автотрансформатор (мощностью до 2 кВт). Для измерения электрофизических параметров применялись мультиметры UNI-T UT61E+, D+ и VC9808+,

подключаемые к персональному компьютеру (Ноутбук HUAWEI MateBook D 15 (256GB)).

Для измерения теплопроводности и температуропроводности использовали прибор ИИС НК ТФСМ.

Для исследования тепловыделений на поверхности образцов нагревателей применялся тепловизор Testo 875-1. Обработка данных (термограмм), полученных в процессе тепловизионных измерений, выполнялась с применением программы «testo IIRSoft 4.8».

Описание метода исследований

Исследование с помощью просвечивающей микроскопии (ПЭМ) показало, что МУНТ имеет такую морфологию (рис. 1 (а)), при которой происходит формирование разрозненных электропроводящих сетей в матрице эластомера. При этом могут наблюдаться отдельные выступы МУНТ.

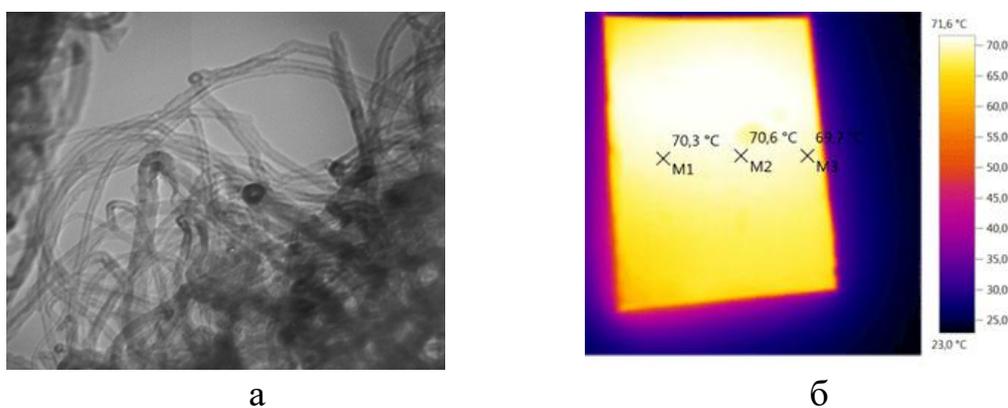


Рис. 1. а – ПЭМ изображение МУНТ, синтезированных на катализаторе $\text{Co-Mo/Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$; б – тепловизионный снимок электронагревателя

Электронагреватели с самоустанавливающимся температурным режимом на основе эластомеров, модифицированных МУНТ, предназначены для электронагрева, а также для создания комфортных условий и снижения потребления электрической энергии в различных сферах и технологиях. Данные нагреватели обладают следующими геометрическими параметрами: толщина от 0,0001 и до 0,009 м, длина от 2 до 50 см, ширина от 2 до 50 см. Равномерность распределения температурного поля на поверхности нагревателя не превышает 3 °С (рис. 1 (б)). КПД нагревателя составляет 95%, а удельная мощность доходит до 220 Вт.

Заключение

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что данный функциональный материал эффективен в качестве электронагревателя для систем отопления, а также при использовании в датчиках и приводах на основе наномодифицированных эластомеров. Выявлено, что введение МУНТ в матрицу эластомера способствует формированию такого уровня полимерного

композита, при котором при приложенном напряжении наблюдаются устойчивые тепловыделения. Применение такого материала для электронагрева позволит создать комфортные условия и сократит потребление электрической энергии во многих сферах и технологиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Wu, Z.P.** Preparation of large-area double-walled carbon nanotube films and application as film heater / Z.P. Wu, J.N. Wang; *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 2009. – 77-81 p. – Text: electronic.

2. **Zhang, Q.** Flexible stretchable electrothermally/photothermally dual-driven heaters from nano-embedded hierarchical CuxS-Coated PET fabrics for all-weather wearable thermal management / Q. Zhang, D. Liu, W. Pan, H. Pei, K. Wang, S. Xu, Y. Liu, S. Cao; *Journal of Colloid and Interface Science*, 2022. – 564-578 p. – Text: electronic.

3. **Wu, J.-X.** Self-regulated thermal comfort control for wearable heating device / J.-X. Wu, Y.-C. Liao; *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2021. – 74-80 p. – Text: electronic.

4. **Zhang, X.** Flexible and waterproof nitrogen-doped carbon nanotube arrays on cotton-derived carbon fiber for electromagnetic wave absorption and electric-thermal conversion / X. Zhang, M. Liu, J. Xu, Q. Ouyang, C. Zhu, X. Zhang, X. Zhang, Y. Chen; *Chemical Engineering Journal*, 2022. – 133794 p. – Text: electronic.

5. **Dezaki, M.L.** Magnetorheological elastomers based 4D printed electroactive composite actuators / M.L. Dezaki, M. Bodaghi; *Sensors and Actuators A: Physical*, 2023. – 114063 p. – Text: electronic.

6. **Wang, K.** Additive manufactured thermoplastic elastomers for low-stress driven elastocaloric cooling / K. Wang, K. Engelbrecht, C.R.H. Bahl; *Applied Materials Today*, 2023. – 101711 p. – Text: electronic.

7. **Mamunya, Y.P.** Electrical and thermal conductivity of polymers filled with metal powders / Y.P. Mamunya, V.V. Davydenko, P. Pissis, E.V. Lebedev; *European Polymer Journal*, 2002. – 1887–1897 p. – Text: electronic.

Ключевые слова: электронагреватель, МУНТ, саморегулирование температуры, эластомер, композитный материал.

Сведения об авторах

Земцова Наталия Викторовна – аспирант кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» Тамбовского государственного технического университета.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» Тамбовского государственного технического университета.

e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru

Адрес: Тамбовская обл., г. Рассказово, ул. 1-я Гражданская, д. 8, кв. 9.

УДК 621.3

ПЕРЕЗАПИТКА УСТАНОВКИ «ПЕЧЬ-КОВШ» КЦ-1 С ГПП-19 НА ГПП-7 НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПАО «НЛМК»

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Лаврухин Р.В., Зацепина В.И.

В работе были проведены расчеты для выбора и установки силового трансформатора на ГПП-7 для перезапитки агрегата «Печь-ковш», чтобы создать ремонтный режим в узле. Были произведены расчеты по выбору ОПН, ТН (трансформатора напряжения) Составлена предполагаемая схема в программе Компас 3D.

Введение

В связи с определенными трудностями создания ремонтного режима на подстанции ГПП-19 необходимо переключить питание агрегатов «Печь-ковш» КЦ-1 с ГПП-19 на ГПП-7.

Теория вопроса

Агрегат ковш-печь или установка ковш-печь, также агрегат комплексной обработки стали (АКОС) — это звено в единой технологической схеме с дуговыми печами, конвертерами и мартенами для доведения металла в ковше, после его выпуска из плавильного агрегата, до заданной температуры и химического состава. Агрегат ковш-печь используется в комплексе с плавильными агрегатами, в которых выплавляется полупродукт. В качестве таких агрегатов используются кислородные конвертеры, дуговые и мартеновские печи, в которых проводятся расплавление металлолома и ферросплавов с малым угаром и проводится окислительный период. Затем металл сливают в стальковш, по возможности исключая попадание в него печного шлака. До и во время выпуска металла в ковш отдаются раскислители, шлакообразующие и легирующие материалы.

Методика проведения исследования

Чтобы правильно сделать выбор силового трансформатора, для начала нужно выбрать место его запитки на подстанции ПАО «НЛМК». После сделанного выбора просчитываем мощность, потребляемую установками. В данном случае это установки «Печь-ковш» нагрузки АПК-1, АПК-2. Произвести расчет и выбрать силовой трансформатор. После того, как был произведен выбор силовой установки, производится кабеля, который будет прокладываться

Описание метода исследования

Для запитки ОРУ 110/35 было выбрано 2 места. Это ТЭЦ НЛМК и РП-2. На схемах в дальнейшем будет произведена прокладка кабельной трассы для расчета затрат, чтобы присоединиться к ГПП-7 и рассчитать из какой точки выгоднее запитать открытое распределительное устройство. При выборе варианта протяжки кабеля до места подключения ОРУ, было принято решение протянуть КЛ (кабельную линию), так как связи большого количества построек и габаритов, ВЛ провести будет проблематично.

При выборе трансформаторов в первую очередь необходимо определить полную расчетную мощность подстанции по формуле:

$$S_{\max} = \sum_{i=1}^i S_i$$

где S_i – мощность i – го потребителя, кВт.

Далее найдем расчетную реактивную мощность по формуле

$$Q_{\max} = P_{\max} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$\operatorname{tg} \varphi$ определен исходя из того, что $\cos \varphi$ выбран равным 0,85

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} = \sqrt{\frac{1}{0.85^2} - 1} = 0,62$$

Для того чтобы выбрать выключатель для кабельной линии нужно произвести расчет токовых нагрузок при нормальном режиме работы. Рассчитаем токовые нагрузки АПК 1 и АПК 2 «Печь-ковш». Формула для расчета токовой нагрузки:

$$I_{\text{норм}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}},$$

где $I_{\text{норм}}$ - нормальный ток работы, А;

$U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение, В;

$S_{\text{ном}}$ - номинальная мощность, Вт.

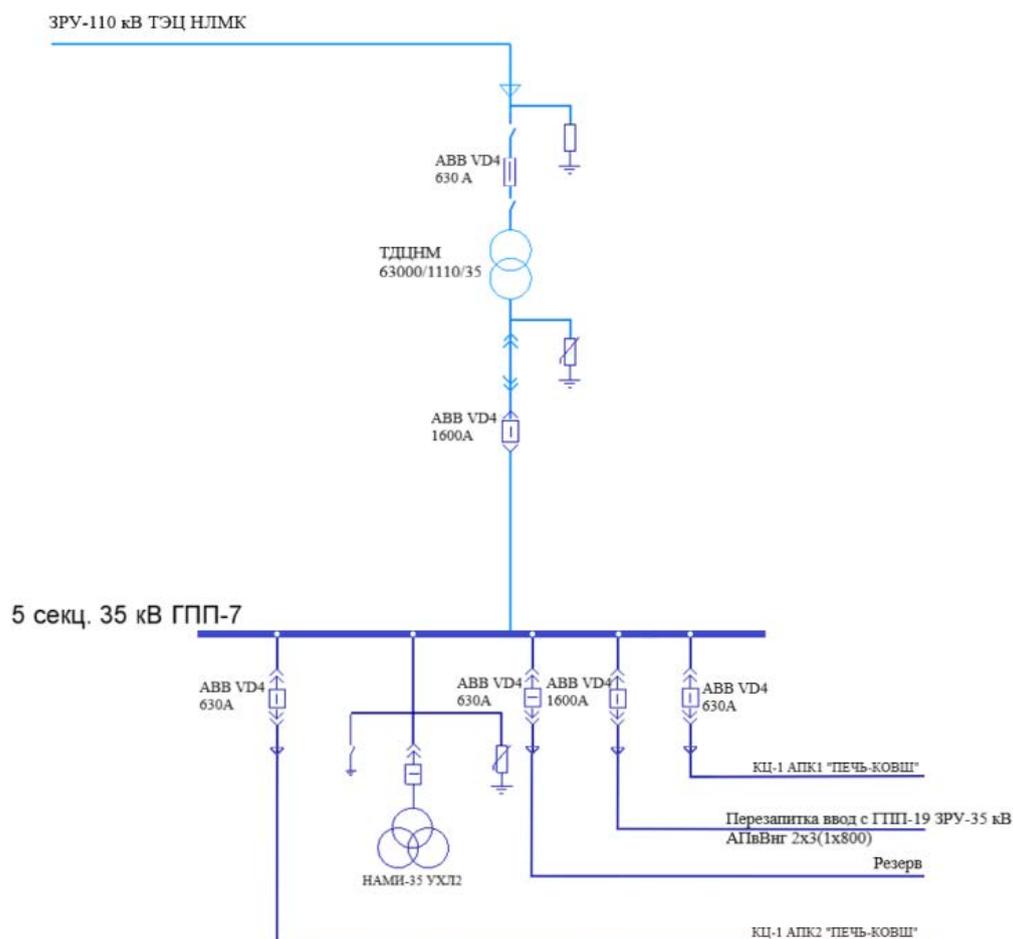


Рис.1 Схема с третьим трансформатором на ГПП-7

Заключение

При добавлении силового трансформатора на производстве ПАО «НЛМК» на главную понизительную подстанцию – 7 была решена проблема с ремонтным узлом на ГПП-19 путем переподключения двух установок «Печь-ковш» мощностью 25МВт каждая. Это дает возможность выводить в резерв ячейки на подстанции, где раньше находились эти установки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Быстрицкий, Г.Ф., Кудрин, Б.И. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов/Г.Ф. Быстрицкий, Б.И. Кудрин.- М.: Техническая литература, 2003.- 176с.
2. Перемутер, Н.М., Электромонтер - обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин и трансформаторов: Учебник/Н.М. Перельмутер.- М.: Высшая школа, 1984.- 328с.
3. , Анатолий Компас-3D V10 (+ CD-ROM) / Анатолий Герасимов. - М.: БХВ-Петербург, 2015. - 976 с.

Ключевые слова: Трансформатор напряжения, силовой трансформатор, емкостной ток, силовой кабель, ОРУ

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Лаврухин Роман Владимирович – бакалавр 4 курса кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета. Лаборант кафедры Электрооборудования.

e-mail: roma.lav021@gamil.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

УДК 621.3

КОМПЕНСАЦИЯ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ПРИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ НА ПРОИЗВОДСТВЕ ПАО «НЛМК»

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Воронин М.С., Зацепина В.И.

В работе были проведены расчеты емкостного тока, построена схема в программе Simulink Matlab и выбор компенсирующих установок на ГПП-2 для компенсации емкостных токов.

Введение

На предприятии НЛМК существует проблема с компенсацией емкостных токов на ГПП-2. Из-за этого возможны неблагоприятные последствия на производстве.

Теория вопроса

В сетях 10 кВ с изолированной нейтралью однофазное замыкание на землю замыкается через емкости неповрежденных фаз и может достигать больших значений. Данное повреждение может вызвать ряд серьезных повреждений электрической сети, а также навредить здоровью работающему персоналу на предприятии. Для компенсации емкостных токов при однофазных замыканиях на землю и уменьшения рисков возникновения электрической дуги необходимо установить дугогасящий агрегат или высокоомный резистор.

Методика проведения исследования

Чтобы правильно подобрать компенсирующие устройства в сети 10 кВ использовалась программа Simulink Matlab в которой можно спроектировать электрическую сеть с помощью специальных инструментов, которые имитируют работу электрической сети и различные переходные процессы. А дальше с помощью формул рассчитывается мощность дугогасящего агрегата и сопротивление высокоомного резистора.

Описание метода исследования

Для проведения исследования электрической сети была спроектирована электрическая система, которая имитирует работу одной секции шин. Данная схема представлена ниже, на ней изображен источник 110 кВ, далее идет двухобмоточный трансформатор 110/10 кВ, который имитирует работу трехобмоточного трансформатора ТРДЦНК 63000/110 с расщепленной обмоткой. Далее идет линия от трансформатора до секции шин к которой присоединен мультиметр, после него к линии подключен короткозамыкатель, который имитирует однофазное короткое замыкание на землю. Далее изображена линия от секции шин до потребителей на предприятии. В этой схеме можно узнать значение протекающего тока по нейтрали с помощью блока Current Measurement1, а также значение протекающего тока на каждой фазе и напряжение с помощью блока Three-Phase 5-1 Measurement, который на схеме обозначен как мультиметр, и к блоку Three-Phase 5-1 Measurement подключены блоки Scope которые выводят диаграммы.

Смоделировав электрическую сеть и найдя емкостной ток в данной сети можно рассчитать необходимые значения для компенсирующих устройств. Чтобы выбрать дугогасящий агрегат (ДГА) необходимо рассчитать его мощность с помощью формулы:

$$Q_k = I_c \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}},$$

где Q_k – мощность дугогасящего агрегата, I_c – емкостной ток, U_n – номинальное напряжение сети.

Найдя необходимую мощность для выбора ДГА я выбрал дугогасящий агрегат АДМК с плавным конденсаторным регулированием, который представлен собой фильтр нейтралеобразующий присоединительный и дугогасящий реактор, расположенные в общем конструктиве. Он будет компенсировать емкостной ток при однофазных замыканиях на землю в сетях 6-10 кВ и уменьшать перенапряжение при повторных зажиганиях дуги. Также найдем сопротивление высокоомного резистора по формуле:

$$R_N \leq \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot I_c},$$

где R_N – сопротивление высокоомного резистора, $U_{ВН}$ – напряжение по высокой стороне, I_c – емкостной ток.

По найденному значению выбран высокоомный резистор РЗН ВО 6-35.

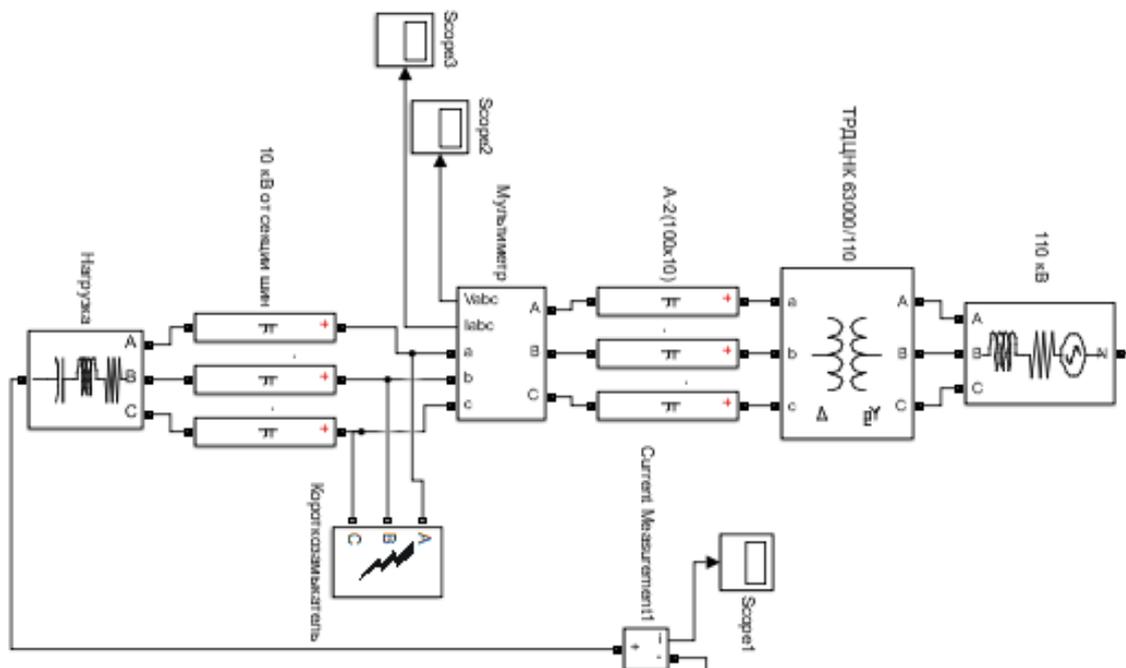


Рис. 1. Имитируемая трехфазная система электроснабжения

Заключение

Данные расчеты емкостного тока на ГПП-2 предприятия ПАО НЛМК помогут компенсировать емкостной ток при однофазных замыканиях на землю и снизят риск попадания человека под напряжение. Так дугогасящий агрегат компенсирует емкостную составляющую в сети, оставляя только активную часть, его нужно установить на каждую секцию шин с одинаковыми мощностями. А при установке высокоомного резистора также можно предотвратить повторного возгорания электрической дуги и пробой изоляции на аварийном участке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

4. **Утегулов Б.Б.** Разработка способа компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрической сети 6-10 Кв [Текст]/ Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов, А.Б. Уахитова, М.К. Жанкуанышев // Наука и техника Казахстана. – Павлодар, 2010. – С. 44-46.

5. **Васягин А.А.** Компенсация емкостных токов [Текст]/ А.А. Васягин, Л.Ю. Шелехина, Л.В. Владимиров // Наука и молодёжь в XXI веке: Материалы Всероссийской студенческой научной конференции. – Омск, 2015. – С. 43-46.

6. **Черных И.В.** Моделирование электрических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.

Ключевые слова: дугогасящий агрегат, высокоомный резистор, компенсация, емкостной ток, Simulink Matlab.

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

Воронин Михаил Сергеевич – бакалавр 4 курса кафедры «Электрооборудования» Липецкого государственного технического университета.

e-mail: m.voron4a@mail.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30.

УДК 621.3

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДИСПЕЧЕРСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА ПОДСТАНЦИЯХ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

А.В. Гладких, В.И. Зацепина

Одной из главных задач в современной энергетике, является цифровизация и переход от традиционных подстанций к цифровым. В связи с этим с 2018 г. в соответствии с Национальной программой «Цифровая экономика РФ» на территории России стала активно развиваться тенденция цифровизации всех отраслей, в том числе и энергетики. Одним из самых успешных вариантов является модернизация уже существующих подстанций, такой метод позволяет сократить затраты и сроки выполнения работ.

Также стоит отметить, что существует определённый стандарт МЭК 61850[1], по которому чаще всего производится модернизация подстанций. Единый стандарт позволяет наиболее быстро провести модернизацию подстанции, так как требуется меньше времени на планировку и разработку плана подстанции.

Введение

В данной работе предложен способ модернизации диспетчерского комплекса традиционной подстанции на основе МЭК 6185. При этом основным изменением станет смена централизованного РЗА (релейная защита и автоматика) на децентрализованное РЗА.

Теория вопроса

Предложение метода модернизации традиционной подстанции, для улучшения работы и повышения функционала подстанции.

Методика проведения исследований

Применение стандартов МЭК 61850 позволяет модернизировать традиционную подстанцию в цифровую или полуцифровую, что является важным критерием в рамках цифровизации энергетики. Применение протоколов МЭК 61850 позволяет производить передачу аналоговых измерений в цифровой форме и также передачу дискретной информации между терминалами РЗА

Преимуществом передачи аналоговой и дискретной информации в цифровом виде является снижение длины цепи тока и напряжения, понижение нагруженности трансформаторов тока, а также уменьшение терминалов РЗА, что позволит более плотно их укомплектовать.[2]

Описание метода исследований

В качестве одного из способов, для более эффективной передачи дискретных данных между терминалами РЗА и первичным оборудованием, я хочу предложить децентрализацию терминалов релейной защиты, на основе протокола МЭК 61850[3]. Чтобы убедиться в эффективности данного метода проведем сравнения традиционной подстанции и подстанции с децентрализованной системой терминалов релейной защиты, данные будут занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Сравнение технических решений

Данные	Традиционная подстанция	Подстанция с децентрализованной системой релейной защиты
Количество шкафов РЗА	6	2
Количество дискретных связей	Многократное	Минимальное
Характеристика дискретных связей	Значительная длина	Минимальная длина
Общее количество терминалов	≤ 50	≤ 30

Как мы можем заметить предложенный мною метод децентрализации терминалов РЗА позволяет улучшить сразу несколько показателей работы подстанции, а значит оправдывает вложения и время для его реализации.

Заключение

В данной работе был предложен метод модернизации диспетчерского участка традиционной подстанции, основанный на едином стандарте МЭК 61850,

который позволит улучшить эффективность подстанции. В качестве модификации было предложено изменить систему релейной защиты и автоматики и перевести её на децентрализованную систему использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стандарт МЭК 61850 на цифровой подстанции [Текст] / Вей П. Тен Е.Е. // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке - 2021. С. 14-18.
2. Три варианта цифровизации электрических подстанций 35-110 кВ [Текст] / Ожегоа А.Н., Астанина С.Р. // В сборнике: Общество. Наука. Инновации (НПК-2022). Сборник статей XXII Всероссийской научно-практической конференции. В 2-х томах. Киров - 2022. С. 424-427.
3. Цифровые технологии при реконструкции подстанции [Текст] / Платнова Е.В. // В сборнике: LXXVI МЕЖДУНАРОДНЫЕ НАУЧНЫЕ ЧТЕНИЯ (ПАМЯТИ А.И. ОПАРИНА). сборник статей Международной научно-практической конференции. Москва - 2020. С. 26-29.

Ключевые слова: Цифровизация, модернизация, стандарт МЭК 61850, децентрализованная система РЗА.

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Гладких Александр Васильевич – магистрант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета.

e-mail: Aleksandr.07R@yandex.ru

Адрес: г. Липецк ул. Московская, 30.

УДК 621.3

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПЕРЕГРЕВА ПАРА В ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВКАХ НА БАЗЕ ТУРБИНЫ Т-120/130-12,8

ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

В.И. Шаломов

Проблема эффективной выработки электроэнергии на тепловых электрических станциях в условиях повышения цен на топливо становится всё

более актуальной. Одним из путей повышения энергетической эффективности имеющих и создаваемых энергоблоков с докритическими начальными параметрами является применение промежуточного перегрева пара (промперегрева).

Самое широкое распространение на тепловых электростанциях (ТЭС) получил газовый промперегрев пара. Его схема изображена на рис. 1. Газовый промперегрев пара осуществляется в змеевиках промежуточного пароперегревателя, монтируемого в газоходе парового котла. На перегрев пар отводится после цилиндра высокого давления турбины. Перегретый в пароперегревателе котла он возвращается по паропроводу в турбину.

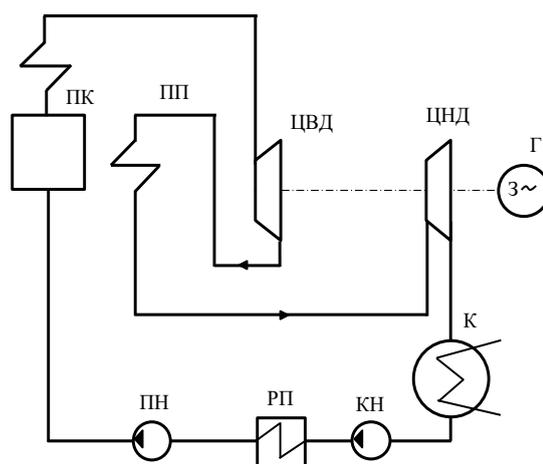


Рис. 1. Схема газового промперегрева пара: ПК – паровой котёл; ПП – промежуточный пароперегреватель; ЦВД – цилиндр высокого давления; ЦНД – цилиндр низкого давления; Г – генератор; К – конденсатор; КН – конденсатный насос; РП – регенеративный подогреватель; ПН – питательный насос.

Промперегрев пара был первоначально предложен как средство уменьшения конечной влажности пара. Капли влаги оказывают тормозящее действие, ударяясь о спинки рабочих лопаток турбин, и вызывают их эрозию. Коэффициент полезного действия (КПД) последних ступеней конденсационных турбин существенно зависит от влажности пара: увеличение влажности пара на 1 % сопровождается снижением относительного внутреннего КПД ступеней турбины также приблизительно на 1 %. Конечная влажность отработавшего пара не должна превышать 13 – 14 % [1].

Промежуточный перегрев пара полезен не только с точки зрения понижения конечной влажности, при некоторых условиях он может привести к улучшению тепловой экономичности конденсационной электростанции и повышению КПД цикла.

Расчётный анализ энергетической эффективности при внедрении промежуточного перегрева пара проведён на базе одной из турбин семейства «Т-100» Т-120/130-12,8. Это одна из последних моделей Уральского турбинного завода (УТЗ).

Турбина трехцилиндровая, состоящая из цилиндров высокого, среднего и низкого давлений (ЦВД, ЦСД и ЦНД), без промежуточного перегрева пара. Основные технические данные турбоустановки (ТУ): электрическая мощность: в теплофикационном режиме (Т-режиме) - 123 МВт, в конденсационном режиме (К-режиме) - 130 МВт; начальные параметры пара: давление - 12,8 МПа, температура - 555 °С; номинальный расход пара в турбину: в Т-режиме - 520 т/ч, в К-режиме - 463 т/ч; температура питательной воды - 236 °С; давление в конденсаторе: в Т-режиме - 3,9 кПа, в К-режиме - 5,6 кПа; тепловая нагрузка турбины 218 МВт. Предлагаемая принципиальная тепловая схема (ПТС) ТУ с промперегревом пара на базе турбины Т-120/130-12,8 приведена на рис. 2. В ПТС применены традиционные для тепловых схем ТЭС сокращённые обозначения элементов.

Структурная схема системы регенерации 3ПВД+Д+4ПНД. Первый регенеративный отбор пара производится после ЦВД. Отборы пара со 2-го по 7-ой осуществляются из ЦСД. Из ЦНД отборы пара не предусмотрены.

Задачей расчёта тепловой схемы исходной турбины было не только получить итоговые технико-экономические показатели, но и параметры пара за ЦВД. По ним выбирают параметры пара после промперегрева. Расчёт тепловой схемы ТУ Т-120/130-12,8 проводился методом тепловых и материальных балансов на базе сопряжённых компьютерных программ Mathcad и XStiem. Расчёты тепловой схемы ТУ выполнялись для теплофикационного и конденсационного режимов работы. КПД цилиндров турбины приняты для Т- и К-режимов одинаковыми: $\eta_{oi}^{цвд} = 0,85$, $\eta_{oi}^{цсд} = 0,9$, $\eta_{oi}^{цнд} = 0,8$.

Выбор параметров пара после промежуточного перегрева осуществляется по рекомендациям, выработанным практикой [2]. Температура пара обычно принимается равной или близкой температуре свежего пара $t_{пп} = t_0 \pm (10 \div 20)$ °С. Её приняли равной начальной температуре пара, то есть $t_0 = t_{пп} = 555$ °С. Давление промперегрева выбирают с учётом потери давления $\Delta p_{пп}$ в паровом тракте от ЦВД турбины до перегревателя в газоходе котла и от котла до ЦСД турбины. Потеря давления приводит к снижению КПД ПТУ, поэтому она допускается не более 10 % абсолютного давления в промперегревателе $p_{пп} = p_1 \cdot (1 - \Delta p_{пп})$, где p_1 – давление в 1-м регенеративном отборе пара (за ЦВД), МПа.

Согласно расчёту тепловой схемы исходной турбины, параметры пара за ЦВД: температура $t_1 = 373$ °С, давление $p_1 = 3,489$ МПа. Потеря давления принята $\Delta p_{пп} = 5$ % от $p_{пп}$. Тогда $p_{пп} = 3,32$ МПа.

Расчёт тепловой схемы ТУ с промперегревом выполнялся при том же расходе пара в турбину, неизменных значениях внутреннего относительного КПД цилиндров, давления пара за турбиной и температуры питательной воды. Для данного исследования компьютерные программы автоматизированного расчёта были адаптированы под методику расчёта по заданному расходу пара в турбину и изменённую тепловую схему турбины.

Итоговые значения технико-экономических показателей ТУ без промперегрева пара и с промперегревом представлены в табл. 1.

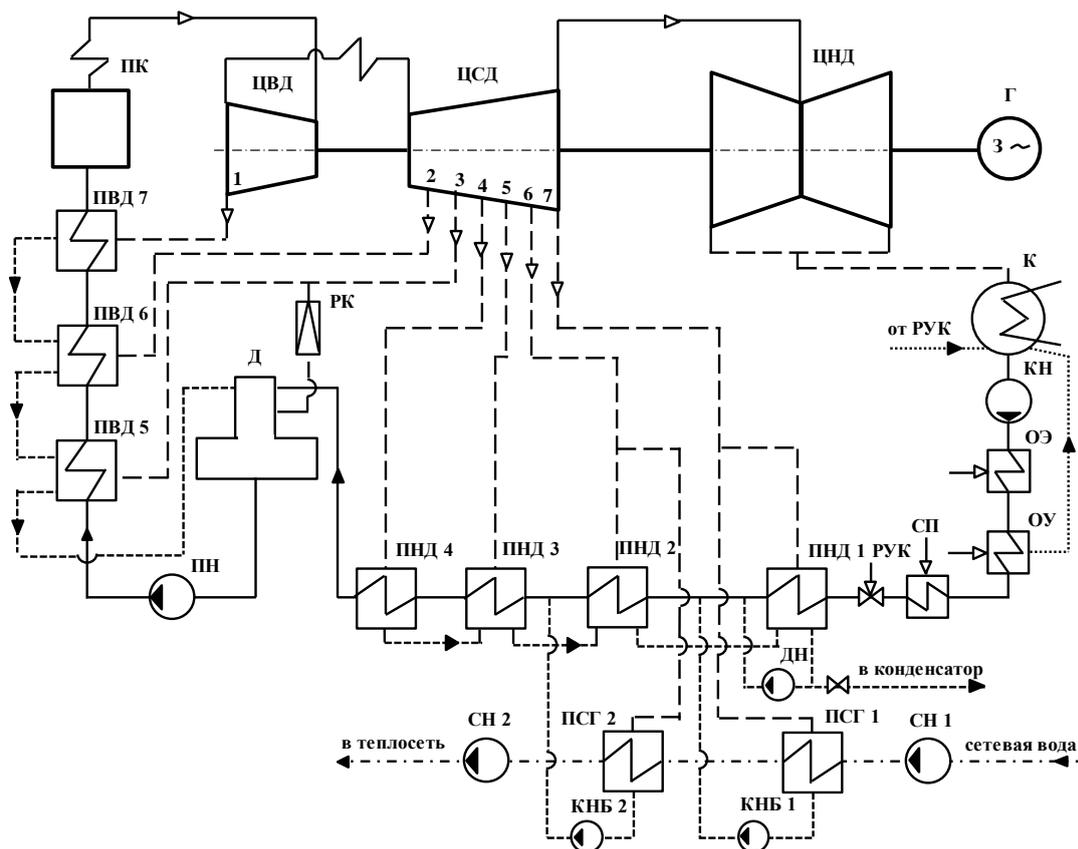


Рис. 2. Принципиальная тепловая схема ТУ с промперегревом на базе турбины Т-120/130-12,8

Таблица 1

Технико-экономические показатели турбоустановок

Энергетический показатель	Без промперегрева		С промперегревом	
	Т-режим	К-режим	Т-режим	К-режим
Мощность турбины, МВт	123	130	150	160
Тепловая нагрузка турбины, МВт	200	-	225	-
КПД ТУ по выработке электроэнергии	0,855	0,416	0,866	0,443
Удельный расход теплоты на выработку электроэнергии, кДж/(кВт·ч)	4210,3	8662,9	4158,6	8238,8
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, г/(кВт·ч)	159,6	328,3	157,6	312,2

Данные таблицы показывают, что при применении промперегрева КПД по выработке электроэнергии при работе ТУ в Т-режиме увеличился на абсолютные 1,1 %, а при работе в К-режиме на 2,7 %. Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии в Т- и К-режимах уменьшился на относительные 1,25 % и 4,9 % соответственно.

Мощность турбины при том же расходе свежего пара возросла при работе в Т-режиме до 150 МВт, в К-режиме до 160 МВт. Повышение мощности турбины объясняется увеличением внутреннего относительного теплоперепада в цилиндрах среднего и низкого давлений. Модернизированная теплофикационная турбина может иметь маркировку Т-150/160-12,8.

Тепловая нагрузка турбины с промперегревом пара увеличилась на 25 МВт, то есть на 12,5 %. Сопоставление расчётных значений степени сухости пара после турбины (в таблице 1 не приведены), показало, что при внедрении промперегрева она возросла от 86,1% до 92%. Это свидетельствует об уменьшении потерь от влажности в последних ступенях турбины, что приведёт к повышению внутреннего относительного КПД ЦНД и турбины в целом.

Экономический эффект от внедрения промперегрева оценен по изменению себестоимости 1 кВт·ч отпускаемой электроэнергии. По результатам расчёта для исходной турбины себестоимость электроэнергии составляет 0,795 руб., для турбины с промперегревом 0,731 руб. Как видим, снижение себестоимости достигает 8 % в относительном выражении.

Таким образом, внедрение промперегрева в тепловую схему турбоустановки Т-120/130-12,8 повышает её электрическую мощность, отопительную нагрузку и экономичность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 **Елизаров Д.П.** Теплоэнергетические установки электростанций. Учебник для студентов энергомашиностроительных специальностей вузов / Д.П. Елизаров. – М.: «Энергия», 1967, 255 с.

2 Турбины тепловых и атомных электрических станций: учебник для вузов / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин, А. Д. Трухний / под ред. А. Г. Костюка, В. В. Фролова. – Москва: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.

Ключевые слова: промежуточный перегрев пара, паровая турбина, энергетическая эффективность, тепловая схема, мощность турбины, экономический эффект.

Сведения об авторах

Шаломов Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тепловые энергетические установки» Комсомольского-на-Амуре государственного университета,

e-mail: shalomov2012@yandex.ru

Адрес: г. Комсомольск-на Амуре, проспект Ленина, 27.

УДК 621.3

УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА КАК ИНДИКАТОР ЭКОНОМИЧНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ТЭЦ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

Е.В. Шамова, Е.Д. Новикова, А.А. Середкин

Введение

Статья посвящена сравнению удельных фактических и нормативных расходов топлива ТЭЦ в г. Чита, пгт Приаргунск, пгт Шерловая Гора Забайкальского края.

Теория вопроса

Тепловые электрические станции ПАО «ТГК-14» Забайкальского края используют горючие ископаемые топлива, которые являются невозобновляемыми.

Одним из важнейших показателей эффективности производства электрической и тепловой энергии и работы ТЭЦ является расход топлива.

На основании фактических и нормативных данных о выработке тепловой энергии, расходе угля ТЭЦ в Забайкальском крае были определены удельные расходы топлива за 2021 год их деятельности и представлены на рис. 1.

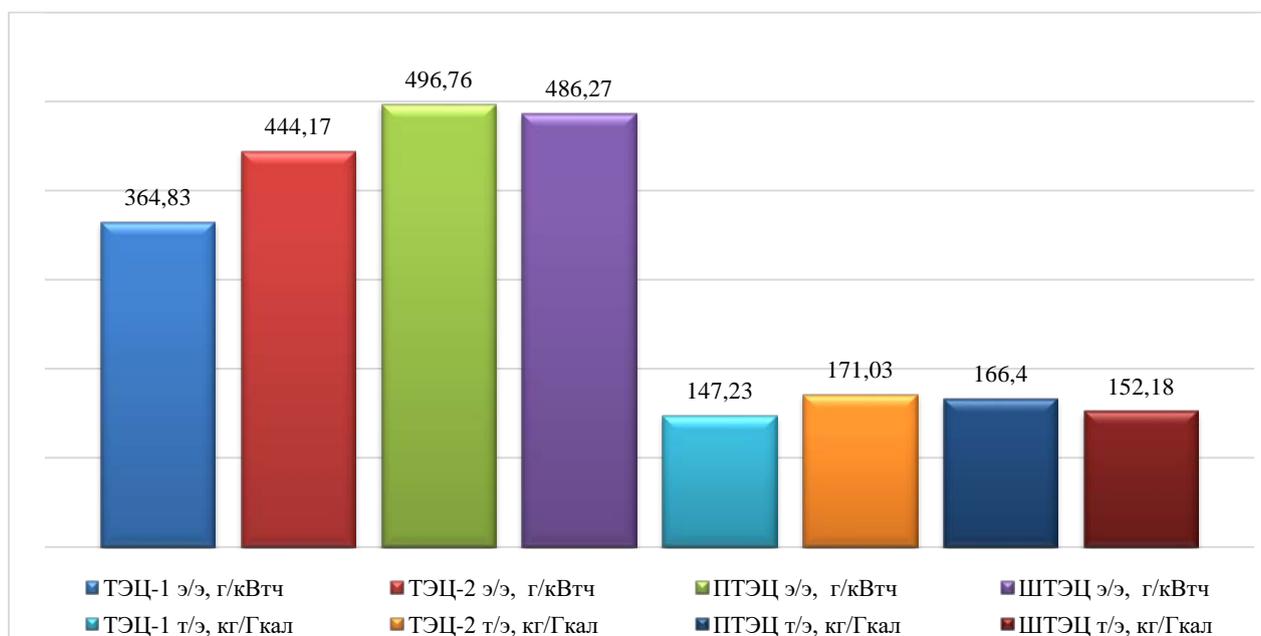


Рис. 1. Удельный расход условного топлива на отпуск электрической и тепловой энергии ТЭЦ Забайкальского края

Сейчас ПАО «ТГК-14» работает на сырье, которое приходит из Харанорского и Тугнуйского угольных разрезов по пятилетнему контракту с компанией СУЭК.

Снижение расходов на уголь повлияет на социально-экономический аспект, в связи с тем, что при снижении затрат в прямой зависимости снижается тариф на тепловую энергию так как уровень полезного отпуска останется на прежнем уровне.

Сейчас ПАО «ТГК-14» работает на сырье, которое приходит из Харанорского и Тугнуйского угольных разрезов по пятилетнему контракту с компанией СУЭК.

Снижение расходов на уголь повлияет на социально-экономический аспект, в связи с тем, что при снижении затрат в прямой зависимости снижается тариф на тепловую энергию так как уровень полезного отпуска останется на прежнем уровне.

При снижении расхода топлива так же можно оценить положительное влияние на экологическую ситуацию в крае, а именно снижение выбросов CO₂.

Таким образом, целесообразность проведения мероприятий по приведению фактического значения эффективности системы теплоснабжения к нормативному значению вполне оправдана, как с точки зрения финансов, так и экологии.

На основании фактических и нормативных данных о выработке тепловой энергии, расходе угля ТЭЦ можно сделать вывод, что отклонение удельного фактического расхода топлива от нормативного не превышает 1,2% по электрической энергии, 0,23 % по тепловой энергии, что говорит об эффективной деятельности тепловых электрических станций Забайкальского края.

Значение среднегодового фактического удельного расхода топлива ПАО «ТГК-14» Забайкальского края лежит в пределах 147,23–166,4 кг.у.т./Гкал, что можно наблюдать на рис.1. Значения удельных расходов топлива дают КПД по отпуску тепла 84-95 %.

Станции покрывают наибольшую потребность в тепле городов и больших населенных пунктов. Их суммарная установленная тепловая мощность более 1,5 тыс. Гкал/ч и более половины электроэнергии вырабатывается в самом эффективном – теплофикационном режиме. Стоимость угля на 2021 г. вместе с доставкой железнодорожным транспортом составляет 1 848,00 руб/т.

Среднее отклонение нормативного удельного расхода топлива от фактического, составляет 0,268 %. На основании вышеизложенного можно сделать расчет для предприятия по экономии или сверхзатратам на топливо. Расчет сведен в таблицу 1.

Заключение

Общая итоговая экономия по затратам на топливо исходя из таблицы 1 составляет 54734 тыс. руб. Данная сумма весьма значительна, особенно для бюджета Забайкальского края. Исходя из полученных данных по расчетам, можно сделать вывод об эффективной работе ТЭЦ ПАО «ТГК-14».

Разница между расходом нормативным и фактически затраченным топливом позволяет оценить потенциал сбережения топлива и повышение общей энергоэффективности системы.

Таблица 1

Технико-экономические расчеты затрат на топливо

Наименование источника	Среднегодовой удельный нормативный расход топлива	Среднегодовой удельный фактический расход топлива	Отклонение, %	Затраты на уголь фактические, тыс. руб.	Затраты на уголь по нормативному удельному расходу, тыс. руб.	Экономия, тыс. руб.
ТЭЦ-1						
На электроэнергию, г/кВтч	363,69	364,83	0,266	13678493	13642666	-35827
На тепловую энергию, кг/Гкал	146,77	147,23	0,0275	8462412	8467155	4743
ТЭЦ-2						
На электроэнергию, г/кВтч	450,15	444,17	1,205	651235	659113	7878
На тепловую энергию, кг/Гкал	171,17	171,03	0,188	2259592	2264054	4462
ШТЭЦ						
На электроэнергию, г/кВтч	486,30	486,27	0,014	393202	393411	209
На тепловую энергию, кг/Гкал	152,68	152,18	0,229	386318	386991	673
ПТЭЦ						
На электроэнергию, г/кВтч	497,02	496,76	0,053	347234	347285	51
На тепловую энергию, кг/Гкал	166,61	166,40	0,168	409284	408395	889

Уменьшения этой разницы можно добиться различными средствами, такими как:

1. Повышение эффективности режимов эксплуатации;
2. Регулировка работы оборудования
3. Повышение квалификации эксплуатирующего персонала и т. п.

Для увеличения показателей эффективности производства следует внедрить мероприятия по снижению расхода топлива на источнике теплоснабжения. Например, замена тепловой изоляции на тепловых сетях повлияет на снижение фактических потерь тепловой энергии при передаче теплоносителя, и как следствие, снизится нагрузка системы отопления и расход топлива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Риккер, Ю.О.** Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие / Ю.О. Риккер, М.В. Кобылкин, П.Г. Сафронов, И. Ю. Батухтина – Чита: ЗабГУ, 2021. – 150 с. – Текст: непосредственный.

2. **Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30 декабря 2008 г. № 323** «Об утверждении порядка определения нормативов удельного расхода топлива при производстве электрической и тепловой энергии» (с изменениями и дополнениями).

3. **Середкин, А.А.** Энергосбережение в системах теплоснабжения Забайкальского края: монография / А.А. Середкин, С.А. Требунских, М.С. Басс – Чита: ЗабГУ, 2016. – 153 с. – Текст: непосредственный.

4. **Астраханцева, И.А.** Экономическая оценка технических решений: методическое пособие. Красноярск: КГТУ, 1998. – 27 с. – Текст: непосредственный.

5. **Середкин, А.А.** Проблема энергоэффективности теплоснабжения в Забайкальском крае: монография / А. А. Середкин, А. Г. Батухтин, М. С. Басс – Чита: ЗабГУ, 2021. — 245 с. – Текст: непосредственный.

Ключевые слова: удельный расход топлива, электрическая и тепловая энергия, технико-экономические параметры

Сведения об авторах

Шамова Евгения Владимировна – магистрант кафедры Энергетики Забайкальского государственного университета.

Новикова Елизавета Дмитриевна – магистрант кафедры Энергетики Забайкальского государственного университета.

Середкин Александр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Энергетики Забайкальского государственного университета.

e-mail: evgeniya16122000@mail.ru

Адрес: г. Чита, ул. Недорезова, 44

УДК 621.3

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СУШИЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАСОСА

ФГБНУ ФНАЦ «ВИМ»

И.С. Яшин

Тепловая сушка – энергоемкий технологический процесс. На данный процесс в России ежегодно затрачивается несколько миллионов тонн условного топлива. Широкая распространенность и низкие коэффициенты полезного использования энергии (30 – 35%) обуславливают актуальность энергосбережения в сушильных установках.

Введение

Производство сушеных фруктов и овощей – один из наиболее экономичных способов переработки сырья с целью сохранения энергетической ценности, необходимой для построения человеческого организма. В сушеном виде плоды имеют долгий срок хранения и занимают меньше места при транспортировании и хранении на складах. Применяются в северных районах, экспедициях, используются как сырье для производства пищевых концентратов [1].

Теория вопроса

Известные бытовые электросушилки для пищевых продуктов: Элвин СУ-1, «Ветерок», Polaris PFD 0205AD, «Суховей», Smile FD 993 и многие другие модели в рабочем режиме сбрасывают в окружающую среду теплоту, полученную от электронагревателя. В них применяется конвективный способ нагрева фруктов и ягод до достижения относительной влажности внутри них в интервале от 18 до 25 % [2].

Методика проведения исследований

Методика данного исследования заключается в теоретических методах, таких как анализ, сравнение и обобщение существующих современных сушильных установок. Эмпирические методы – эксперимент и описание установок.

Цель исследования – разработка функционально-технологической схемы энергоэффективной термоэлектрической сушилки, обеспечивающей снижение затрат электроэнергии в процессе сушки с сохранением высоких показателей качества готового продукта.

Описание метода исследований

Конвективные сушильные установки – распространенные виды. Отличаются простотой конструкции и возможностью регулирования температуры высушиваемого материала. Внутри них тепловая энергия сушильного агента (воздуха) передается высушиваемому объекту при помощи конвекции [3].

Важную роль при конвективной сушке играют параметры интенсификации процесса сушки (температура, относительная влажность и скорость движения), толщина слоя высушиваемого материала и его состояние (плотный, разрыхленный).

Максимальная температура сушки для плодово-ягодного сырья находится в пределах от 55 до 65 °С, а относительная влажность отработанного воздуха – в пределах от 35 до 45 %.

Поскольку конвективные сушильные установки преобладают в общем парке дегидраторов, рассматривается проблема энергосбережения применительно к ним.

На рисунке 1 предложена функционально-технологическая схема сушильной установки с регулируемым потоком циркулирующего сушильного агента в виде воздуха с применением термоэлектрических элементов.

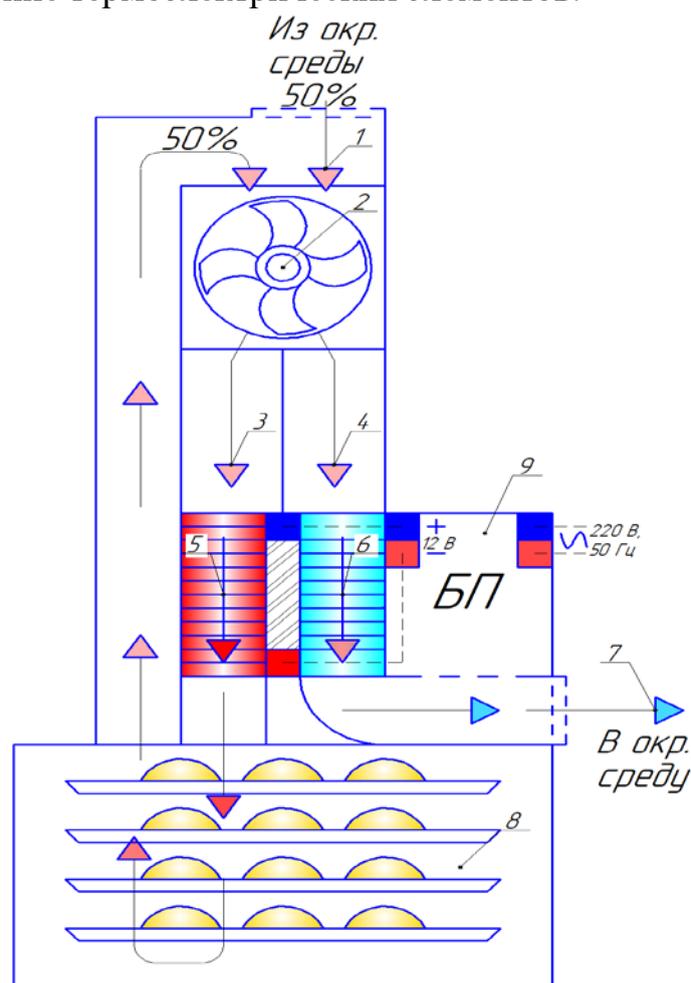


Рис.1. Функционально-технологическая схема сушильной установки с регулируемым потоком циркулирующего сушильного агента

Работает данная схема следующим образом: сушильный агент 1 (50 %) нагнетается вентилятором 2, попадая в двухканальный разделитель потока 3 и 4, часть агента удаляется через радиатор холодного спая 6 в окружающую среду 7, вторая часть агента проходит через радиатор горячего спая 5 и подается в сушильную камеру 8. Таким образом, одна часть потока (циркулирующая, 50 %) подогревается в радиаторе горячего спая 5, другая его часть охлаждается в радиаторе холодного спая 6 и удаляется в атмосферу 7. При охлаждении воздушного потока в радиаторе холодного спая 6 часть теплоты передается на радиатор горячего спая 5. Данная схема питается от 12 В постоянного напряжения 9 и работает в режиме теплового насоса.

Устройство теплового насоса схоже с холодильной машиной, где основная задача – отвод теплоты от объекта. В данной схеме в виде термоэлектрического модуля применяется элемент Пельтье, рис. 2.



Рис.2. Схема термоэлектрического элемента Пельтье

Данные элементы размещены на подложках из керамики и соединены с теплообменниками. Достоинствами данных элементов является высокая надежность, бесшумность и малые габаритные размеры [5].

Заключение

Недостатки ряда сушильных установок – высокие потери теплоты, уносимые вместе с сушильным агентом, а также застаивание воздуха в камере. Данные проблемы удастся решить путем применения термоэлектрического теплового насоса на базе элементов Пельтье в качестве утилизатора тепловой энергии удаляемого из зоны сушки вместе с сушильным агентом, а также равномерной скоростью подачи его в сушильную камеру.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Товароведение и экспертиза продуктов переработки плодов и овощей: Учебник для бакалавров / Л. Г. Елисеева, Т. Н. Иванова, О. В. Евдокимова. —

3-е изд. — М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2018.

2. Пат. 2642954 Российская Федерация, МПК F28D 9/00 F38D 21/00. Теплообменник к электросушилкам для пищевых продуктов / Н. В. Ясаков – № 2016134326 ; заявл. 22.08.2016 ; опубл. 29.01.2018.

3. Эргашов Р.Д. Сублимационная сушка // Материалы «Студенческий научный форум 2018» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://scienceforum.ru/2018/article/2018007570/>

4. Классификация сушки : Сушка как сложнейший процесс. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://infopedia.su/16x6fd5>

5. Термоэлектрические элементы : Физическая основа процесса. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://vuzlit.com/706296/fizicheskaya_osnova_protsessa

Ключевые слова: сушильные установки, энергосбережение, температура, относительная влажность, термоэлектрические элементы.

Сведения об авторе

Яшин Илья Сергеевич – аспирант ФГБНУ ФНАЦ «ВИМ»

e-mail: mr_sprite13@mail.ru

Адрес: г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Липецкий государственный технический университет

Р.А. Андреев, В.И. Зацепина

Данная работа посвящена одной из ключевых проблем повышения надежности линий электропередач в электроэнергетики. Рассмотрены методы повышения надежности.

Введение

Повышение надежности линий электропередачи (далее ЛЭП) актуальна не только в регионах с суровым климатом, но также и в регионах с умеренным климатом. Каждый год по всей России происходит более 1000 обрывов ЛЭП. Причины повреждаемости воздушных линий электропередачи в основном объясняются следующими факторами: перенапряжениями (атмосферными и коммутационными), изменениями температуры окружающей среды, действием ветра, гололедными образованиями на проводах, вибрацией, «пляской»

проводов, загрязнением воздуха. Главным фактором является воздействие ветра (“пляска”) и гололеда.

Целью работы является выявить наиболее эффективный метод по увеличению надежности ЛЭП. Для этого необходимо провести анализ существующих методов и определить наиболее перспективные из них, а также предложить свое решение проблемы.

Методы и материалы

Для повышения надежности ЛЭП на сегодняшний день существует множество способов. Для предотвращения проводов и тросов от вибрации и “пляски” наибольшее распространение получили гасители петлевого типа для защиты алюминиевых, сталеалюминевых проводов, а также установка анкерных опор. Пляска воздушных линий обычно происходит при сильном ветре и гололеде, а также на проводниках больших сечений. При пляске проводов возникают механические колебания, действующие на провода, пагубно влияющие не только на ЛЭП, но и на опоры, в редких случаях приводит к выходу их из строя. При пляске проводов происходит натяжение, а также увеличивается изоляционные расстояния, из-за большой амплитуды колебаний в некоторых случаях провода сталкиваются, из-за чего возможны перекрытия. Пляска проводов наблюдается достаточно редко, но приводит к наиболее сложным повреждениям, вплоть до выхода из строя всей линии.

Существуют два типа профилактических мер для минимизирования данных ситуаций пассивные и активные мероприятия для предотвращения и борьбы с «пляской» проводов и тросов.

К пассивным относятся:

- точный выбор опор и расстояния между проводниками, а также между проводниками и тросами, который либо исключает, либо снижает до минимума схлестывание;
- устройство узлов и крепления проводов и тросов к опорам и отдельных элементов линейной арматуры, обеспечивающих необходимую подвижность в горизонтальной и вертикальной плоскостях при их перемещении.
- установка анкерных опор, предотвращающих их сближение с траверсами опор при колебании проводов.

К активным относятся:

- своевременная плавка ледяного образования на проводниках и грозозащитных тросах или профилактический нагрев электрическим током, которые предотвращают возможность активной «пляски» проводников и тросов при образовании гололёда;
- применение междуфазных эластичных изолирующих муфт из полимерных материалов, а также из фарфора, которые устанавливаются по 2 - 4 шт. в каждом пролёте на участках, где линия подвержена наибольшему риску провисания и колебания проводников (рис. 1);

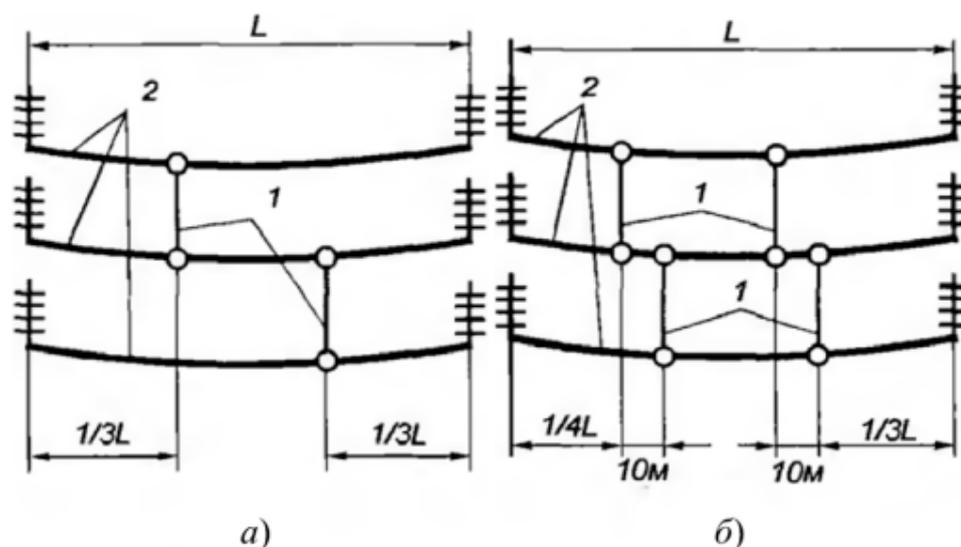


Рис.1. Схемы установки междуфазных изолирующих муфт: а - две муфты на пролёт; б - четыре муфты на пролёт;

Еще одним методом повышения надежности является замена ЛЭП на современные аналоги, которые более адаптированы к современным погодным условиям, а также менее подвержены нагреву и коррозии, но данный метод сложно реализовать повсеместно, так как экономически данный метод является самым дорогим из рассматриваемых.

Наиболее новым методом за контролем работы ЛЭП является мониторинг уже имеющегося участка, используя беспилотные летательные аппараты. На данный момент использование беспилотных аппаратов актуально для линий, находящихся за городской чертой. Данный метод отличается возможностью регулярного мониторинга, осмотра труднодоступных мест, привлечения малого количества персонала, а также сокращением времени поиска обрыва в отличии от времени обследования человеком данного участка. Стоимость одного беспилотного летающего аппарата ДЛ составляет 1880000 рублей.

Сравним наземное обследование, с мониторингом используя беспилотный летательный аппарат на дистанции 800 км.

Таблица 1

Сравнение методов мониторинга ЛЭП

	Беспилотный летательный аппарат	Наземное исследование ЛЭП
Расстояние (за смену)	350 км/ за смену	10-15 км/ за смену
Стоимость	45000 рублей	3000000 рублей
Кол-во дней на поиск неисправности	3 дня	67 дней

В стоимость обследования входит: персонал необходимый для проведения работ, имеющий определенную квалификацию, затраты на технику, логистика, непредвиденные расходы, а также данный результат рассчитывается из числа затраченных дней или же часов.

Результаты

В данном сравнении отчетливо видно, эффективность беспилотных летательных аппаратов в 29 раз в сравнении с наземным обследованием ЛЭП, а также наблюдается экономическая выгода в 7 раз. Данный метод наиболее эффективен с своевременными профилактическими работами по обслуживании ЛЭП и их составляющих.

Вывод

Увеличение надежности, а также модернизации ЛЭП и их составляющих в совокупности с беспилотными летающими аппаратами позволит сократить произвольные отключения потребителей препятствуя скорейшему выхода из строя оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 34.20.512 Руководящие указания по плавке гололеда на ВЛ напряжением до 20 кВ, проходящих в сельской местности
2. **Барбасов В.К.** Возможности применения беспилотных авиационных систем для мониторинга воздушных ЛЭП – 2017- №1- с. 20-24
3. СТО 56947007- 29.200.10.235-2016 с. 6-9

Ключевые слова: надежность, электроэнергетика, воздушные линии, беспилотные летательные аппараты

Сведения об авторах

Зацепина Виолетта Иосифовна – доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования.

Андреев Роман Алексеевич – студент кафедры электрооборудования.

e-mail: grecha1917@gmail.com

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д.30

УДК 621.3

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

А. Альзаккар, Е.И. Грачева

В данной работе показан расчёт о приведенных затратах; оценка снижения платы за потребление электроэнергии при снижении получасового максимума; оценка ущерба при регулировании максимума мощности. Максимум получасовой средней электрической нагрузки промышленного предприятия рассчитан по уравнению:

$$P_{\max} = P_{cp} + \beta\sigma \quad (1)$$

где P_{cp} – среднее значение получасовой нагрузки предприятия;

β – статистический коэффициент;

σ – среднее квадратичное отклонение.

В общем случае при двухставочном тарифе выбор параметров β и P_{\max} осуществляется по критерию минимума изменения суммарных затрат предприятия за сутки в среднем:

$$\Delta Z = \Delta P_{\Sigma} + C = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + C = \min \quad (2)$$

где ΔP_1 – изменение платы за заявленную договорную мощность $P_3 = P_{\max}$;

ΔP_2 – изменение платы за превышение этой мощности;

ΔP_3 – изменение платы за потребленную электроэнергию;

C – стоимость продукции,

Тогда стоимость недоотпущенной продукции $C = 0$, плата за потребленную электроэнергию не зависит от заявленной мощности ($\Delta P_3 = 0$) и критерий (2) принимает вид:

$$\Delta Z_1 = \Delta P_1 + \Delta P_2 \quad (3)$$

Значение ΔP_1 :

$$\Delta P_1 = \frac{a}{n} (P_{\max} - P_{cp}) \quad (4)$$

где a – основная ставка двухставочного тарифа; $n = 365$ дней.

Значение ΔP_2 находится с учетом штрафного коэффициента $k_{ш}$:

$$\Delta\Pi_2 = 2k_{ш} \frac{a}{n} \rho \left[P_{cp}^{usc} - P_{max} \right] \quad (5)$$

где P_{cp}^{usc} – среднее значение усеченной совокупности получасовых значений нагрузки, превышающих получасовой максимум; $\rho(P > P_{max}) = 0,6587$ при $\beta = 1$
 С учетом (1) до (6) минимизируемый функционал (2) принимает вид:

$$\Delta Z_1 = \frac{a}{n} \left(P_{max} - P_{cp} + 2k_{ш} \left[\frac{1}{2} - \Phi(u) \right] \left[P_{cp} - P_{max} + \sigma^2 \varphi(u) \right] \right) \quad (6)$$

На рис.1 представлены зависимости изменения суммарных затрат и их составляющих от квантилей β при основной ставке: $a = 9760$ руб./кВт; $n = 365$ дней; $\sigma = 200$ кВт и разных значениях штрафного коэффициента. Расчеты произведены в рублях.

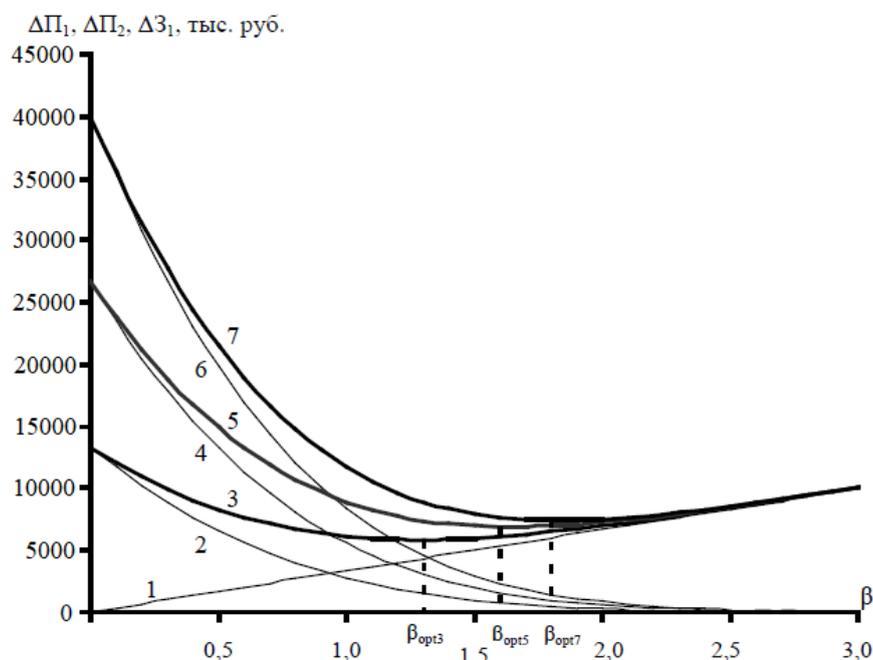


Рис. 1. Изменение суммарных затрат предприятия при отсутствии ограничения нагрузки:

- 1 – $\Delta\Pi_1$; 2 – $\Delta\Pi_2$, $k_{ш} = 5$; 3 – ΔZ_1 , $k_{ш} = 5$; 4 – $\Delta\Pi_2$, $k_{ш} = 10$;
- 5 – ΔZ_1 , $k_{ш} = 10$; 6 – $\Delta\Pi_2$, $k_{ш} = 15$; 7 – ΔZ_1 , $k_{ш} = 15$

Для обоснованного выбора квантили и соответственно заявляемого получасового максимума необходимо раскрыть в явной форме функциональную зависимость экономического эффекта от влияющих факторов, в частности учесть вероятностные характеристики получасовой нагрузки.

Для обоснованного выбора количества и, соответственно, заявленного максимума получаса необходимо открыто раскрыть функциональную

зависимость экономического эффекта от влияющих факторов, в частности, с учетом вероятностных характеристик получаса. - часовая нагрузка.

Критерий оптимизации (1) в данном случае принимает вид ($\Delta\Pi_3 = 0$):

$$\Delta Z_2 = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_3 + C \quad (7)$$

где $\Delta\Pi_3$ – суточное изменение платы за потребленную электроэнергию;

$$\Delta\Pi_3 = b \rho(P > P_{\max}) \Delta W_{\Sigma} \quad (8)$$

где b – дополнительная ставка двухставочного тарифа за потребленный киловатт-час электроэнергии;

ΔW_{Σ} – суммарное суточное изменение электропотребления,

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 \quad (9)$$

Составляющие суммарного суточного изменения электропотребления представляют собой:

1) суточное среднее снижение электропотребления ΔW_1 за время ограничения максимумов получасовой нагрузки,

$$\Delta W_1 = \frac{2\sigma}{\sigma_v} \sqrt{2\pi} (\sigma + 2\pi(1-\tau)\varphi_n(u)) [P_{cp} - P_{\max}] \quad (10)$$

2) дополнительные суточные средние затраты электроэнергии

$$\Delta W_2 = d \Delta W_1 \quad (11)$$

4) суточное среднее повышение электропотребления в часы провалов нагрузки,

$$\Delta W_3 = k \Delta W_1 \quad (12)$$

Стоимость недоотпущенной за сутки из-за ограничения нагрузки продукции определяется следующим образом:

$$C = (1-k) y \rho(P > P_{\max}) \Delta W_1 \quad (13)$$

где y – удельный ущерб.

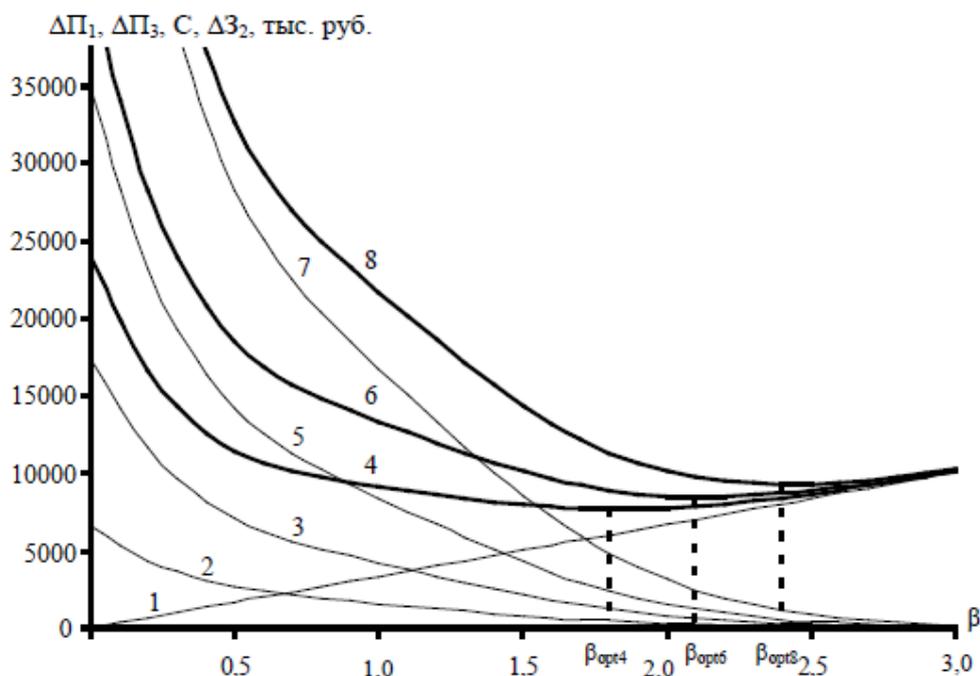


Рис. 2. Изменение суммарных затрат предприятия:

- 1 – ΔP_1 ; 2 – ΔP_3 ; 3 – C , $y = 12500 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч})$; 4 – ΔZ_2 , $y = 12500 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч})$;
 5 – C , $y = 25000 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч})$; 6 – ΔZ_2 , $y = 25000 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч})$;
 7 – C , $y = 50000 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч})$; 8 – ΔZ_2 , $y = 50000 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч})$

На рис.2 представлены результаты расчетов ΔZ_2 . Дополнительной ставки:

$$a = 9760 \text{ руб.} / \text{кВт}; b = 4700 \text{ руб.} / (\text{кВт}\cdot\text{ч}); n = 365 \text{ дней};$$

$$\sigma = 200 \text{ кВт}; k_{ш} = 10; d = 0; k = 0; \alpha = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$$

Заключение

Апробировано методика выбора получасовой максимальной нагрузки промышленного объекта по нормативу, учитывающему оплату заявленной договорной мощности в часы пик энергосистемы, потребленную электроэнергию и ущерб, причиненные недоимки продукции при определении эксплуатационной нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шагидуллин А.В. Эффективность замены низковольтных коммутационных аппаратов на примере промышленного предприятия. Известия высших учебных заведений//А.В. Шагидуллин / Проблемы энергетики. 2017;19(3-4):89-95.
2. Валеев И. М. Гармоники и их влияние при определении метода компенсации реактивной мощности в электрических сетях / И.М. Валеев, А.М.Н. Альзаккар// Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2020. № 12. С. 24-39.

3. **Alzakkar A.** The impact of electrical interconnection between countries on the stability of electrical power systems / A. Alzakkar, M. V. Vladimirovich, Y. Samofalov, I. Ildar, I. Valeev// 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). — IEEE, 2022. — Pp. 1–6.

4. **Петухова Н.Н.** Регулирование максимума нагрузки промышленного предприятия //Н. Н. Петухова/ Современные материалы, техника и технология. – 2021. – С. 337-339.

5. **Обоскалов В.П.** Определение расчетных нагрузок промышленных предприятий вероятностными методами/В. П. Обоскалов, Н. В. Машенина //Новые информационные технологии в образовании. – 2015. – С. 115-119.

Сведения об авторах

Альзаккар Ахмад, аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

Грачева Елена Ивановна, доктор технических наук, доцент по кафедре ЭПП, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет».

E-mail: ahmadalzakkar86@gmail.com.

Адрес: г. Казань, ул. Красносельская, 51.

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

Э.Э. Ибатуллин, Е.И. Грачева

В настоящее время промышленность России включает следующие основные конкурентоспособные отрасли (рис.1): 1) лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная; 2) легкая; 3) пищевая; 4) металлургическая (цветная, черная); 5) химическая; 6) машиностроительная; 7) нефтеперерабатывающая; 8) строительная. На территории России, в настоящее время, находится 310 814 промышленных предприятий. Наиболее распространенные потребители электроэнергии — средние промышленные предприятия. Их мощность находится в пределах от 7,5 до 70 МВт. Работают данные предприятия в 2,3 смены.

Теория вопроса

Повышение эффективности электроснабжения потребителей промышленных объектов средней мощности.

Методика проведения исследования

Изучение имеющихся схем электроснабжения, определение основных потребителей на объектах и разделение их по группам, в зависимости от графика нагрузки.

Спектр электроприемников на объектах средней мощности различен: электроприводы, аппараты электросварки, аппараты гальванопластики, преобразователи частоты, ПК, осветительная нагрузка. Все эти электроприемники имеют различные требования к качеству электроэнергии, потребляемой ими, к надежности электроснабжения. В таблице 1 приведены основные потребители, количество рабочих смен и предприятия для различных видов промышленности.

Таблица 1

Основная информация по промышленным предприятиям средней мощности

Вид промышленности	Мощность предприятий, МВт	Основные электроприемники	Кол-во рабочих смен	Примеры предприятий
Легкая	15-45	АД, СД, осветительная нагрузка,	2,3	Ткацкие, обувные, меховые, прядильные фабрики
Пищевая	5-45	АД, СД, сушильные печи, жаровни, осветительная нагрузка	2,3	Элеваторы, мельницы, комбикормовые заводы, хлебзаводы
Металлургическая	5-75	Обжиговые машины, плавильные печи, АД, сварочные аппараты, прокатные станки, электролиз, осветительная нагрузка	3	Мартеновские, конвекторные, электросталеплавильные, прокатные
Промышленность стройматериалов	5-70	АД, СД, питатели, сушильные печи, осветительная нагрузка	2,3	Кирпичные, цементные, стекольные заводы

По данным Росстата за 2021 год, весной 2020 года наблюдалось сокращение промышленного производства. В мае уровень промышленного производства сократился на 9,6 % в сравнении с маем 2019 года. Сложившаяся ситуация была вызвана ограничениями на работу предприятий и другими мерами, которые были введены с целью предотвращения распространения коронавирусной инфекции. На рисунке 1 изображен график динамики роста промышленных предприятий в стране с 2015 года.



Рис. 1. Динамика промышленного производства и численности работающих в промышленных производствах.

Санкционное давление, усилившееся в отношении России в феврале—июне 2022 года, неизбежно отразится на социально-экономическом состоянии моногородов. В совокупности санкции затронули 134 градообразующие организации, в которых работают около 551 тыс. россиян. Можно предположить, что основные негативные последствия для социально-экономического положения моногородов страны начнут проявляться в третьем и четвертом кварталах 2022 года, полагают в ЦСР. Они могут быть выражены в сокращении работников в наиболее пострадавших отраслях, снижении заработной платы, уменьшении выпуска продукции и закрытии предприятий, которые не найдут вариантов для адаптации в новых условиях. Пострадавшие предприятия будут до последнего использовать механизмы неполной занятости и нерабочих отпусков. Все это может повлечь за собой сокращение рабочей силы, в следствие чего могут возникать простои оборудования.

На предприятиях средней мощности применяются радиальные, магистральные и смешанные схемы электроснабжения. Наиболее часто используемые: 1) радиальная схема с резервными перемычками высокого напряжения между ближайшими трансформаторными подстанциями; 2) радиальная схема с резервными перемычками высокого напряжения между ближайшими трансформаторными подстанциями; 3) радиальная схема питания ТП с резервной высокого напряжения; 4) двухступенчатая радиальная схема питания с промежуточными распределительными пунктами; 5) схема одиночных магистралей с резервными магистральями; 6) схема двойной магистрали; 7) схема кольцевых магистралей; 8) схема глубокого ввода.

В настоящее время, в связи с повсеместным внедрением современных технологических производств, появляются новые потребители, более требовательные к качеству электроэнергии и имеющие ряд особенностей с точки зрения электроснабжения. Это компьютерная техника, системы видеонаблюдения, автоматизированные системы управления и учета. Относятся они к первой категории надежности, перерывы питания приводят к браку продукции. Зачастую ущерб от брака превышает стоимость модернизации

системы электроснабжения. С каждым годом ужесточаются экологические требования для предприятий. Необходимо внедрение более сложных систем фильтрации, систем водоснабжения и др. Это влечет увеличение доли электроэнергии, затрачиваемой на собственные нужды предприятия.

После проведенного анализа системы электроснабжения промышленных объектов, всех потребителей можно разделить на две большие группы: 1) Потребители с равномерным графиком нагрузки; 2) Потребители технологической нагрузки. К первым можно отнести всех потребителей, работающих с постоянным графиком нагрузки и имеющие малое число включений и отключений за сутки, например: вентиляционные системы, канализационные системы, осветительная нагрузка, насосы подпитки, котельные установки. В таблице приведены примеры таких потребителей по отраслям. Доля потребителей с равномерным графиком нагрузки составляет 25-35% от общей доли потребления электроэнергии всем предприя. Все вышперечисленное выдвигает дополнительные требования к системе электроснабжения предприятий: 1) иметь отдельное питание и учет электроэнергии для потребителей, которые работают круглосуточно; 2) иметь отдельное питание потребителей с возможностью запитывания потребителей первой категории надежности; 3) иметь отдельное питание для потребителей связанных в технологическом процессе с возможностью учета электроэнергии.

Таблица 2

Градация потребителей по продолжительности работы

Промышленность	Технологическая нагрузка	Круглосуточная нагрузка
Деревообрабатывающая	Деревообрабатывающие станки, технологическое оборудование установок для сушки пиломатериалов, электротранспорт	Вентиляционные установки, сетевые насосы, подпиточные насосы
Пищевая	Низкочастотные и высокочастотные термические установки, установки инфракрасного излучения, электролизные установки.	Холодильники, компрессорные станции, насосные станции
Машиностроение	Гальванические ванны, установки электростатической окраски, металлообрабатывающие станки	Котельные насосы, компрессоры

Заключение

В современных условиях, тяжелых для большинства промышленных объектов, многие предприятия переходят на односменный график работы или неполную рабочую неделю. Большая часть промышленных объектов России была спроектирована десятки лет назад. В условиях массового сокращения рабочего персонала на предприятиях, системы их электроснабжения требуют модернизации. Обуславливается это тем, что в периоды малых загрузок,

предприятия не имеют возможности отключать ненагруженные цеховые трансформаторы. Это влечет за собой увеличение потерь электроэнергии. В условиях роста цен на электроэнергию задача энергосбережения встает еще острее. Поэтому необходимый радикальный пересмотр требований к системам электроснабжения промышленных объектов в процессе модернизации, так и при проектировании новых предприятий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Грачева Е.И., Горлов А.Н., Алимова А.Н.** Исследование и оценка потерь электроэнергии в системах внутрицехового электроснабжения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2019.Т. 11.№4(44).С.22-29.
2. **Грачева Е.И., Ильясов И.И., Алимова А.Н.** Сравнительный анализ и исследование методов расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20. № 3-4. С.62-71.
3. **Грачева Е.И., Наумов О.В.** Исследование методов расчета электрических нагрузок цеховых систем промышленного электроснабжения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 1 (52). С. 54-59.
4. **Акпаров Ш.А., Рахматов Ш.З., Попова ОВ.** Энергосбережение в системах электроснабжения промышленного предприятия // Вестник науки. 2020. Т.5. №3 (24).С.77-82.
5. **Гурьянова Т. В., Ид Аль Рахайя.** Особенности электроснабжения промышленных предприятий средней мощности. — М., 1994 г., Деп. в АО «Информэнерго», 15.06.94, №3411, 15с

Ключевые слова: повышение эффективности электроснабжения, промышленные объекты средней мощности, потребители с равномерным графиком нагрузки, технологическая нагрузка.

Сведения об авторах:

Ибатуллин Эдуард Эльсович- аспирант Казанского Государственного Энергетического Университета.

Грачева Елена Ивановна - доктор технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского Государственного Энергетического Университета.

e-mail: ibatullinedick@yandex.ru

Адрес: г.Казань, ул. Красносельская, д.51

УДК 621.3

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ГЕНЕРИРОВАНИИ

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

В.М. Степанов, И.М. Базыль

Рассмотрены основные направления эффективности функционирования цифровых электроэнергетических систем контроля качества электроэнергии.

Одним из основных доступных и эффективных методов производства электрической энергии, используемый генерирующими компаниями, является тепловая генерация. Электроэнергетическая сеть в системе рационального управления энергетическими потоками на основе реакции энергетического потока на изменение состояния анализируемой электропитающей сети и базовых связей наиболее адаптируемыми являются однолинейная схема регулируемой конденсаторной установки с блоком управления и структурные схемы восстановления несинусоидальности и провалов напряжений.

На основании анализа использования систем измерения сети с применением соответствующего математического комплекса можно осуществлять моделирование режимов работы систем повышения коэффициента реактивной мощности генерируемой электроэнергии, эффективности функционирования электроэнергетических систем и связи по общей частоте в комплексе.

Введение

Электрическая энергия является единственным видом продукции, при перемещении которого от генерации до потребителя не используются другие ресурсы. Однако, возникает вопрос о ее качестве непосредственно при генерировании на электростанциях и дальнейшей транспортировке. Использование в подавляющем большинстве на электростанциях электрических генераторов переменного трехфазного тока синхронного типа привело к другой специфике работы электростанций – к связи по общей частоте генерируемого электрического тока. Все это в свою очередь потребовало общего централизованного оперативного управления режимами работы агрегатов, электростанций и всей энергосистемы.

Поэтому уменьшение потерь электрической энергии за счет повышения коэффициента реактивной мощности генерируемой электроэнергии, эффективности функционирования электроэнергетических систем и связи по общей частоте является актуальной научной задачей.

Теория вопроса

Наряду с генерирующими установками в регулировании реактивной мощности и частоты принимает также и нагрузка энергосистемы.

К производству электроэнергии из возобновляемых источников относится тепловая генерация. Электричество производится на тепловых электростанциях (ТЭС), которые бывают двух типов: конденсационные (КЭС) и теплофикационные (ТЭЦ). На данный момент тепловая генерация — это самый популярный способ производства энергии основными генерирующими компаниями.

Методика проведения исследования

При выходе напряжения электрической энергии при генерировании для обеспечения электромагнитной совместимости с питающей сетью следует проводить меры по компенсации реактивной мощности и мощности искажения путём использования устройств компенсации реактивной мощности и активных фильтрующих устройств, обеспечивающих синусоидальность напряжения и тока в сети согласно требованиям ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» [1].

На основании измерений показателей качества электрической энергии по трем фазам рассчитываются значения полной мощности, активной мощности, коэффициент мощности и ряда других параметров, приведенных в таблицах.

С вероятностью 0,85 изменения ПКЭ приведены на рисунке 1.

В среднем ПКЭ удовлетворяют ГОСТ 32144-2013. Однако, с вероятностью 0,15 возникают отклонения от указанного ГОСТа.

Нормативное значение $K_U, \%$	Результаты измерений $K_U, \%$									Соответствие норме
	Напряжение АВ			Напряжение ВС			Напряжение СА			
	$K_U, \%$	$T_1, \%$	$T_2, \%$	$K_U, \%$	$T_1, \%$	$T_2, \%$	$K_U, \%$	$T_1, \%$	$T_2, \%$	
Норм. 5	95 %	2,21	0,00	95 %	2,20	0,00	95 %	1,67	0,00	● ДА
Пред. 8	наиб.	2,44	0,00	наиб.	2,42	0,00	наиб.	1,86	0,00	
Скидка (надбавка) к тарифу, %		0%		Усреднение T_1 и $T_2, \%$		0,00		0,00		

Рис. 1. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения

Описание метода исследования

Исследованиями и измерениями установлено распределение в диапазоне $\cos \varphi = 0,2 - 0,9$ по электропотребителям, коэффициент искажения и гармоник $K_u = 1,5 - 5,5 \%$, реактивная мощность превышает мощность активную в 2,5 раза, отклонения напряжения от номинального 4,5 – 10,92 %. Это вызвано тем, что системы генерации и электропотребителей являются неравномерно-загруженными и работают в нерациональных режимах. Отклонение напряжения от номинального значения выше допустимых величин уменьшает срок службы

оборудования в 3 раза и снижает на 20-25 % надежность работы электрических установок, а на каждый процент повышенного напряжения потребление реактивной мощности возрастает на 3 %. Нессимметрия токов приводит к нессиметрии в напряжениях, вызывает вредные механические колебания в работе электродвигателей и уменьшает ресурс работы электрооборудования до 30 %. При коэффициенте нессиметрии напряжения 4 % сокращает его срок службы в 2 раза [2].

	Нормативное значение (уставка) $\delta U_y, \%$		Результаты измерений $\delta U_y, \%$								Соответствие норме
			$\delta U_y, \%$	$T_1, \%$		$T_2, \%$		$T_{1(\Sigma)}, \%$	$T_{2(\Sigma)}, \%$		
				$T_{1(+)}$	$T_{1(-)}$	$T_{2(+)}$	$T_{2(-)}$				
Напр АВ	Норм. доп.	верхн.	5	95 %	1,57	0,00				0,00	ДА
		нижн.	-5	95 %	-2,96		0,00				
	Пред. доп.	наиб.	10	наиб.	1,74			0,00			
		наим.	-10	наим.	-3,12			0,00		0,00	
Напр ВС	Норм. доп.	верхн.	5	95 %	1,33	0,00				0,00	ДА
		нижн.	-5	95 %	-3,29		0,00				
	Пред. доп.	наиб.	10	наиб.	1,49			0,00			
		наим.	-10	наим.	-3,44			0,00		0,00	
Напр СА	Норм. доп.	верхн.	5	95 %	1,25	0,00				0,00	ДА
		нижн.	-5	95 %	-3,37		0,00				
	Пред. доп.	наиб.	10	наиб.	1,41			0,00			
		наим.	-10	наим.	-3,52			0,00		0,00	
Скидка (надбавка), %			0%	Усреднение $T_{1(\Sigma)}$ и $T_{2(\Sigma)}, \%$				0,00	0,00		

Рис. 2. Установившееся отклонения напряжения

Нормативное значение $K_{2U}, \%$		Результаты измерений $K_{2U}, \%$				Соответствие норме
		$K_{2U}, \%$	$T_1, \%$	$T_2, \%$		
Норм. доп.	2,00	95 %	0,25	0,00		ДА
Пред. доп.	4,00	наиб.	0,31		0,00	

Рис. 3. Коэффициент нессиметрии напряжений по обратной последовательности

Заключение

Для обеспечения требуемых показателей электрической энергии и $\cos \varphi$ необходимо контролировать несимметричность нагрузки, перекося фаз с последующей их ликвидацией, и установить регулируемые шунтирующие реакторы для компенсации реактивной мощности непосредственно на источниках генерации электрической энергии, а регулируемые конденсаторные установки и инверторы непосредственно на системах распределения и потребителях. Это позволит обеспечить необходимую электромагнитную

совместимость электроэнергетических систем от генерации до потребителей и уменьшить потери электрической энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ режимов работы устройств компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения предприятия/И.М. Базыль – Текст//Известия ТулГУ/ Технические науки.2011.вып.6.Ч.1, с.281-285.
2. ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАО «Алексинская электросетевая компания» 2012-2015 г.г.
3. **ГОСТ 32144-2013.** Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2014. –20 с. – Текст: непосредственный.
4. **Кудрин, Б.И.** Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, М.Г. Ошурков. - Рн/Д: Феникс, 2017. - 416 с.
5. **Сибикин, Ю.Д.** Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: Учебник / Ю.Д. Сибикин. - М.: Инфра-М, 2017. - 89 с.

Ключевые слова: коэффициент реактивной мощности, частота, генерация, потери, электрическая энергия

Сведения об авторах:

Степанов Владимир Михайлович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроэнергетика» Тульского государственного университета.

Базыль Илья Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» Тульского государственного университета.

e-mail: 141451@mail.ru

Адрес: г. Тула, проспект Ленина, 92

УДК 621.3

ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПРИУСАДЕБНЫМ УЧАСТКОМ «УМНАЯ ДАЧА»

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Д.В. Конкин, А.В. Виноградов

Представлена актуальность разработки системы удаленного мониторинга и управления приусадебным участком «УМНАЯ ДАЧА», а также обзор имеющихся систем интеллектуального мониторинга и управления,

используемых на различных объектах. Сформулирована концепция организации удаленного мониторинга и управления приусадебным участком, заключающаяся в удалённом определении необходимости его обслуживания и обеспечении безопасности а также управлении оборудованием, в том числе полива растений, освещения территории за счёт средств визуального контроля, контроля с помощью датчиков движения, уровня жидкости, освещённости и других, использования нейросетей для обработки информации с датчиков, применения возобновляемых источников энергии и средств автоматизации для энергообеспечения и управления оборудования системы. Внедрение предложенной разработки даёт возможность экономии владельцам приусадебных участков получать экономию за счёт сокращения количества выездов для обслуживания участка, автоматизации процесса полива растений, предотвращения несанкционированных проникновений на участок.

Введение

Для таких крупных городов, как Москва, Санкт-Петербург характерно, что дачные участки находятся на расстоянии в десятки, и даже сотни километров от места постоянного проживания их хозяев. Это приводит к тому, что для качественного содержания дачи хозяевам требуется практически еженедельно выезжать на неё, что сопряжено со значительными затратами времени и ресурсов. Отсутствие систем мониторинга состояния приусадебного участка затрудняет планирование посещения дачного участка. Сократить количество поездок и затраты возможно при наличии сведений о состоянии участка, в том числе степени зарастания травяного покрова, степени зарастания грядок, степени зрелости выращиваемых на участке плодов, необходимости полива растений. Наличие оперативной информации об этом позволит рационально планировать поездки, сократив соответствующие затраты на них. В настоящее время происходит значительное продвижение в разработке интеллектуальных автоматизированных систем, как в России, так и за рубежом. Но при этом среди множества существующих проектов нет проработанных в достаточной степени решений по автоматизации дачного участка, вопросам взаимодействия различных элементов, установленных на нем.

Не исследованы и не обоснованы параметры и рациональная структура систем удалённого мониторинга и управления системами обеспечения приусадебных участков. Требуется разработка новых способов получения информации о необходимости управления системами обеспечения приусадебного участка и алгоритмов их реализации. Не проработаны вопросы интеграции возобновляемых источников энергии в системы мониторинга и управления, обеспечения приусадебных участков с выявлением и обоснованием параметров ВИЭ. Поэтому разработка системы удаленного мониторинга и управления приусадебным участком «УМНАЯ ДАЧА» является актуальной задачей.

Теория вопроса

Опрос, проведённый Всероссийским центром изучения общественного мнения (ВЦИОМ), показал, что более 60% россиян летом с разной регулярностью выезжают на дачу. Комплексное наблюдение условий жизни населения за 2020 год по данным Росстата показало, что около 23,9% российских домохозяйств проживают в индивидуальном (одноквартирном) доме, 4,1% — в части индивидуального дома. Доля городских семей, проживающих в частных домах, составила 12,5% [1].

Цель работы заключается в повышении эффективности и сокращении затрат на эксплуатацию приусадебного участка за счёт разработки системы удаленного мониторинга и управления оборудованием систем обеспечения участка, в том числе систем видеонаблюдения, полива, энергообеспечения.

Концепция удалённого мониторинга дачных приусадебных участков заключается в осуществлении удалённого мониторинга территории дачного, приусадебного участка, включая определение необходимости его обслуживания (покос травы, сбор урожая, проведение других работ) и обеспечение безопасности (выявление несанкционированного проникновения, выявление опасности пожара и т.д.) а также управление его оборудованием, в том числе включением и отключением полива растений, освещения территории за счёт средств визуального контроля, контроля с помощью датчиков движения, уровня жидкости, освещённости и других, использования нейросетей для обработки информации с датчиков, применения возобновляемых источников энергии и средств автоматизации для энергообеспечения и управления оборудования системы.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработанной концепции удалённого мониторинга и управления системами обеспечения приусадебного участка; выявлении рациональной структуры системы удалённого мониторинга и управления системами обеспечения приусадебного участка; решениях по интеграции возобновляемого источника энергии – фотоэлектрической установки в систему удалённого мониторинга и управления системами обеспечения приусадебного участка

Практическая значимость заключается в том, что применение разрабатываемой системы позволит сократить время, затраченное на полив растений на участке, а также снизить расходы электроэнергии, снизить финансовые затраты на поездки, повысить комфортность проживания владельцев дачных участков и автоматизировать технологический процесс обслуживания приусадебных участков

Для решения задач исследования применяются методы литературного обзора и статистического анализа, математического моделирования, инженерного эксперимента, методы технико-экономического обоснования.

Описание метода исследования

В ходе исследования был произведен анализ научных трудов по теме. Был произведен анализ технологий, используемых в умных домах, модернизация удаленного мониторинга и управления приусадебным участком.

В рамках информационного поиска на предмет уникальности технических решений для выполнения работы «Разработка системы удаленного мониторинга и управления приусадебным участком» были рассмотрены различные источники информации по существующим решениям в области интеллектуальных технологий “умный дом”. В качестве источников информации были использованы: поисковые системы Yandex и Google, электронная библиотека eLIBRARY.ru, КиберЛенинка.

Анализ показал, что под технологиями умной теплицы как правило подразумевается автоматизированный тепличный комплекс, ведущий управление выращиванием сельскохозяйственных культур с минимальным участием человека. В технологические процессы умных теплиц входят выращивание рассады и саженцев, полив семян, прореживание всходов, опыление, полив, удаление сорняков, сбор урожая и ряд других процессов в защищённом грунте [2].

Анализ технологии умный дом показал, что под ними подразумевается автоматизация оборудования, контролирующего и управляющего работой всей бытовой техники с учетом заданных пользователем настроек. Лучшие системы “Умный дом” защищают от несанкционированного проникновения, помогают избежать аварийных ситуаций, предупреждают о пожаре. Однако их назначение отличается от разрабатываемой системы удалённого мониторинга и управления. [3].

Анализ интеллектуальных систем освещения с микропроцессорным управлением выявил, что они позволяют контролировать и эффективно управлять уровнем мощности и режимами работы осветительных приборов [4].

Под системой видеонаблюдения понимается комплекс охранного оборудования, выполняющего функции обеспечения постоянного визуального контроля над территорией, а также совокупность программного обеспечения, осуществляющих обработку информации [5].

Анализ автоматических систем управления зданиями (АСУЗ) выявил, что целью внедрения данных систем является мониторинг и управление инженерными системами зданий для понижения затрат на электроэнергию, воду, персонал и т.д. АСУЗ имеет аналогичные системы безопасности и управления зданием, как и “Умный дом”. Интеллектуальное здание чаще всего применяется к большим объектам, офисным центрам, тогда как системы «Умный дом» применяются в относительно небольших частных объектах [6].

Умный город – это территория с умной инфраструктурой, экологичной современной энергетикой, биотехнологиями. Умный город включает в себя понятия и системы: умный дом, умные инженерные сети, умную территорию (бульвар, улица, магистраль), умную транспортную систему, умную среду, умную экономику города, умное управление) [7].

Анализ системы «Умные электрические сети» показал, что умная сеть анализирует информацию о режимах работы сетей детально в режиме реального времени. Она позволяет заменить связь типа «точка-точка» стандартизированной связью, аналогичную интернету. Умные сети передают не только данные, но и изображения в режиме реального времени, помогающие предотвращать сбои. Умные сети смягчают рост пиковых нагрузок с помощью приборов учета электроэнергии, которые собирают данные по потреблению. От результатов анализа и прогнозирования работ зависит организация работ по ремонту оборудования. С помощью диагностики можно своевременно вводить оборудование в ремонтное состояние [8].

Выполнен анализ способов прогнозирования электрических систем с помощью нейронных сетей. Применение нейросетей позволяет реализовывать так называемые «умные» технологии прогнозирования на основе машинного обучения. Прогнозирование с помощью нейронных сетей имеет ряд своих недостатков. В частности, требуется большое количество наблюдений за объектом для того, чтобы создать приблизительно похожую модель. Тем не менее, эта технология находит всё более широкое применение во всех сферах жизни, в том числе технологиях мониторинга и управления. Умное управление в свою очередь — это управление с использованием цифровизированных систем.

Выполненный обзор умных технологий не выявил готовых решений в сфере удалённого мониторинга и управления системами приусадебного участка, хотя некоторые решения из технологий «умный дом», «умное здание», «умные сети» и других можно применить в разрабатываемой концепции.

Заключение

Анализируя источники и интернет-ресурсы, было выявлено, что на сегодняшний день информация о системах удаленного мониторинга и управления приусадебным участком отсутствует. Имеются элементы умных технологий и оборудования, которые можно применить в разрабатываемой концепции удалённого мониторинга и управления приусадебными участками.

Внедрение автоматизированной системы удаленного мониторинга и управления приусадебным участком является перспективным направлением, положительными сторонами которого является сокращение затрат владельцев участков, повышение безопасности на участках, повышение комфорта использования дачных участков.

Ключевые слова: автоматизация дачного участка, возобновляемые источники энергии, фотоэлектрическая установка, удаленный мониторинг и управление приусадебным участком, нейронные сети, умный дом, умная теплица.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральные статические наблюдения по специально-демографическим проблемам. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/75792> (дата обращения 05.10.2022)

2. **Довлатов И.М., Смирнов А.А.** К вопросу роботизации тепличных комплексов // Инновации в сельском хозяйстве. 2018. №4 (29). С. 95-102.
3. 12 лучших систем умного дома 2021 и советы по выбору URL: <https://clck.ru/32Pxxv>. (дата обращения 10.10.2022)
4. **Белаш В.Ч., Зноско К.Ф.** Интеллектуальная система освещения с микропроцессорным управлением // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2018. Т. 8. №2. С. 107-118.
5. **Кутурга В.В.** Интеллектуальная система видеонаблюдения // Научное обозрение. Технические науки. 2017. №1. С. 75-77
6. **Комаров Н.М., Жаров В.Г.** Управление инженерными системами интеллектуального здания с использованием технологий информационного и инфографического моделирования //Сервис plus. 2013. № 2. С. 74-81
7. **Ярош Н.Н.** Городское хозяйство: от "города солнца" к умному городу. //Экономический журнал. 2013. № 2 (30). С. 72-88
8. **Попова Н.М., Коротких Н.В., Петрикеева Н.А.** Оптимизация работы энергосистем. Определение вероятного ущерба от перерывов энергоснабжения //Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2018. № 4 (13). С. 29-36

Ключевые слова: интеллектуальные устройства, умные устройства, эффективность, энергосбережение, электрическая энергия

Сведения об авторах:

Виноградов Александр Владимирович – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией электроснабжения и теплообеспечения

Конкин Дмитрий Владимирович – специалист.

e-mail: winaleksandr@gmail.com

Адрес: г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5.

УДК 621.3

ПЕРЕГРУЗКИ И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

ФГБОУ ВО «Казанский Государственный Энергетический Университет»

Р.М. Петрова, Е.И. Грачева

В статье описана надежность трансформаторов, приведены допустимые превышения температуры и зависимость установившихся перегревов от коэффициента загрузки трансформатора. Приведены зависимости нагревов от меняющейся нагрузки трансформаторов. Рассчитана постоянная времени нагревания в зависимости от мощности и системы охлаждения трансформатора.

Введение

Надежность трансформаторов определяется показателями безотказности, долговечности и ремонтпригодности. [1]

Прямые поражения воздушных линий, питающих трансформаторы, молниями и индуктированные перенапряжения дают 30...50% повреждений продольной и главной изоляции трансформаторов. [2]

Токи короткого замыкания непосредственно приводят к выходу из строя 15...25% трансформаторов из-за механического повреждения обмоток и деталей их крепления. Отдельные трансформаторы повреждаются уже при 2...5 близких токах КЗ [2].

Теория вопроса

Температура нагрева υ какой-либо части трансформатора зависит не только от возникающих в этой части потерь, но и от температуры охлаждающей среды $\upsilon_{o.c.}$ – воздуха. Разность $\upsilon - \upsilon_{o.c.} = \theta$ составляет превышение температуры данной части трансформатора относительно температуры охлаждающей среды. [3, 4]

Исходными данными, принимаемыми при расчетах номинальных режимов трансформаторов, являются значения температур, приведенные в табл.1.

Номинальная температура наиболее нагретой точки обмотки $\upsilon_{об.мах}=98^{\circ}\text{C}$. Номинальная температура средней по сопротивлению температуры обмотки $\upsilon_{об.ср}=85^{\circ}\text{C}$. В закрытых трансформаторных подстанциях с естественной приточной вентиляцией эквивалентная температура воздуха на 8°C выше, чем наружного.

Таблица 1

Допустимые превышения (перегревы) температуры

Наименование температуры	Обозначение	Значение
Средняя температура обмотки сверх температуры масла	$\theta_{об.ср.м}, ^{\circ}\text{C}$	21
Средняя по сопротивлению температура обмотки сверх температуры воздуха	$\theta_{об.ср}, ^{\circ}\text{C}$	65
Средняя по объему температура масла над температурой охлаждающего воздуха	$\theta_{м.ср}, ^{\circ}\text{C}$	44
Температура масла в верхних слоях сверх температуры охлаждающего воздуха	$\theta_{м.мах}, ^{\circ}\text{C}$	55
Температура наиболее нагретой точки обмотки над средней по сопротивлению температурой обмотки	$\theta_{об.мах} - \theta_{об.ср.}, ^{\circ}\text{C}$	13
Температура наиболее нагретой точки обмотки над температурой охлаждающего воздуха	$\theta_{об.мах}, ^{\circ}\text{C}$	78

Методика проведения исследований

При нагрузке трансформатора, установившиеся перегревы θ_k обмоток и масла оцениваются по зависимостям, приведенным на рис. 1.

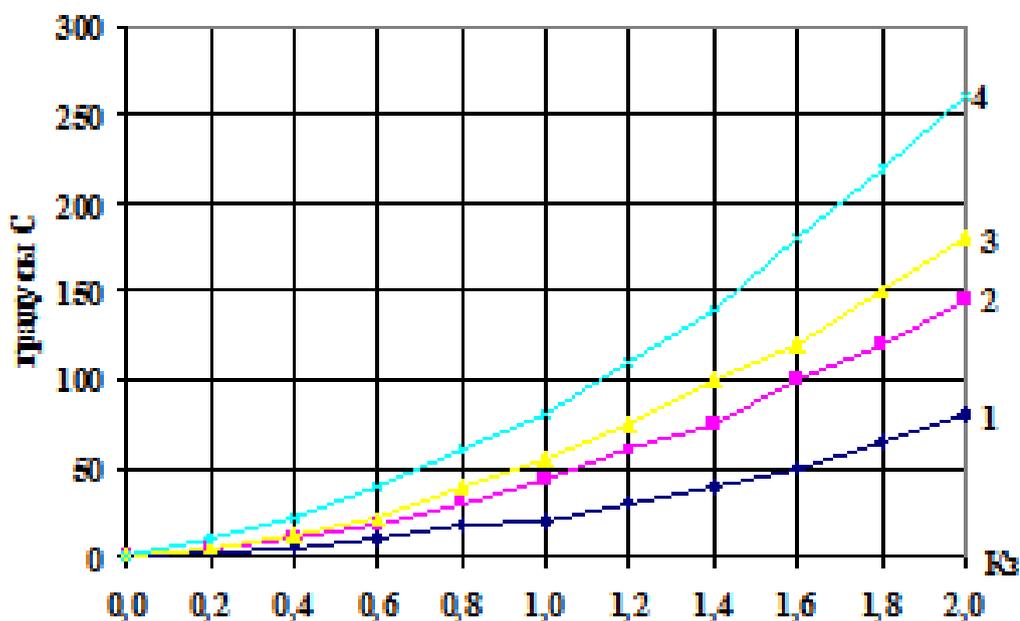


Рис. 1. Зависимость установившихся перегревов θ_k , °С от коэффициента загрузки

На рисунке 1:

- 1 – средний перегрев обмотки сверх температуры масла;
- 2 – средний перегрев масла сверх температуры охлаждающего воздуха;
- 3 – перегрев масла сверх температуры охлаждающего воздуха;
- 4 – перегрев наиболее нагретой точки сверх температуры охлаждающего воздуха.

Таблица 2

Зависимости установившихся перегревов от коэффициента загрузки трансформатора

Наименование температуры	Формула для аппроксимации
Средняя температура обмотки сверх температуры масла	$18,36(K_3)^2 + 2,2 K_3 + 1,2$
Средняя по объему температура масла над температурой охлаждающего воздуха	$29,46(K_3)^2 + 14 K_3 - 0,19$
Температуры масла в верхних слоях сверх температуры охлаждающего воздуха	$34,6(K_3)^2 + 21,6 K_3 - 1,1$
Температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой охлаждающего воздуха	$48,6(K_3)^2 + 33 K_3 - 0,98$

В табл. 2 приведены формулы аппроксимации установившихся перегревов от коэффициента загрузки трансформатора, полученные из рис.1.

Описание метода исследований

Расчеты нагревов обмоток и масла трансформаторов при меняющихся во времени нагрузках основаны на следующей зависимости (1):

$$\theta_k(t) = \theta_0 e^{-\frac{t}{T_0}} + \theta_k (1 - e^{-\frac{t}{T_0}}) \quad (1)$$

где $\theta_k(t)$ – перегрев части трансформатора в момент t ;

θ_0 – перегрев части трансформатора в момент времени $t=0$;

θ_k – конечный перегрев за $3T_0$ при неизменной нагрузке. [5]

Время достижения установившихся перегревов трансформатора определяется условиями охлаждения и характеризуется постоянной времени нагревания T_0 (табл. 3).

Таблица 3

Постоянная времени нагревания трансформаторов в зависимости от мощности и системы охлаждения

Мощность трансформатора, МВА	Тип охлаждения	Постоянная времени нагревания T_0 , ч
До 0,63	М	2,5
1...6,3	М	3,5
10...32	Д	2,5
40...63	Д	3,5
100...125	ДЦ	2,5
125 и выше	ДЦ	3,5

Заключение

Для трансформаторов допускаются аварийные и систематические перегрузки в зависимости от графиков нагрузки и температуры охлаждающей среды.

Значение систематических перегрузок определяется двумя условиями:

1. Тепловой износ изоляции должен быть таким же, как и при длительной неизменной температуре обмотки в наиболее нагретой точке $98\text{ }^\circ\text{C}$.

2. Наибольшая температура масла в верхних слоях и наиболее нагретой точке обмотки в течение процесса нагрева не выше 95 и $140\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грачева, Е.И., Садыков, Р.Р. Исследование вероятностных характеристик систем электроснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. №1-2.

2. **Садыков, Р.Р.** Формирование моделей оценки эксплуатационной надежности систем внутризаводского электроснабжения / Е.И. Грачева, Р.Р. Садыков // Вести высших учебных заведений Черноземья. Электроэнергетика. 2017. № 1(47). С.1–10.

3. **Садыков, Р.Р.** Применение аналитического метода расчета надежности элементов систем электроснабжения на основе вероятностных моделей / Е.И. Грачева, А.Р. Сафин, Р.Р. Садыков // Надежность и безопасность энергетики. 2017. № 1(36). С. 48–52.

4. **Секретарев, Ю.А., Левин, В.М.** Оценка влияния на надежность системы электроснабжения различного рода дефектов ее основных элементов // Вестник КГЭУ. 2019. №4 (44).

5. **Petrov, T.I., Safin A.R.** Theoretical aspects of optimization synchronous machine rotors. E3S Web of Conferences. 178. 01049. 10.1051/e3sconf/202017801049. 2020.

Ключевые слова: трансформатор, надежность, интенсивность отказов, время безотказной работы, перегрузка, ток короткого замыкания, трансформаторная подстанция, номинальная мощность.

Сведения об авторах

Петрова Рената Маратовна – аспирант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета.

Грачев Елена Ивановна – доктор технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Казанского государственного энергетического университета.

e-mail: 1998renata@mail.ru

Адрес: г. Казань, ул. Красносельская, 51

УДК 621.3

ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ МОДЕЛИ OPF

Москва, ФГАОУ ВО НИТУ МИСиС

Аббас Майтхам Худайр Аббас, Косарева-Володько О.В.

В электроэнергетике происходит переход от существующей электрической сети к более безопасной, надежной, мощной и продвинутой интеллектуальной сети. Возобновляемые источники энергии, такие как ветряная и солнечная энергия, будут интегрированы в общую сеть электроэнергетики Ирака, основная цель – это оптимизация потоков мощности всей энергосистемы.

Все ранее проведенные исследования использовали в своей структуре нечеткую многоцелевую модель OPF Optimal Power Flow (OPF) – оптимизация

потоков мощности — это свободный набор компонентов для создания процессов на уровне проекта. Она включает в себя три основных компонента:

- метамодель,
- репозиторий фрагментов методов,
- руководства по конструированию и использованию, которые описывают способы повторного использования фрагментов.

Рассмотрим усовершенствованный алгоритм искусственной пчелиной семьи (IABC), другими словами, коллективное поведение децентрализованной самоорганизующейся системы был использован для решения данной модели. Системы роевого интеллекта, как правило, состоят из множества агентов (боидов), локально взаимодействующих между собой и с окружающей средой. Каждый боид следует очень простым правилам и, несмотря на то, что нет какой-то централизованной системы управления поведением, которая бы указывала каждому из них на то, что ему следует делать, локальные и, в некоторой степени, случайные взаимодействия приводят к возникновению интеллектуального группового поведения, неконтролируемого отдельными боидами. Точное определение роевого интеллекта (РИ) всё еще не сформулировано. В целом, РИ должен представлять собой многоагентную систему, которая бы обладала самоорганизующимся поведением, которое, суммарно, должно проявлять некоторое разумное поведение. В алгоритме IABC было применено отображение хаоса для генерации начальных роев, эталонных решений по изменениям и эталонных размеров переходных операций для улучшения разнообразия роя. Предложенный метод был применен к многоцелевым задачам OPF для шин IEEE. Предлагаемый алгоритм GOA может сделать работу энергосистемы системы более экономичной и стабильной.

В одном из литературных источников [7] новая методика оптимизации роя частиц была использована для решения экономического распределения нагрузки с учетом выбросов газа в окружающую среду электростанциями с ограничениями баланса мощности и генерации.

В одном из изученных литературных источников [8] использовался эвристический метод обучения оптимизации на основе обучения (TLBO) для решения многоцелевых задач потока мощности. Этими целями были минимизация затрат на топливо, минимизация потерь активной мощности и минимизация отклонений напряжения. Методом взвешенной суммы сформированы многокритериальные функции. Результаты TLBO сравнивались со смешанной оптимизацией роя целочисленных частиц (MIPSO). В документе показано, что новый алгоритм TLBO более эффективен и действенен.

Демонстрации, представленные в следующем литературном источнике [9], представляют решение для трех целей: общая стоимость топлива, общие выбросы и общие потери реальной мощности, как многоцелевая задача оптимизации. Кроме того, в этой статье показано использование многоцелевого электромагнетизма, такого как алгоритм (МОЕМА), основанный на концепции доминирования Парето и стратегии внешнего архива, для решения проблемы OPF. Система IEEE с 30 шинами использовалась для обеспечения эффективности этого метода по сравнению с некоторыми другими методами.

Исследования, представленные в литературном источнике [10] представили алгоритм дифференциального поиска (DSA), который будет использоваться для решения задачи OPF в энергосистемах. Путем оптимизации некоторых параметров энергосистемы, таких как выработка реальной мощности, значение шунтирующей емкости, коэффициенты переключения РПН и напряжения на шине, были достигнуты более низкие значения стоимости топлива и реальных потерь мощности. Они протестировали предложенные алгоритмы на системах питания с шинами IEEE. Результаты, полученные в этой работе, подтвердили, что метод DSA был простым и эффективным методом поиска.

В следующем источнике [11] представлен метод многоплановой оптимизации (MVO) для решения многоцелевой задачи OPF в различных испытанных энергосистемах. Это новая метаэвристика, основанная на астрофизических концепциях белых дыр и черных. Алгоритм MVO был протестирован на двух разных тестовых примерах: первый с выбросами NOx без учета потерь мощности, а второй - с потерями мощности.

В изученной работе [12] представлен новый метод оптимизации, а именно оптимизатор муравьиных львов (ALO), который был применен для решения проблемы OPF. Он был протестирован на тестовой системе IEEE 30-bus с учетом различных монообъективных проблем. Результаты моделирования показали, что предложенная методика позволяет достичь наилучшего решения.

В следующем источнике [13] для решения ОБТК был представлен новый одноцелевой или многоцелевой алгоритм оптимизации, вдохновленный охотничьим поведением серых волков (S / MOGWO). Предложенный MOGWO был применен для получения оптимальных по Парето решений для синхронизированной минимизации выбросов загрязняющих газов вместе со стоимостью топлива. Кроме того, был применен процесс нечеткого решения, чтобы классифицировать глобальные оптимальные по Парето решения как наиболее подходящие решения без доминирования. Затем он был протестирован на системе с 30 шинами IEEE. Ограничения генерации учитывались в целевой функции для достижения применимого и точного решения.

В работе, представленной в следующем литературном источнике [14], для решения MOOPF использовался стохастический весовой компромисс с хаотической недоминантной сортировкой роя частиц для решения MOOPF с учетом стоимости топлива генератора и потерь активной мощности как целевых функций для минимизации. Метод доказал свою эффективность и результативность при решении многокритериальных оптимальных потоков мощности. Методика продемонстрировала улучшение в решении возможностей поиска за счет применения механизмов стохастического компромисса веса и компромисса динамических коэффициентов с компонентами члена скорости обновления.

Все рассмотренные и изученные методы могут сбалансировано применяться как в глобальном поиске, так и при локальном использовании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **W. Ongsakul, V.N. Dieu**, "Artificial intelligence in power system optimization," 2013.
2. **H. Xuanhu, W. Wang, J. Jiang, L. Xu**, "An Improved Artificial Bee Colony Algorithm and Its Application to Multi-Objective Optimal Power Flow," *Energies*, vol. 8, pp. 2412-2437, 2015.
3. **J. Zhang, Q. Tang, P. Li, D. Deng, Y. Chen**, "A modified MOEA/D approach to the solution of multi-objective optimal power flow problem," *Applied Soft Computing*, vol. 47, pp. 494-514, 2016.
4. **N. Singh and Y. Kumar**, "Multiobjective Economic Load Dispatch Problem Solved by New PSO," *Advances in Electrical Engineering*, vol. 2015, pp. 1-6, 2015.
5. **S. Sahu, A. Barisal, A. Kaudi**, "Multi-objective optimal power flow with DG placement using TLBO and MIPSO: A comparative study," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 236-243, 2018.
6. **K. Abaci, V. Yamacli**, "Differential search algorithm for solving multi-objective optimal power flow problem," *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 79, pp. 1-10, 2019.
7. **N. Chopra, J. Sharma**, "Multi-objective optimum load dispatch using Multi-verse optimization," *IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES)*, Delhi, pp. 1-5, 2016.
8. **S. Mouassa, T. Bouktir, A. Salhi**, "Ant lion optimizer for solving optimal reactive power dispatch problem in power systems," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 20, no. 3, pp. 885-895, 2017.
9. **Al-Attar, A. El-Gaafary, Y. Mohamed, A. Hemeida**, "Multi-Objective Modified Grey Wolf Optimizer for Optimal Power Flow," *IEEE*, 2016.
10. **S. Reddy**, "Optimal power flow using hybrid differential evolution and harmony search algorithm," *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2018.
11. **Y. Li, Y. Li, G. Li, D. Zhao, C. Chen**, "Two-stage multi-objective OPF for AC/DC grids with VSC-HVDC: Incorporating decisions analysis into optimization process," *Energy*, vol. 147, pp. 286-296, 2018.
12. **G. Chen, Z. Lu, Z. Zhang**, "Improved Krill Herd Algorithm with Novel Constraint Handling Method for Solving Optimal Power Flow Problems," *Energies*, vol. 11, no. 1, pp. 76, 2018.
13. **K. Abaci, V. Yamacli**, "Optimal reactive-power dispatch using differential search algorithm," *Electrical Engineering*, 2016.
14. **J. Kim, Y. Choi, H. Lee, D. Jung**, "Development of warm initial solution approaches to improve the quality of Pareto optimal solutions in water distribution network design," *Seventh International Conference on Information Science and Technology (ICIST)*, Da Nang, pp. 142-146, 2017.
15. **M. Joorabian, E. Afzalan**, "Optimal power flow under both normal and contingent operation conditions using the hybrid fuzzy particle swarm optimisation and Nelder–Mead algorithm (HFPSO–NM)," *Appl Soft Comput*, vol. 14, pp. 623-633, 2014.

16. **P. Biswas, P. Suganthan, R. Mallipeddi, G. Amaratunga**, "Optimal power flow solutions using differential evolution algorithm integrated with effective constraint handling techniques", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 68, pp. 81-100, 2018.

17. **S. Saremi, S. Mirjalili, A. Lewis**, "Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application," *Advances in Engineering Software*, no. 105, pp. 30–47, 2017.

18. **A. G. Neve, G. M. Kakandikar, O. Kulkarni**, "Application of Grasshopper Optimization Algorithm for Constrained and Unconstrained Test Functions," *International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation*, India, vol. 6, no.3, 2017.

Ключевые слова: модель, оптимизация, поток, мощность, алгоритм, метод.

Аббас Майтхам Худайр Аббас- аспирант кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС

Косарева-Володько Ольга Владимировна – доцент кафедры «Энергетика и энергоэффективность горной промышленности» НИТУ МИСиС

e-mail: kosareva-volodko@rambler.ru, maitham2020hd@gmail.com

Адрес: 119991 Москва, Ленинский проспект д.4.

УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ АЦЕТОНА НА ПОПЕРЕЧНО-ОРЕБРЕННЫХ ТРУБАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ

УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого»

Н.А. Вальченко, Д.С. Радюк

В представленной работе изложены результаты исследования процесса теплоотдачи при кипении ацетона на горизонтальных трубках. Исследовались трубки, с различной чистотой обработки поверхности, наружным диаметром 25 мм и трубки такого же диаметра с фрезерованным оребрением различного профиля. Наружный диаметр всех видов ребер одинаков и составлял 50 мм. Плотность подводимого теплового потока, $q = 2,9-30,1$ кВт/м². Определены закономерности влияния геометрических параметров теплоотдающей поверхности на вид кривой кипения. Опытным путем выявлено влияние условий «стеснения» на интенсификацию отдачи тепла от трубок к кипящей жидкости (ацетону) в канале. Полученные значения коэффициентов теплоотдачи трубок с ребрами в 2-3,5 раза выше аналогичных величин для трубок не имеющих оребрения, что свидетельствует о значительной эффективности теплоотдачи оребренных поверхностей.

Введение

Актуальность исследований определяется необходимостью отвода тепловых потоков высокой плотности с уменьшением габаритных размеров теплоотводящих поверхностей, с возможностью работы на различных типах теплоносителей [1, 2].

К тому же, до настоящего времени нет достаточно полных исследований по процессу теплообмена в условиях жидкостной прослойки, имеющей толщину соизмеримую с диаметром теплоотдающей трубки, и затрудненного отвода паровых пузырей, что снижает точность расчета различных теплообменных установок.

Экспериментальная установка и методика проведения исследований

Для проведения необходимых исследований на кафедре «Промышленная теплоэнергетика и экология» Учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого» была создана экспериментальная установка.

Тепловой поток к исследуемым поверхностям подводился от ТЭНа, размещенного внутри трубки. В изолированную камеру подавалась исследуемая жидкость, а образующаяся паровая фаза отводилась в конденсатор и возвращалась обратно в камеру. Регулируя расход охлаждающей жидкости в конденсаторе, в кольцевом канале камеры поддерживалось заданное давление.

Экспериментальные образцы изготавливались из дюралюминия. Образцы с наружным поперечным оребрением, представляющие собой горизонтальные трубки из дюралюминия, с трапецеидальным, треугольным и параболоидным профилем ребра диаметром 50 мм. Для осуществления измерений температуры, на исследуемых образцах, устанавливались термопары.

Полученные результаты исследования и их анализ

Первоначально были получены опытные данные при кипении ацетона на гладких трубках в диапазоне тепловых потоков 7-98 кВт/м². Экспериментально определенные значения коэффициентов теплотдачи отображают интенсификацию процесса теплообмена в условиях «стеснения» [3, 4].

Опытные исследования, при кипении ацетона на оребренных трубках с различным профилем ребра, проведены в интервале тепловых потоков $q = 2,9-30,1$ кВт/м² при давлении равном атмосферному. В эксперименте применялись следующие типы оребренных трубок: с треугольным, параболическим и прямоугольным профилем ребра. Полученные расчетные величины плотности теплового потока на оребренных трубках, по сравнению с гладкими трубками, имеют меньшие значения. Это объясняется тем, что подводимый от ТЭНа тепловой поток относился к общей поверхности оребренной трубки, которая существенно больше, чем поверхность гладкой и шероховатой трубки.

Процесс образования паровых пузырей начинался у основания ребер, на

оребрённых поверхностях, при небольших температурных напорах и плотностях теплового потока ($0,5 - 2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ и $5 \text{ }^\circ\text{C}$, $2,5 \text{ кВт/м}^2$ и 6 кВт/м^2 , соответственно, см. рис. 1), что свидетельствует о увеличении коэффициента теплоотдачи оребрённых поверхностей. Коэффициенты теплоотдачи для них в среднем в 2,75 раза выше, чем для гладкой трубки (рис. 2).

Хочется отметить, что форма графиков зависимостей $\Delta T = f(q)$ и $\alpha = f(q)$ оребрённых поверхностей определяется типом ребра [5-7], а сами кривые кипения оребрённых трубок, по сравнению с гладкими трубками, смещаются в область более низких температурных напоров. Наибольшие коэффициенты теплоотдачи, в диапазоне тепловых потоков $2,5 - 15 \text{ кВт/м}^2$, наблюдались на оребрённом образце с прямоугольным профилем. Это объясняется более быстрым прогревом прямоугольного ребра и, как следствием, жидкости между ребер. Соответственно и процесс парообразования начинался раньше.

В дальнейшем, с увеличением плотности теплового потока $q > 11 \text{ кВт/м}^2$, температурный напор прямоугольного оребрения становится соизмерим с аналогичным параметром трапецивидного оребрения. Так как зарождение паровых пузырей происходит в первую очередь у основания ребер, то с увеличением плотности теплового потока увеличивается объем образовавшейся паровой фазы и узкое, не меняющееся по высоте ребра, межреберное расстояние прямоугольного оребрения (по сравнению с другими оребрёнными поверхностями) затрудняет отвод паровых пузырей и приводит к росту температурного напора.

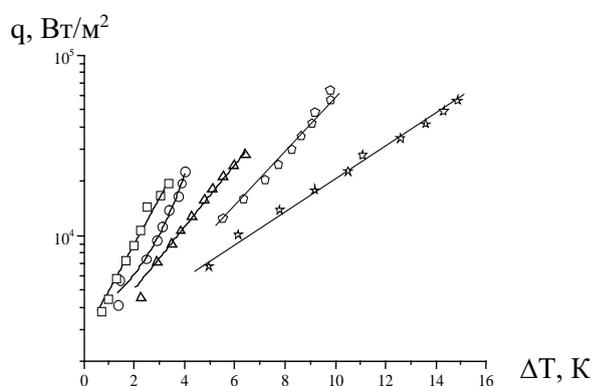


Рис. 1. Опытные зависимости $\Delta T = f(q)$ при кипении ацетона на исследуемых образцах при атмосферном давлении.

☆ - полированная трубка; ◇ - технически шероховатая трубка; △ - треугольный профиль ребра; ○ - параболический профиль ребра; □ - прямоугольный профиль ребра.

Достаточно высокие температурные напоры и, как следствие, низкие коэффициенты теплоотдачи у треугольного оребрения объясняются тем, что полная наружная площадь трубки с треугольным оребрением минимальна, а конвективный отвод нагретой жидкости из межреберного пространства и подвод холодной жидкости к основанию ребер максимальные, по сравнению с другими типами оребрённых поверхностей.

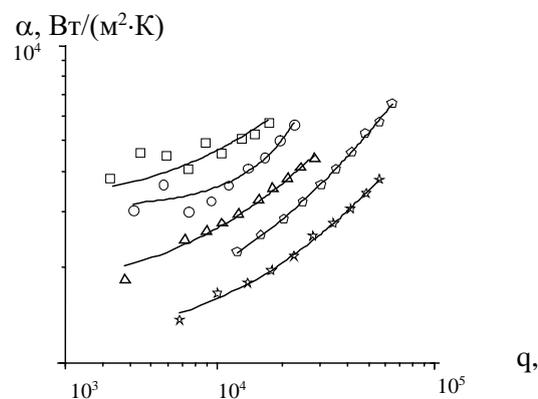


Рис. 2. Опытные зависимости $\alpha = f(q)$ при кипении ацетона на исследуемых образцах при атмосферном давлении.

Это подтверждается и визуальными наблюдениями за процессом кипения, который начинался на трубке с треугольным оребрением при более высоких температурных напорах и плотностях теплового потока ($2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 4 кВт/м^2).

Заключение

1. На основании проведенных экспериментов было получено подтверждение влияния условий «стеснения» на увеличение интенсивности процесса теплоотдачи при кипении ацетона на горизонтальных трубках в канале кольцевого профиля.

2. Экспериментальные исследования процесса кипения ацетона были проведены на поперечно-оребрённых трубках. Коэффициенты теплоотдачи, в этом случае были в 2-3,5 раза выше аналогичных величин для гладкой поверхности, что свидетельствует о том, что рассмотренный в работе метод интенсификации теплоотдачи обладает высокой эффективностью.

3. Определены закономерности влияния профиля ребра на вид кривой кипения. Установлено, что в диапазоне малых тепловых потоков ($2,9 - 11\text{ кВт/м}^2$) наиболее эффективным является прямоугольное оребрение, а при $q > 11\text{ кВт/м}^2$ и параболическое.

4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке высокопроизводительных малогабаритных теплообменников, поверхности теплоотдачи которых работают в условиях «стеснения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Керн, Д.** Развитые поверхности теплообмена: пер. с англ. / Д. Керн, А. Краус. – М.: Энергия, 1977. – 464 с. – Текст: непосредственный.

2. **Кутепов, А.М.** Гидродинамика и теплообмен при парообразовании / А. М. Кутепов, Л. С. Стерман, Н. Г. Стюшин. – М.: Высш. шк., 1977. – 352 с. – Текст: непосредственный.

3. **Малышев, А.А.** Истинные параметры кипящих хладагентов в трубах и каналах / А. А. Малышев, К. В. Киссер, А. В. Зайцев // Вестн. Междунар. акад. холода. – 2017. – № 2. – С. 53–56. – Текст: непосредственный.

4. **Володин, О.А.** Интенсификация теплообмена при кипении и испарении жидкостей на модифицированных поверхностях / О. А. Володин, Н. И. Печеркин, А. Н. Павленко // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Т. 59, № 2. – С. 280–312. – Текст: непосредственный.

5. Интенсификация теплоотдачи и критические тепловые потоки при кипении на поверхностях с микрооребрением / И. А. Попов [и др.] // ТВТ. – 2017. – Т. 55, вып. 4. – С. 537. – Текст: непосредственный.

6. Влияние типа структурирования поверхности на теплоотдачу при испарении и кипении в стекающих пленках / О. А. Володин [и др.] // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2017. – Т. 5, № 1. – С. 157. – Текст: непосредственный.

7. **Малышев, А.А.** Истинные параметры кипящих хладагентов в трубах и каналах / А. А. Малышев, К. В. Киссер, А. В. Зайцев // Вестн. Междунар. акад. холода. – 2017. – № 2. – С. 53–56. – Текст: непосредственный.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, оребренная поверхность, кольцевой канал, энергосберегающая технология.

Сведения об авторах

Вальченко Николай Адамович – старший преподаватель кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология».

Радюк Дмитрий Сергеевич – студент группы ТЭ-51 кафедры «Промышленная теплоэнергетика и экология».

Email: nikolai_v@gstu.by

Адрес: Республика Беларусь, г. Гомель, проспект Октября, 48.

УДК 621.3

АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕГЕТИКЕ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Гогорян М.Л., Н.В. Земцова, А.В. Щегольков

Повышение эффективности электроэнергетики основано на подходах создания инновационных с конструктивной точки зрения устройств, в которых могут быть использованы новые или улучшенные технические решения. Применение суперконденсаторов является новым направлением в системах электрогенерации, что позволяет реализовывать ранее недоступные режимы функционирования линейных электрогенераторов в условиях малых и апериодических колебаний.

Введение

Повышение эффективности электроэнергетических комплексов - используемых в технологиях возобновляемой энергетики (ветроэлектростанции) является важной научно-технической задачей и актуальной для таких отраслей, как АПК и ЖКХ. Использование суперконденсаторов в качестве промежуточного накопителя - позволяет формировать накопление заряда в условиях малого ветра, а также обеспечивает стабильный режим работы при зарядании литий-ионных аккумуляторов.

Теория вопроса

Конструктивные особенности линейного электрогенератора, который предназначен для использования в ветроэлектростанциях должны быть широкие диапазоны стабильной электрогенерации к.

Применение суперконденсаторов [1,2] и литий ионных аккумуляторов нового поколения [3] в качестве накопителей электрической энергии повышает эффективность ветроустановки и обеспечивает гибкую адаптивность для потребителей различного типа.

В России активно используются генераторы для преобразования ветровой энергии и любой другой, но все они по своему максимальному КПД, габаритам и экономической оценке отстают от рассмотренного аналога. Недостатком предлагаемых конкурентами технических решений является использование асинхронных и синхронных генераторов, которые не могут обеспечить нужного режима генерации при слабом уровне ветра. В этом отношении предлагаемый линейный генератор является более оптимальным техническим решением и позволяет повысить эффективность маломощных ветроэлектростанций.

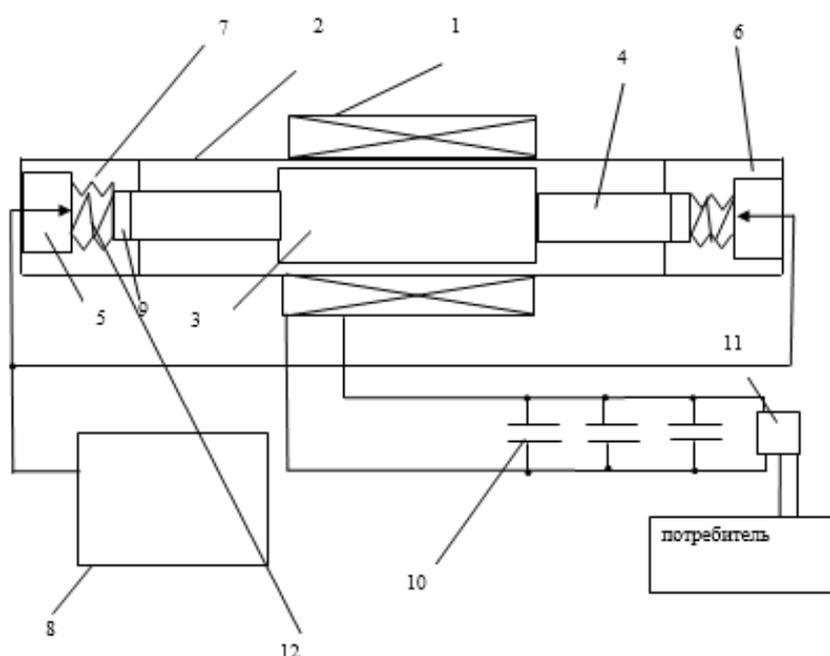


Рис. 1. Линейный электрогенератор с суперконденсаторами

Линейный электрогенератор с суперконденсаторами (рисунок 1) состоит из катушки 1, которая расположена на немагнитном корпусе 2. В корпусе 2 располагается постоянный магнит 3 закрепленный на подвижном штоке 4. Симметрично относительно штока 4 располагаются упорные магниты 5 и 6, которые со штоком соединяются через полый сильфон 7 выполненный из упругого материала - силикона. Со стороны магнитов в левом и правом торце к сильфонам 7 подключен трубопровод от емкости со сжатым воздухом 8. На торце штока имеются постоянные магниты 9. Катушка имеет электрическое соединение с суперконденсаторами 10. Суперконденсаторы также подключаются к преобразователю электрической энергии 11, которая предназначена для потребителя. Катушки, расположенные на корпусе линейного электрогенератора, предусматривают такие варианты соединения, как последовательное, параллельное, смешанное, что зависит от уровня

электрического напряжения и мощности потребителя. Во внутренней полости сильфоне установлена пружина - выполненная из упругого материала 12.

Заключение

Разработанный электрогенератор может быть использован при создании систем генерации микро мощности, а также для систем локального энергоснабжения домовладений, в том числе, с использованием возобновляемых источников энергии, особенно на удаленных от систем централизованного энергоснабжения территориях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Щегольков, А. В.** Получение пленок WO₃ на титане и графитовой фольге методом электрохимического (катодного) осаждения для топливных элементов и суперконденсаторов / А. В. Щегольков, М. С. Липкин, А. В. Щегольков // Российский химический журнал. – 2021. – Т. 65. – № 4. – С. 49-55.

2. Математическая модель суперконденсатора с графеновыми электродами / А. В. Щегольков, А. В. Мележик, Н. Р. Меметов [и др.] // Технологии и материалы для экстремальных условий (создание и разработка технологий изготовления электроактивных материалов для преобразователей и накопителей энергии) : материалы Всероссийской конференции, Звенигород, 14–18 декабря 2015 года / МЦАИ РАН. – Звенигород: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме Российской академии наук, 2015. – С. 94-99.

3. Синтез и исследование катодных материалов на основе углеродных нанотрубок для литий-ионных аккумуляторов / А. В. Щегольков, Ф. Ф. Комаров, М. С. Липкин [и др.] // Перспективные материалы. – 2021. – № 2. – С. 66-76. – DOI 10.30791/1028-978X-2021-2-66-76.

Ключевые слова: суперконденсатор, электрогенератор, режим работы, энергоэффективность.

Сведения об авторах

Гогорян Михаил Леонович – студент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

Земцова Наталия Викторовна – аспирант кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» Тамбовского государственного технического университета.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru

Адрес: Тамбовская обл., г. Рассказово, ул. 1-я Гражданская, д. 8, кв. 9

УДК 621.3

КОНСТРУКТИВНЫЕ И РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТЕПЛОВЫХ АККУМУЛЯТОРОВ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

П.Н. Никулин, И.О. Плотницкий, А.В. Щегольков

Использование солнечных коллекторов в технологиях возобновляемой энергетики является эффективным подходом с высоким уровнем экономической рентабельности. Повышение эффективности солнечных коллекторов основано на применение тепловых аккумуляторов, которые позволяют значительно повысить целый ряд энергетических и конструктивных параметров. Определяющее значение в тепловом аккумуляторе играет теплоаккумулирующий материал.

Введение

Использование материалов, обладающих эффектом фазового перехода [1-3] позволяет существенным образом улучшить эффективность тепловых аккумуляторов, так как в этом случае повышаются удельные энергетические параметры. Применение парафина, как материала, обладающего возможностью накопления тепловой энергии при фазовом переходе, открывает возможность реализации надежных систем накопления тепловой энергии, однако низкое значение теплопроводности является существенным ограничивающим фактором, который приводит к снижению эффективности, как заряда, так и разряда тепловой энергии. Решение вопроса улучшения процессов заряда/разряда может быть осуществлено с применением технологии гранулирования парафина с регулированием удельной плотности и дополнительным использованием жидкости в качестве дополнительной среды обеспечивающий возможность ротации заряженных и свободных гранул парафина.

Теория вопроса

Стоит отметить и экономические вопросы применения тепловых аккумуляторов – их задача повысить энергетическую эффективность солнечных коллекторов и в этом случае их стоимость должна соответствовать экономическому эффекту.

В этом отношении можно использовать ацетат натрия, сульфат натрия или такие углеводороды, как парафины (рис.1) Применение ацетат натрия, сульфат натрия требует использования материалов с высокой коррозионной стойкостью.

Углеводороды парафинового ряда могут выдерживать большое количество циклов заряда/разряда и доступны практически в любом количестве.

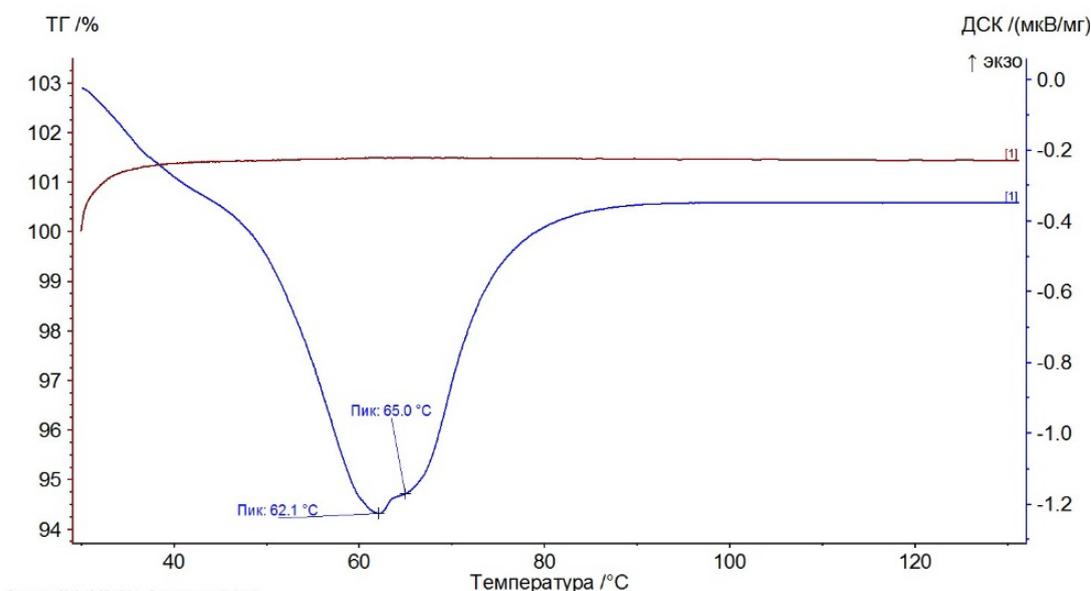


Рис. 1. Кривая ТГ и ДСК для парафина

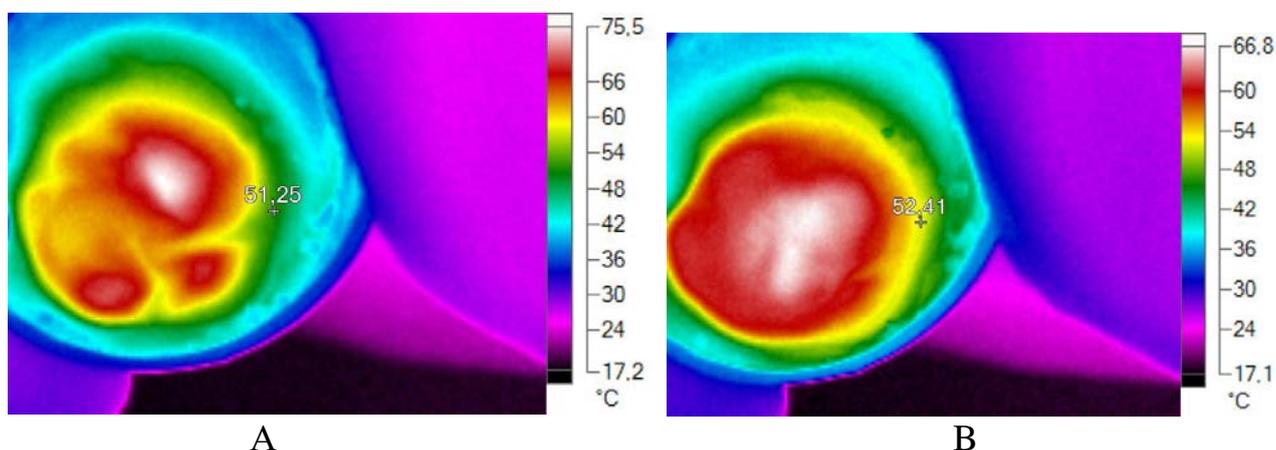


Рис. 2. Термограмма поверхности жидкости с гранулированным наномодифицированным парафином в режиме накопления тепловой энергии:
 А- до воздействия магнитного поля; В- после воздействия магнитного поля

К дополнительным плюсам применения парафинов в качестве теплоаккумулирующих материалов является возможность подбора температуры фазового перехода путем выбора соответствующего типа парафина из группы C_nH_{2n} .

Однако, у парафинов имеется и целый ряд недостатков и в первую очередь это низкая теплопроводность, что затрудняет полноценный заряд/разряд материала, а также увеличивает время заряда/разряда, что является серьезным препятствием их применения в системах тепловой аккумуляции. Использование технологии гранулирования парафинов с добавками магнитных частиц, как в микро, так и наноразмерной форме позволяет реализовать эффект термомагнитной конвекции (рисунок 2).

На рисунке 2 представлена термограмма поверхности жидкости с гранулированным наномодифицированным парафином в режиме накопления

тепловой энергии: А- до воздействия магнитного поля; В- после воздействия магнитного поля.

Использование термомагнитной конвекции может существенным образом улучшить режима, как заряда, так и разряда тепловой энергии в система с солнечными коллекторами и при этом не требуется использовать специальных устройств для перемешивания теплоаккумулирующих гранул.

Заключение

Системы с солнечными коллекторами и тепловыми аккумуляторами имеют важное энергетическое значение так, как обладают высокими удельными энергетическими параметрами, обеспечивающими возможность их применения в широком классе технологических процессов, как в АПК, так и различных сферах химической и пищевой промышленности. Дополнительным преимуществом систем с солнечными коллекторами и тепловыми аккумуляторами является высокая надежность и уровень рентабельности, что позволяет эффективно обосновывать применение таких устройств при решении задач повышения энергетической эффективности технологических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Zhang, N.** Effect of carbon nanotubes on the thermal behavior of palmitic–stearic acid eutectic mixtures as phase change materials for energy storage. *Solar Energy*, 2014, vol. 110, pp 64-70. doi: 10.1016/j.solener.2014.09.003
2. **Jayalath, A, Nicolas, RS, Sofi, M, Shanks, R, Ngo, T, Aye, L, Mendis, P,** “Properties of Cementitious Mortar and Concrete Containing Micro-encapsulated Phase Change Materials.” *Constr. Build. Mater.*, 120 408–417 (2016) DOI: doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.116
3. **Xuesen L., Guo H., Cui X.** Preparation of paraffin-based phase-change microcapsules and application in geopolymer coating. *Journal of Coatings Technology and Research*, 2018, vol. 15, Issue 4, pp 867–874. doi: 10.1007/s11998-018-0071-6

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, тепловая энергия, фазовый переход, солнечный коллектор.

Сведения об авторах

Никулин Павел Николаевич – аспирант кафедры «Электроэнергетика»
Плотницкий Игорь Олегович – генеральный директор ООО «Объединение инноваций».

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

e-mail: Energynano@yandex.ru

Адрес: Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112.

УДК 621.3

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Евдокимова С.Ю., Н.В. Земцова, А.В. Щегольков

Повышение надежности эксплуатации электрических сетей - имеющих в своем составе воздушные и кабельные линии является важной и актуальной задачей для решения которой необходимо создавать автоматизированные комплексы экспресс-анализа электрофизических параметров диэлектрической изоляции. Такие комплексы должны иметь в своем составе аппаратную часть с возможностью первичной обработки данных и модули передачи информации в вычислительные комплексы. В основе обработки информации и последующего анализа эффективным является использование нейронных сетей, как инструмента способного эффективно обрабатывать и анализировать большие информационные потоки.

Введение

Для электроэнергетического комплекса РФ характерно использование разнообразных по технологическому назначению и степени нагруженности, а также уровню износа электрических сетей. Это приводит к тому, что возникают сложности с идентификацией уровня износа и определения точного времени замены или капитального ремонта различного типа кабельных линий. Износ диэлектрической изоляции кабелей и электротехнического оборудования приводит к аварийным ситуациям, а также повышенным потерям электрической энергии (диэлектрические потери) [1,2].

Развитие классических электрических сетей до уровня активно-адаптивных электрических сетей может реализовываться на инновационных технологиях комплексной диагностики и анализа больших информационных потоков. При этом комплексная диагностика в ряде случаев подразумевает измерения как электрофизических, так и теплофизических параметров (теплопроводность и температуропроводность).

Теория вопроса

Совмещение в процессе измерения возможности получения информации о электро- и теплофизических данных является эффективным подходом позволяющим прогнозировать рабочие режимы кабельных линий в условия высокого уровня нагрузок. Оценка теплофизических параметров позволяет определить возможную устойчивость кабеля в условиях предельных температурных нагрузок. Точность оценки состояния кабельной линии также

зависит от количества точек измерений, а также повторов измерения, что позволяет устранить, как стохастическую погрешность, так более точно оценить степень воздействия внешних помех (электромагнитный шум). В этом случае в процессе измерения может формировать большой массив данных, для которого требуются специализированные методы обработки и анализа. В основе программного обеспечения для обработки данных измерений могут быть эффективно использованы нейронные сети. Для обучения нейронных сетей может быть использована информация, полученная в лабораторных условиях, что позволит существенно снизить фактор влияния внешних помех. На рисунке 1 показан внешний вид некоторых приборов, входящих в автоматизированный комплекс для экспресс-анализа электрофизических параметров диэлектрической изоляции.



Рис. 1. Внешний вид некоторых приборов входящих в автоматизированный комплекс для экспресс-анализа электрофизических параметров диэлектрической изоляции

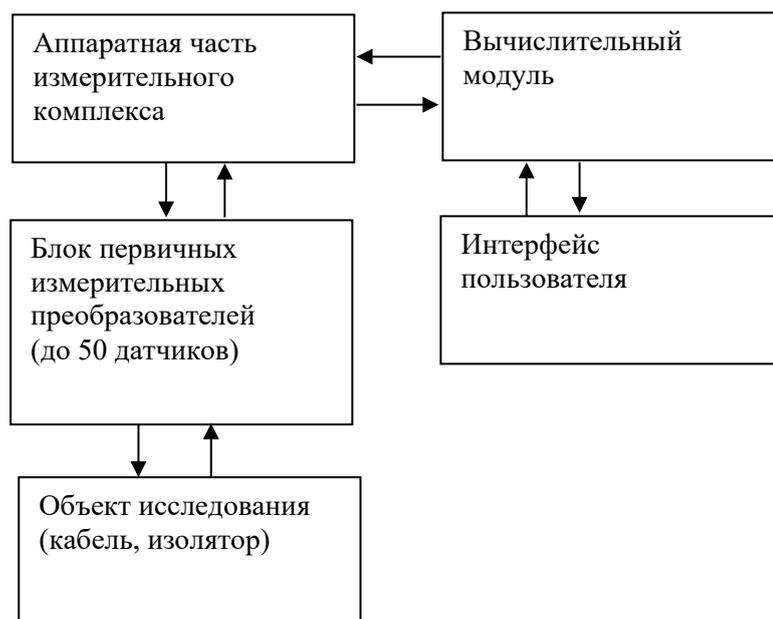


Рис. 2. Структурная схема автоматизированного комплекса для экспресс-анализа параметров диэлектрической изоляции

Структурная схема автоматизированного комплекса для экспресс-анализа параметров диэлектрической изоляции представлена на рисунке 2.

Использование методов нейронных сетей позволяет активно анализировать в процесс измерений различные факторы, которые могут быть причиной погрешностей в условиях электромагнитных помех окружающей среды.

Заключение

Автоматизированные комплексы для экспресс-анализа электрофизических параметров диэлектрической изоляции могут быть использованы в различных типах электрических сетей и обеспечить своевременный сбор данных для оценки текущего состояния и прогнозирования возможных ситуаций при эксплуатации кабельных линий. Особенно это касается режимов эксплуатации с предельными значениями нагрузок. Это позволит сократить время проведения диагностики, а также систематизировать полученные данные и минимизировать погрешность измерений.

Использование технологии нейронных сетей обеспечивает возможность совершенствования программной части комплекса без существенного изменения аппаратной части.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бондарева В.Н., Ершова Б.Г., Комаров В.Б.** и др. Анализ методов оценки ресурса бумажной изоляции силовых трансформаторов. IV Международная конференция «Силовые трансформаторы и системы диагностики». Международная Ассоциация ТРАВЭК. 23-24 июня 2009

2. **Степанов А. Г.** Оценка и прогнозирование состояния изоляционной системы силовых трансформаторов магистральных электрических сетей. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02// Защищена в Красноярском ГТУ, 2005

Ключевые слова: изоляция, экспресс-анализ, режим работы, надежность.

Сведения об авторах

Евдокимова Светлана Юрьевна – студент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

Земцова Наталия Викторовна – аспирант кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» Тамбовского государственного технического университета.

Щегольков Александр Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета.

e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru

Адрес: Тамбовская обл., г. Рассказово, ул. 1-я Гражданская, д. 8, кв. 9

ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.3

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**¹ФГБОУ ВО Орловский ГАУ²ФКП образовательное учреждение № 69**А.Б. Кононыхин¹, Д.В. Разиньков¹, А.В. Грибакин²**

Надежное и бесперебойное снабжение потребителей качественной электроэнергией, соответствующей требованиям ГОСТ 32144—2013, является одной из важнейших задач электроснабжающих организаций. В документах, регламентирующих техническую политику ПАО «Россети», подчеркнута актуальность разработки и внедрения мероприятий, направленных на контроль и повышение качества электроэнергии.

Введение

Качество выпускаемой продукции, возникновение новых высокоэффективных сельскохозяйственных и промышленных предприятий и развитие существующих невозможно без обеспечения их электрической энергией соответствующего качества [1].

По ГОСТ Р 32144—2013 изменились требования к КЭ и методы ее измерения. Потребители не всегда получают электроэнергию, соответствующую требованиям, по причине расхождений в КЭ с нормативными значениями, поэтому контроль ПКЭ является актуальной задачей.

Теория вопроса

Система адаптивного регулирования напряжения (САРН) с применением гибридного ветро - солнечного вольтодобавочного стабилизатора (ГВСВС) позволит повысить качество электроэнергии за счет стабилизации напряжения на нагрузке или регулирование показателя.

Данная установка может устанавливаться в любой точке линий электропередач, а также на вводе у потребителя, что позволит эффективнее ее использовать. Работа ГВСВС предусматривает как контроль за отклонением напряжения и, так и отпуск экологически чистой «зеленой» энергии в сеть, посредством включения в алгоритм работы гибридного инвертора.

Работа данной установки производится за счет возобновляемых источников энергии, что является актуальной задачей в соответствии с программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на

долгосрочный период (2021 - 2030 годы) «Системные исследования перехода к экологически чистой, ресурсосберегающей и конкурентоспособной энергетике»/

Использование гибридной ветро – солнечной установки, позволит решить проблему «отклонения напряжения», в любой точке линии электропередач, где оно наблюдается, позволит электросетевым компаниям, а также потребителю получать информацию об отклонениях напряжения, производить запись в базу данных с последующим регулированием напряжения [2,3].

На рисунке 1 представлена структурная схема гибридной ветро – солнечной установки.

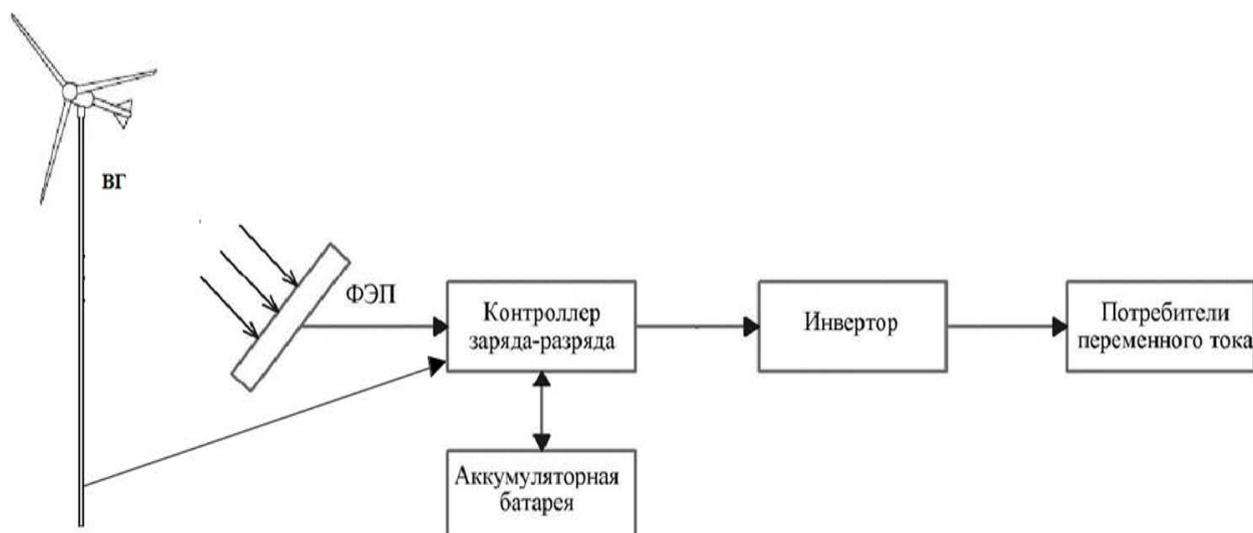


Рис. 1. Структурная схема гибридной ветро – солнечной установки

У разрабатываемой ГВСВС в настоящее время существует ряд аналогов, частично выполняющих функции предлагаемой системы. К таким аналогам можно отнести вольтодобавочные трансформаторы, которые представляют собой электрический трансформатор с переменным коэффициентом трансформации. При этом он включается вторичной обмоткой последовательно и выступает согласующим звеном. Основное предназначение данного устройства - стабилизация напряжения на нагрузке.

Необходимо отметить, что стоимость вольтодобавочных трансформаторов с поперечным и продольным регулированием значительно дороже, чем с одним из них. Для продольного и поперечного регулирования иногда приходится устанавливать два вольтодобавочных трансформатора, что существенно может сказываться на общей стоимости проекта.

Результаты

Реализация данного стабилизатора позволит контролировать отклонения напряжения на вводе потребителей от нормативных значений, а также позволит осуществлять раздельное регулирование напряжений в фазах трёхфазной электрической сети посредством работы в сети гибридного ветро - солнечного вольтодобавочного стабилизатора (ГВСВС) [4,5].

Заключение

Гибридный ветро - солнечный вольтодобавочный стабилизатор является эффективным решением проблемы низкого напряжения в электрических сетях. Блок управления измеряет входное и выходное напряжение на каждой фазе и вводит ГВСВС в работу либо переключает устройство в режим транзита электрической энергии. Устанавливается ГВСВС как можно ближе к потребителям с низким уровнем напряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Хархардин, А.Н.** Проблемы электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей на примере поселка Батакан Газимуровского района Забайкальского края / А. Н. Хархардин, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы международной молодежной научно-практической конференции, Орел, 21–22 декабря 2016 года. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – С. 282-284. – EDN YKJNNZ.
2. **Глыбина, Ю.Н.** Проблемы электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей / Ю. Н. Глыбина, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы IX международной молодежной научно-практической конференции, Орёл, 07–08 декабря 2017 года. – Орёл: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2017. – С. 226-229. – EDN YKIOKR.
3. **Беликов, Р.П.** Способы и технические средства повышения качества электроэнергии в сельских электрических сетях / Р. П. Беликов, А. Е. Семенов, И. Н. Фомин // Инновационное развитие университетской библиотеки: менеджмент и маркетинг : Материалы II научно-практической конференции, Орел, 26 апреля 2018 года. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2018. – С. 60-65. – EDN XRHBET.
4. **Бородин, М.В.** Повышение качества электроэнергии посредством расчета потерь напряжения / М. В. Бородин, Р. П. Беликов, Н. В. Махиянова // Вестник аграрной науки Дона. – 2019. – № 3(47). – С. 35-40. – EDN AUKSBF.
5. **Беликов, Р.П.** Организационно-технические и технические мероприятия повышения качества электроэнергии / Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы X Международной молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников, Орел, 07 декабря 2018 года. – Орел: Общество с ограниченной ответственностью полиграфическая фирма «Картуш», 2019. – С. 38-41. – EDN PPRHPF.

Ключевые слова: регулирование напряжения, стабилизатор, соответствие нормативным значениям, возобновляемая энергетика.

Сведения об авторах

Кононыхин Александр Борисович – обучающийся 1 курса, гр. АИМаг-121,

ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Разиньков Дмитрий Владимирович – обучающийся 3 курса, гр. АИМаг-121, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Грибакин Александр Владимирович - преподаватель ФКП образовательное учреждение № 69

e-mail: kononykhin.01@gmail.com_

Адрес: г. Орел, ул. Генерала Родина, 69.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УДАЛЕННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.И. Зелюкин, Д.С. Мальфанов, А.Е. Мишин

В некоторых населенных пунктах удаленных от центральной России отсутствует централизованное электроснабжение. Зачастую подвод электроэнергии к ним дорогостоящий и трудоемкий, из-за суровых климатических условий и географического положения. Поэтому целесообразно использовать возобновляемые источники энергии для электроснабжения подобных потребителей [1].

Введение

Рассмотрим улучшение и упрощение системы электроснабжения удаленных от централизованного электроснабжения населенных пунктов, посредством разработки модульной ветро-солнечной электростанции (ВСЭС) на примере села Ваеги, расположенного в Чукотском автономном округе.

Для этого решим следующие задачи: определим расчетную максимальную мощность на вводе потребителей населенного пункта; произведем выбор количества и места размещения ВСЭС и КТП 10/0,4 кВ; рассчитаем электрические нагрузки на участках сети 0,4 кВ, а также мощности трансформатора КТП 10/0,4 кВ; произведем выбор марок и сечений проводов ВЛИ 0,4 кВ; определим экономическую эффективность совершенствования системы электроснабжения в населенных пунктах, удаленных от централизованного электроснабжения.

Теория вопроса

Расчет электрических нагрузок в сетях 0,4 кВ проводим методом суммирования расчётных нагрузок на вводах потребителей отдельно для дневного и вечернего максимумов нагрузок.

Максимальную расчетную мощность для участка сети 0,4 кВ определяем с учётом коэффициентов одновременности, если разница между суммируемыми нагрузками не более чем в 4 раза. Результаты выбора мест расположения ВСЭС представлены на рисунке 1.

Также был произведен выбор основного оборудования ВСЭС.

Для выбора оборудования ВСЭС должны отдельно рассмотреть оборудование солнечной электростанции и ветряной [2,3].

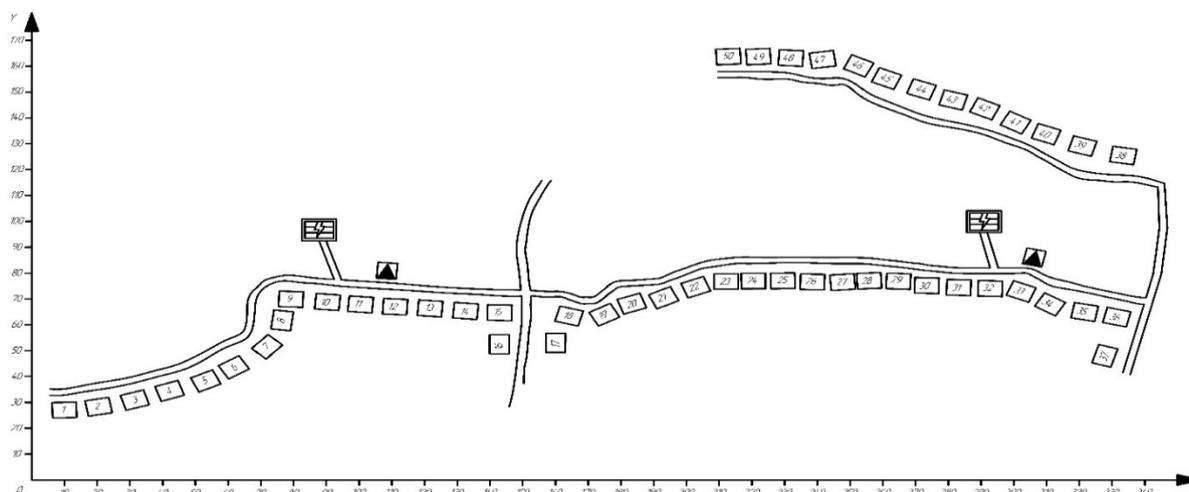


Рис. 1. Схема расположения ВСЭС и KTP10/0,4кВ

Солнечная электростанция (СЭС) состоит: ФЭП; контроллер заряда; аккумуляторы; инвертор.

Ветроэлектростанция (ВЭС) состоит: контроллер заряда аккумуляторов; аккумулятор; инвертор.

Таблица 1

Результаты расчета комплектующих СЭС

№ п/п	Наименование комплектующих изделий	Кол-во	Стоимость, руб.	
			За штуку	Всего
СЭС				
1	Солнечная панель: Jinko Solar 560 Вт (Bifacial)	915	25542	23370930
2	Солнечный инвертор: Sofar 70000 TL 3 – фазы	2	438920	877840
3	Контроллер заряда: SRNE SR-MC48100 100А	25	42312	1057800
4	АКБ тяговая: КЛ - 250P	80	2300	184000
5	Блок АВР - 400А – 03 - 0 1 - SE	1	200000	200000
Итого:		1022	709074	35203570

Результты

После подбора оборудования было произведено определение экономической эффективности для разработки модульной ВСЭС, используемой для электроснабжения населенных пунктов, удаленных от централизованного электроснабжения. Результаты расчета представлены в таблице 1 и 2.

Таблица 2

Результаты расчета комплектующих ВЭС

№ п/п	Наименование комплектующих изделий	Кол-во	Стоимость, руб.	
			За штуку	Всего
ВЭС				
1	Ветрогенератор 50 кВт FT50KW	1	3945000	3945000
2	Инвертор: Sofar 5000 TL 3 – фазы	2	458820	917640
3	Контроллер заряда: SRNE SR-MC48100 85A	3	40754	122262
4	АКБ: SunStonePower OPzS-600	18	28950	521100
5	Блок АВР - 400А – 03 – 01 - ИЕК	2	150000	300000
Итого:		26	4623542	6906002

Результаты расчетов показывают, что стоимость сооружения ВСЭС будет составлять 42109572 руб.

Заключение

Рациональность внедрения в системы электроснабжения тех или иных источников возобновляемой энергии зависит от нескольких факторов, среди которых главными являются: удаленность населенных пунктов от центров электроэнергетической системы, доступ к различным топливным ресурсам, а также техническое состояние питающих сетей [4,5].

Исходя из этого очевидно, что для обеспечения электроэнергией далеко удаленных населенных пунктов, целесообразно использовать возобновляемые источники энергии, т.к. это экономически выгодно, менее трудозатратно и экологично.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

6. Хархардин, А.Н. Проблемы электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей на примере поселка Батакан Газимуровского района Забайкальского края / А. Н. Хархардин, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы международной молодежной научно-практической конференции, Орел, 21–22 декабря 2016 года.

– Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – С. 282-284. – EDN YKJNNZ.

7. Identification power line sections with increased-electricity losses using sensors with Wi-Fi technology for data transmission / I. N. Fomin, R. P. Belikov, T. A. Kudinova, A. N. Tsvetkov // E3S Web of Conferences, Prague, 14–15 мая 2020 года. – Prague, 2020. – P. 01083. – DOI 10.1051/e3sconf/202017801083. – EDN VRQMCC.

8. **Березко, В.А.** Способ подключения ответственных потребителей к резервной электростанции / В. А. Березко, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : материалы XI Всероссийской молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников с международным участием, Орел, 19 февраля 2020 года. – Орел: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2020. – С. 387-390. – EDN ISLWUD.

9. **Мальцева, А.П.** Способ обеспечения надежного электроснабжения сельскохозяйственных ответственных потребителей / А. П. Мальцева, И. Н. Фомин // Физика и современные технологии в АПК : Материалы международной молодежной научно-практической конференции, Орел, 21–22 декабря 2016 года. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2016. – С. 274-278. – EDN YKJLKF.

10. **Глыбина, Ю.Н.** Проблемы электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей / Ю. Н. Глыбина, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы IX международной молодежной научно-практической конференции, Орёл, 07–08 декабря 2017 года. – Орёл: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2017. – С. 226-229. – EDN YKIOKR.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, электроснабжение, зеленая энергетика, ветроэлектростанции.

Сведения об авторах

Мальфанов Дмитрий Сергеевич – обучающийся 2 курса, гр. АИБ-214, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Мишин Александр Евгеньевич – обучающийся 2 курса, гр. АИБ-214, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Зелюкин Василий Иванович - преподаватель кафедры электроснабжения ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

e-mail: obglinki21@gmail.com

Адрес: г. Орел, ул. Генерала Родина, 69.

УДК 621.3

ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ЗЕЛЁНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ» В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И В МИРЕ В ЭПОХУ ГЛОБАЛЬНЫХ КРИЗИСОВ

ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(Государственный Технологический Университет)»
Московский политехнический университет

В.И. Силаев, Р.В. Ключев

Современная энергетика на 2022 год находится в системном упадке, который был вызван событиями не 2020 года с началом пандемии COVID-19, не началом рецессии мировой экономики в 2019 году (когда все физические индикаторы зафиксировали сокращение реальной экономики), а истоки лежат в 2009-2010 гг [1]. Когда в Европейском Союзе были приняты судьбоносные решения для энергетики «развитых» стран, а именно: «Директива по Возобновляемым Источникам Энергии» (весна 2009 года), «Третий Энергетический Пакет» (осень 2009 года) и «Целевая модель европейского газового рынка» (весна 2010 года) [2]. Хотя проблема «глобального потепления» поднимала вопрос о переходе на ВИЭ ещё в 2007 году, однако именно в 2009-2010 гг. они достигли своего юридического оформления, которые уже в III квартале 2021 года показали свою полную несостоятельность и губительность для всей нашей цивилизации. Стратегический просчёт в энергетической политике, привёл «развитые» страны к упадку с началом времён «реальной экономики», а именно с момента начала Эпохи Глобальных Кризисов (ЭГК) в 2019 году. Однако опыт зимы 2020-2021 гг. и 2021-2022 гг., в странах-потребителях продемонстрировал, что выполнение «Стратегии 5D», Целей Устойчивого Развития (ЦУР) и Четвёртого Энергетического Перехода (ЧЭП) на основе ВИЭ – невозможен, а слепая вера в догматы приводит к материальным потерям в сотни миллиардов долларов и к сотням человеческих жертв, как было в Техасе в 2021 году [3-4]. Попытка создания подобных энергетических структур на основе ВИЭ в ущерб традиционной энергетике в Российской Федерации идёт в разрез с целями национальной безопасности, т.к. ослабляет промышленность, социально-экономические связи и делает практически невозможное ведение сельского хозяйства и промышленности. Россия – это северная страна, где суровый климат, зима долгая и холодная, а лето короткое.

Введение

Для понимания всей глубины проблемы нужно отбросить предвзятость, которой сейчас переполнена энергетическая сфера, а именно посмотреть к каким трагедиям приводит слепое следование догматам ВИЭ на примере Европы. Однако такая проблема существует и в России, где ВИЭ становятся

«паразитами» в энергетической и финансовой сфере. Так наименее всего ВИЭ показывают свою эффективность в ОЭС Урала, где их КИУМ падает из года в год [1-3]. А переложение контроля энергии с строго регулирования со стороны человека и ИИ на удачу, что погода будет хорошей – недопустимо, особенно в энергоёмких и наукоёмких производствах. В противном случае наблюдается деиндустриализация, как в ЕС. Однако, время для ЕС и остальных «развитых» стран упущено, а попытка переиграть текущую ситуацию приводит к дистрикциям с которыми начинают бороться страны-производители (потолки цен на энергоносители). Но благодаря развитой промышленности и наличию развитого ТЭК на основе традиционной энергетики у Российской Федерации одни из лучших позиций в Эпоху Глобальных Кризисов. Если бы вся наша энергетика перешла бы на механизмы, как в ЕС, то текущее санкционное давление могло стать фатальным. Использование ВИЭ в России необходимо в отдалённых районах, куда трудно провести централизованное электроснабжение [3,5]. Однако эту проблему решают при помощи строительства Плавающих Атомных Теплоэлектростанций (ПАТЭС «Академик Ломоносов») [4-5].

Теория вопроса

Эксперты, осознав, что климатические изменения выражаются не только в «глобальном потеплении», а куда в более широком спектре проблем, поняли, что новые вызовы не могут решены только небольшой группой стран, а нужно именно мировое взаимодействие. Глобальные изменения климата, угрожают существованию нашей цивилизации. Необходимо посмотреть на изменение климата за последние 66 млн. лет, которые представлены на рисунке 1.

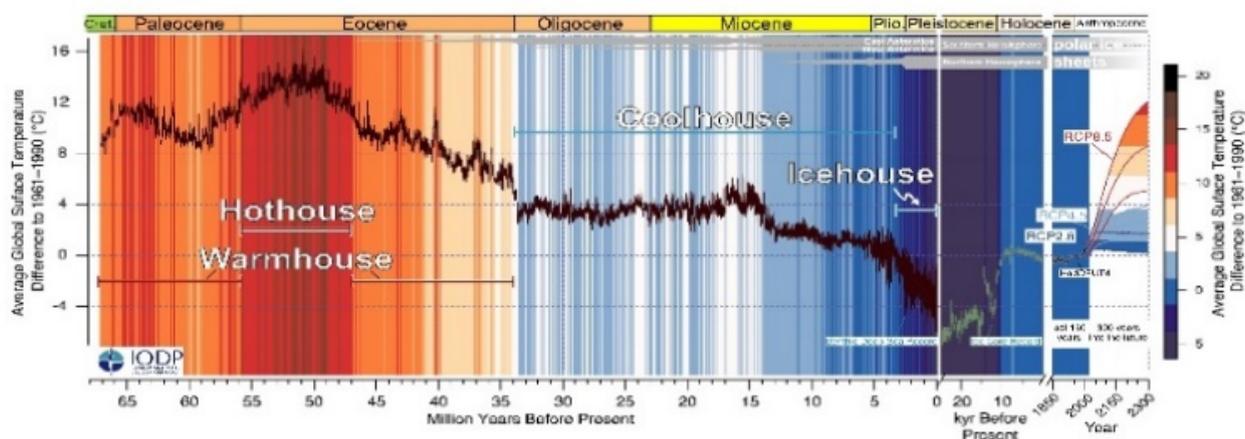


Рис. 1. Изменение климата за 66 млн. лет

Однако пути решения, которые были предложены сделаны в ущерб всем, кроме «развитых» стран. Которые наделили себя в одностороннем порядке функциями «судей», которые будут решать всё за страны-производители. Такое положение продолжалось до февраля 2022 года, когда Россия начала СВО, а «прогрессивный мир» ввёл санкции и многочисленные ограничения, которые на декабрь 2022 года продолжают сотрясать страны-потребители. Ущерб был

нанесён и России, однако нудно понимать, что именно развитая традиционная энергетика позволяет сгладить все «удары» экономическими дистрикциями и удерживать лидирующие позиции во многих областях промышленности и науки.

Методика проведения исследований

Для понимания проблематики использования «зелёной энергетике» нужно рассмотреть индекс промышленного производства (последние данные за ноябрь 2022 года), выбросы парниковых газов в странах ЕС (для примера продемонстрируем данные по выбросам CO₂ на 13 декабря во Франции и в Германии), а также годовую инфляцию в ЕС. Все эти данные представлены на рисунке 2, рисунке 3 и рисунке 4. Таким образом, можно заметить, что в ЭГК использование ВИЭ вынуждает правительство Германии вновь запустить угольную генерацию и сократить выработку «паразитических элементов» - ВИЭ, На фоне этого также во Франции встаёт вопрос о строительстве новых АЭС, которые традиционно дают от 70% до 80% энергии [5].

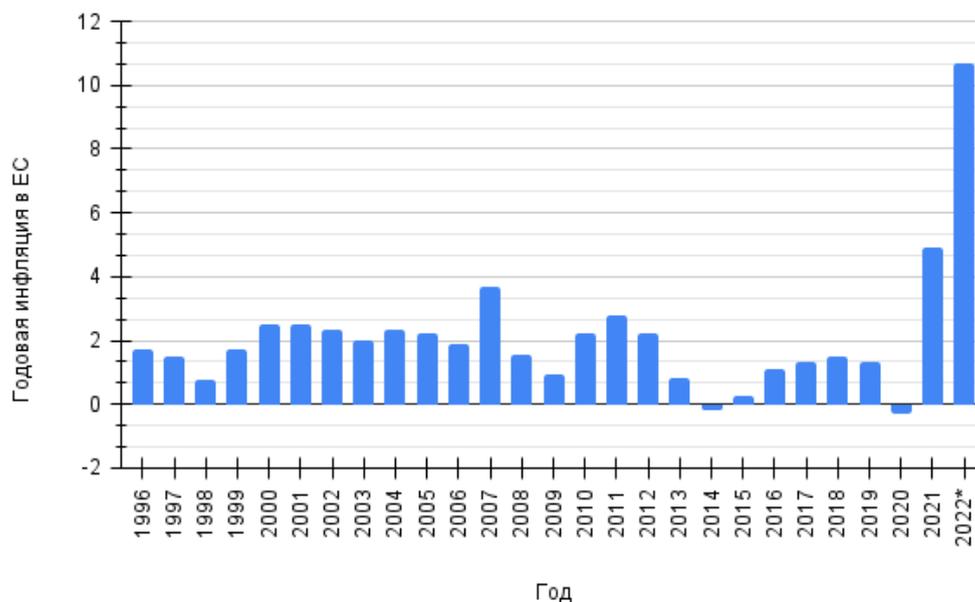


Рис. 2. Инфляция в ЕС по годам

Индустриальное производство на ноябрь 2022 года					
	В % от 2021	6 мес. среднее	В % от 2019	В % от 2007	В % от 2000
Мир в целом	104,77%	103,17%	106,97%	134,33%	166,34%
Китай	105%	103,98%	116,17%	339,54%	907,20%
Россия	97,65%	98,41%	100,27%	133,23%	199,74%
Индия	103,09%	107,27%	108,62%	174,39%	294,18%
США	103,28%	104,03%	102,86%	102,12%	111,81%
Германия	103,57%	100,26%	95,41%	97,31%	115,97%
Италия	99,81%	101,20%	100,19%	81,72%	82,60%
Франция	97,37%	99,87%	92,86%	86,83%	90,09%
Британия	96,89%	97,07%	104,03%	106,22%	113,86%
Япония	97,36%	101,58%	97,56%	82,25%	89,17%
Польша	99,47%	110,51%	122,93%	197,06%	316,67%

Рис. 3. Индустриальное производство на ноябрь 2022 года



Рис. 4. Выбросы парниковых газов во Франции и в Германии на 13 декабря 2022 года с инфографикой использование ВИЭ.

Описание метода исследований

Исследование проводилось с помощью синтетических тестов, регрессивного анализа и прежде всего изучением большого объёма данных для получения качественного заключения. Таким образом были получены данные, которые позволяют оценить стабильность энергетической системы с учётом климатических факторов, а также энергетических рисков. Это позволяет делать более качественные математические модели и при создании аналитических данных получать более точные данные.

Заключение

Для преодоления сложившихся проблем необходимо комплексное решение, которое будет опираться на АЭС, как самый эффективный и надёжный источник энергии [1-5]. На примере Франции и Германии видно, что высокая доля ВИЭ не гарантируют низкоуглеводную энергетику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Силаев В.И., Наниева Б.М.** Перспективы энергетики в Эпоху Глобальных Кризисов // III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ». - Кемерово: Институт энергетики КузГТУ, 2021. - С. 208-1-208-5.
2. **Клюев, Р.В.** Климатическое влияние на энергетику Европейского союза на примере Германии вследствие провальных энергетических реформ в 2009-2010 Г. И катастрофическое положение энергетики Европы в эпоху глобальных кризисов / Р. В. Клюев, О. А. Гаврина, В. И. Силаев // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2022. – № 2(68). – С. 14-25. – DOI 10.53015/18159958_2022_18_2_14. – EDN EMVCUF.
3. **Силаев В.И., Клюев Р.В.** Переработка отходов ядерной промышленности // III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ». - Кемерово: Институт энергетики КузГТУ, 2021. - С. 231-1-231-6.
4. **Силаев, В.И.** Распределенная энергетика труднодоступных территорий на основе плавающих атомных энергоблоков / В. И. Силаев, О. А. Гаврина, Д. Т. Голоев // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы XII Международной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 16–19 сентября 2022 года.

– Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2022. – С. 162-165. – EDN INCMOI.

5. **Силаев, В.И.** Быстрые реакторы-размножители с жидкометаллическим теплоносителем для атомных электростанций под управлением искусственного интеллекта / В. И. Силаев, Х. М. Кцоев, М. Т. Плиева // Современные тенденции развития информационных технологий в научных исследованиях и прикладных областях: Сборник докладов II Международной научно-практической конференции, Владикавказ, 29–30 апреля 2021 года. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2021. – С. 80-84. – EDN QQRLJQ.

Ключевые слова: эпоха глобальных кризисов, атомная энергетика, энергокризис, ВИЭ, глобальные изменения климата

Сведения об авторах

Силаев Вадим Иванович – магистрант кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Северо-Кавказского горно-металлургического института (Государственного Технологического Университета).

Клюев Роман Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника и технология горного и нефтегазового производства» Московского политехнического университета.

e-mail: kknig@bk.ru; kluev-roman@rambler.ru

Адрес: Республика Северная Осетия - Алания, город Владикавказ, ул. Николаева, д.44.

УДК 621.311.25

СОЛНЕЧНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ВОДЫ

ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»,

Б.Г. Надыргулов, А.Т. Ахметшин

В данной работе рассмотрены системы перекачки воды на базе солнечных фотоэлектрических элементов. Также произведен анализ существующих структурных схем построения системы перекачки воды на базе солнечных фотоэлектрических установок.

Введение

Перспектива истощения традиционных топливно-энергетических ресурсов и экологическая обстановка вызывают во всем мире рост альтернативной

энергетики, основанной на широком использовании возобновляемых источников энергии: солнечного излучения, ветра, потоков воды, геотермальной энергии и т. д. Наибольшими темпами в последние годы развивается мировая ветровая и солнечная энергетика, ежегодный прирост мощности которых достигает 30%. Экономический потенциал возобновляемых источников энергии на территории России составляет 270 млн. т. у. т, в том числе 12,5 млн. т. у. т солнечной энергии [1].

Очевидно, что разумным является использование солнечной энергии для питания децентрализованных или автономных сельскохозяйственных потребителей электроэнергии, особенностью которых, является относительно малая мощность электроустановок, сезонный характер нагрузки, а также непродолжительность использования установленной мощности.

Теория вопроса

Одной из перспективных областей применения солнечных фотоэлектрических установок в сельскохозяйственной отрасли, является перекачка воды в автономных насосных станциях малой мощности.

Существует две основные конфигурации систем перекачки воды на базе солнечных фотоэлектрических элементов, с устройствами аккумулирования электрической энергии и без них (прямого включения).

Схемы с устройствами аккумулирования электрической энергии состоят из следующих основных элементов [2,3]:

- солнечные фотоэлектрические батареи (СФБ) – это устройства, для преобразования солнечной энергии в электрическую;
- контроллеры заряда (КЗР) – это устройство автоматического регулирования уровня напряжения и тока источника для обеспечения заряда аккумуляторных батарей, предохраняя их от перезаряда и глубокого разряда;
- аккумуляторные батареи (АКБ) – это устройства накопления электрической энергии. Как правило, применяются химические источники тока многоразового действия;
- блок управления насоса (БУ) – устройство, обеспечивающее автоматическое управление и защиту насоса от аварийных режимов;
- гидроаккумулятор (Г) – расширительный бак для поддержания давления в системе водоснабжения;
- насос (Н) – осуществляющая перекачку воды от источника к потребителю. В данной статье рассматриваются электрические насосы, с электродвигателями постоянного или переменного тока (М).

В зависимости от привода насоса система может включать в себя инвертор (ИНВ.) для подключения насоса переменного тока. Инвертор может быть управляемым, регулирование частоты обеспечит лучшую производительность насоса в условиях низкой освещенности запуская насос при пониженной частоте и увеличивая частоту вращения по мере увеличения выходного напряжения солнечных панелей [4].

Поскольку, в настоящее время, себестоимость удельной выходной мощности солнечной фотоэлектрической установки на порядок больше, чем себестоимость электроэнергии из сетевой электроэнергетической системы, фотоэлектрическая энергия более экономически целесообразна при её использовании для небольших автономных потребителей. Например, в летних пастбищах, тепличных хозяйствах, оросительных системах, которые имеют низкий напор и сезонный характер работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ахметшин, А.Т.** Экономические особенности развития солнечной фотоэнергетики /А.Т. Ахметшин, С.К. Шерьязов // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. – 2017. – № 2 (20). – С. 57-66.
2. **Ахметшин, А.Т.** Комбинированная ветро-солнечная электростанция малой мощности с удаленной системой диспетчеризации ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ / А. Т. Ахметшин, Б. Г. Надыргулов, М. К. Аталиков // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2021. – № 3(59). – С. 57-62.
3. **В. Eker** Solar powered water pumping systems/ В. Eker // Trakia Journal of Sciences. – 2005. – № 7. – С. 7-11.
4. Solar pumping. Guidelines - electrical design and installation of solar pumps. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://www.pseau.org>– 14.11.2022.
5. **Ахметшин, А.Т.** Повышение эффективности солнечных фотоэлектрических установок для децентрализованного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей / А.Т. Ахметшин, У.Р. Ярмухаметов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 8 (103). – С. 150-156.

Ключевые слова: солнечная фотоэлектрическая установка, автономных насосных станциях малой мощности, перекачка воды, аккумулирование воды.

Сведения об авторах

Надыргулов Бахтияр Галеевич – аспирант кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ.

Ахметшин Артур Талгатович – кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и автоматизации технологических процессов ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ

e-mail: nbg1899@yandex.ru, artur-2506@mail.ru.

Адрес: г. Уфа, ул. 50 лет Октября, 34.

УДК 621.3

OPTIMAL POWER POINT TRACKING IN PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEMS

Oussama Belaroussi¹ and Kalinin V.F.²

¹ Department of Electrical and Heat Engineering, Faculty of Power Engineering, Tambov state technical university, Russian Federation, Tambov State, aspirant. oussama.belaroussi.47@gmail.com.

² Dr. Tech. Sci., Tambov state technical university, Professor, Russian Federation, Tambov State. vfkalinin@rambler.ru.

In this paper, the Fuzzy Logic Controller (FLC) approach for achieving maximum power point tracking (MPPT) in a solar photovoltaic (PV) array-based water pumping system with an induction motor drive is provided (IMD). The rotor flux orientation vector control (IRFOC) was proposed in this study for operating an induction motor linked to a centrifugal pump. In the same study, FLC-MPPT power detection methods were used to meet the required flow rate and head. This strategy contributes to the effective operation of the pump. MATLAB-Simulink Models were used to model a photovoltaic water pumping system in this study.

Keywords: FLC; MPPT; DC-DC; Induction motor; PV; FOC.

Introduction

The demand for renewable energy is being driven by factors such as the depletion of crude oil sources, extreme weather, and the degradation of the environment. Solar photovoltaic (PV) systems are becoming more popular due to their low cost, high efficiency, scalability, adaptability, and quiet operation. A possible use is the use of photovoltaic (PV) water pump systems, particularly in more rural areas that have limited access to utility electricity. An induction motor is often used to power WP because to the low cost and high frequency of this kind of motor [1][2]. An MPPT is a component of most modern PV pumping systems (MPPT). The PV array is able to function at its maximum power point as a result of this DC-DC converter [3]. Both the perturb and observe and the incremental conductance techniques are very common for MPPT monitoring (MPPT). The most common alternative approach is more difficult to construct than the P&O method. These tactics boost transient responsiveness even when subjected to varying levels of solar insolation. Artificial neural networks are contributing to increased intelligence in this field. Solar photovoltaic (PV) pumping uses direct current (DC) motors to drive centrifugal pumps. These motors run on DC power and are compatible with photovoltaic (PV) solar systems. DC motors are more difficult to maintain and provide less power than AC motors. The commutator and the brushes serve to prevent the motor from becoming submerged. Brushless induction motors are preferred for use in solar water pumps [4]. The PVWPS Advanced Guard may be found in Section I. In Section II, we will talk about the setup of the system. The

proposed system's control is broken out in Section III of this document. In Section IV, we provide the findings of the simulation as well as our assessment of how they relate to our optimization contribution. The last section, V, contains the conclusion.

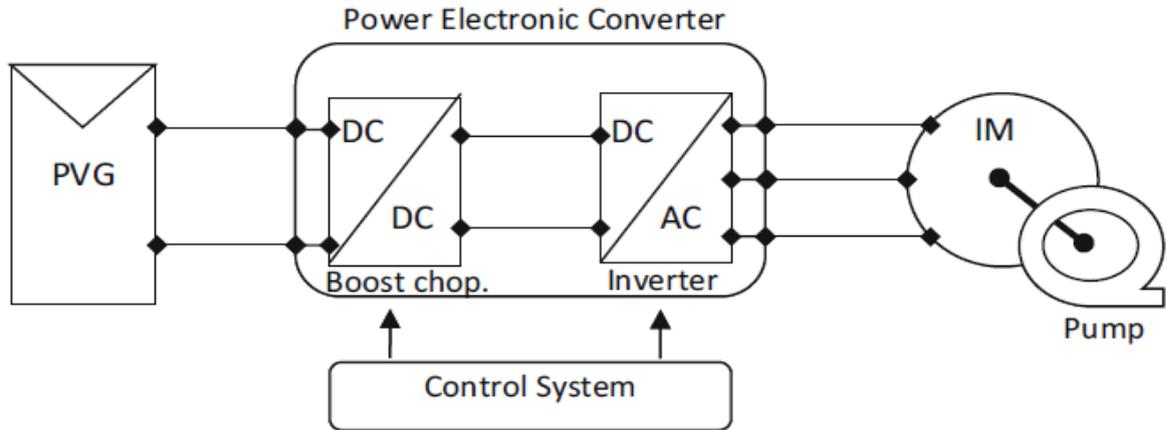


Fig. 1. Configuration of solar-powered water pumping system (SWPS)

Modeling Materials of SWPS

Figure 1 depicts the overall layout of the proposed solar photovoltaic array-fed induction motor driven water pumping system that uses a direct current to direct current converter. An array of solar photovoltaic cells, a direct current to direct current converter, a three-phase inverter, an induction motor, and a centrifugal water pump make up the proposed system, from left to right.

A PVG is a collection of photovoltaic modules that have been connected in series-parallel topologies in order to provide the voltage and power requirements of the association. These requirements include a power converter, an induction motor, and a centrifugal pump. The following current balancing equation may be constructed by considering the appropriate single-diode circuit of the PV module and applying Kirchhoff's current law (KCL) to it [5]:

$$I_{pv} = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{V_{th}} \right) - 1 \right] - \frac{(V_{pv} + R_s I_{pv})}{R_{sh}} \quad (1)$$

Where: I_{pv} , R_{sh} and R_s Array output current, PV array equivalent shunt resistance, PV array series resistance, respectively. V_{th} ; symbolizing PV array thermal voltage Eq (2). I_L : Photo-current generated Eq (3), I_0 : PV array reverse saturation current Eq (4), I_{sc} : PV array short circuit current Eq (5).

$$V_{th} = \frac{(V_{mp} + R_s I_{mp} - V_{oc})}{\log \left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}} \right)} \quad (2)$$

$$I_L = (I_{sc} + K_i(T - 298.15)) \frac{G}{1000} \quad (3)$$

$$I_0 = (I_{sc} - I_{mp}) \exp\left(\frac{(V_{mp} + R_s I_{mp})}{V_{th}}\right) \quad (4)$$

$$I_{sc} = I_{scR} \frac{G}{G_R} [1 + \alpha(T_{cel} - T_{celR})] \quad (5)$$

Boost converters are often used in the process of operating systems at higher voltage levels. The effective running of the system is made easier by a converter that has been thoughtfully constructed. Due to the fact that the boost converter just had one switch, the efficiency with which it was refurbished was extraordinary. Boost converters are helpful in finding the highest power output that a solar PV array is capable of producing [6].

It is not possible to power an induction machine with only a boost converter since it modifies and enhances the voltage. In order to interact with the induction machine in a way that is both safe and effective, a photovoltaic system requires an inverter. This allows for the efficient management of energy by converting the direct current output voltage of the transformer to an alternating voltage. VSI is often used. The usage of inverters presently (CSI). In solar energy applications, a balanced three-phase power supply may be achieved with the use of DC-AC converters, specifically three-phase inverters. The functioning is controlled via inverter switches.

Using a space vector notation written in the (d, q) reference frame rotating at synchronous speed ω_s , the IM model is given and described.

Where θ_s and θ indicate the position of the (d, q) reference frame and the rotor, respectively.

The electrical equations of the IM may be written as follows [7]:

$$\begin{cases} \frac{dI_{sd}}{dt} = -\lambda I_{sd} + \omega_s I_{sq} + \frac{k_s}{T_s} \varphi_{rd} + \omega k_s \varphi_{rq} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{sd} \\ \frac{dI_{sq}}{dt} = -\lambda I_{sq} - \omega_s I_{sd} + \frac{k_s}{T_s} \varphi_{rq} - \omega k_s \varphi_{rd} + \frac{1}{\sigma L_s} V_{sq} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_{rd}}{dt} = \frac{M}{T_r} I_{sd} - \frac{1}{T_r} \varphi_{rd} + (\omega_s - \omega) \varphi_{rq} \\ \frac{d\varphi_{rq}}{dt} = \frac{M}{T_r} I_{sq} - \frac{1}{T_r} \varphi_{rq} - (\omega_s - \omega) \varphi_{rd} \end{cases} \quad (7)$$

Where (V_{sd}, V_{sq}) and (I_{sd}, I_{sq}) represent the voltages and currents of the d-q stator, respectively. (V_{rd}, V_{rq}) and (I_{rd}, I_{rq}) represent the voltages and currents of the d-q rotors, respectively. $(\varphi_{rd}, \varphi_{rq})$ and $(\varphi_{sd}, \varphi_{sq})$ respectively represent the d-q rotor and stator fluxes. ω_s and $\omega = \Omega p$ represent the synchronous velocity and rotor velocity, respectively. $T_s = L_s/R_s$ and $T_r = L_r/R_r$ are the time constants for the stator and rotor, respectively.

$$\text{And: } \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}; k_s = \frac{M}{\sigma L_s L_r} = \frac{1-\sigma}{\sigma M}; \lambda = \frac{1}{\sigma T_s} + \frac{1-\sigma}{T_r \sigma}$$

The mechanical equations and electromagnetic torque are supplied by:

$$T_e = \frac{pM}{L_r} (\varphi_{ds} I_{sq} - \varphi_{sq} I_{ds}) \quad (8)$$

$$\frac{d\Omega}{dt} = (T_e - T_l - f_r \Omega) / J \quad (9)$$

T_l represents the load torque.

The water pump is the component of the system that is considered to be the most important. The design of it is quite important in order to fulfill the necessary irrigation requirements. There are many different kinds of pumps, each of which has a certain placement and function in the world. In this research, the usage of a centrifugal pump that is powered by an induction motor is suggested. We are able to simulate the features of the pump by:

$$P = \frac{\rho g H Q}{\eta} \quad (10)$$

$$\eta = \frac{P_u}{P} \quad (11)$$

And the torque-speed equation is expressed as follows:

$$T_{\text{pump}} = K_1 \omega^2 + K_2 \omega Q + K_3 Q^2 \quad (12)$$

$$T_r = A \omega_m^2 \quad (13)$$

$$A = P_n / \omega_n^3 \quad (14)$$

Where: $N \rightarrow$ the rotational speed shaft of pump given by (rad/s), $\rho \rightarrow$ volumetric water mass given by (Kg/m^3). $Q \rightarrow$ the water flow (m^3/s), and $H \rightarrow$ the height of rise (m), $g \rightarrow$ the acceleration of gravity (m^2/s). $K_1, K_2, K_3 \rightarrow$ are coefficients given by the manufacturer.

The following is a feed-forward equation for speed calculated from solar power's available power:

$$\omega_m^* = K \sqrt[3]{P_{pv}} \quad (15)$$

Where; P_{pv} is photovoltaic power and $K=1/\sqrt[3]{A}$. This feed-forward speed increases the dynamic performance in standalone mode and decreases the system's dependence on the pump's consistent accuracy [8].

Control approach of proposed system

The MPPT will automatically try to reach maximum power by changing the motor speed in order to meet the increasing demand for PV power. Find out whether the

current OP is located to the left or right of the MPP [9]. Because PV pumping systems are so costly, they should almost always be operating in MPPT mode. Because the power of PV modules might vary, it is essential to strike a balance between the load needs and the maximum output [10].

One of the most popular methods for machine learning is called artificial neural networks (ANNs), and it is a computational model that needs input data for training in order to create approximated output results. Artificial Neural Networks are one of the most extensively used machine learning methodologies. The ability of artificial neural networks to accurately replace complex mathematical models is one of the benefits of using these networks. Artificial techniques like as the fuzzy logic controller (FLC) have received a lot of attention [11] due to the fact that they are simple, have a high ability even when given incorrect inputs, do not need a precise mathematical model, and have the potential to solve nonlinearity. The FLC is one of the several MPPT controllers available, and it is consistently regarded as among the most effective.

3.2. Induction motor control

To enhance the induction motor's dynamic performance at a fair cost, a thorough and effective control approach must be implemented. Field Oriented Control, often known as vector control, is a feasible strategy. It is divided into indirect and direct approaches. It may be necessary to orient a rotor, stator, or air-gap flux linkage. For Indirect Field Oriented Control to determine the synchronous speed, slip speed estimation using observed or estimated rotor speed is required. No flux estimate exists inside the system. The synchronous speed for the direct system is determined using the flux angle supplied by the flux estimator or flux sensors. This implementation system details the indirect (rotor) flux-oriented control system with closed-loop speed estimator.

In order to decouple the flux and torque of the induction machine, which is one of the intrinsic features of the DC machine, the FOC is largely dependent on the orientation of the rotating frame such that the axis coincides with the direction of r (as shown in "Figure 2"). To simplify the control, it is essential to carefully choose the reference. For this, it is assumed that the 'd' axis and the flow axis are aligned; given this condition, we have [12]:

$$\varphi_{rd} = \varphi_r, \varphi_{rq} = 0 \quad (16)$$

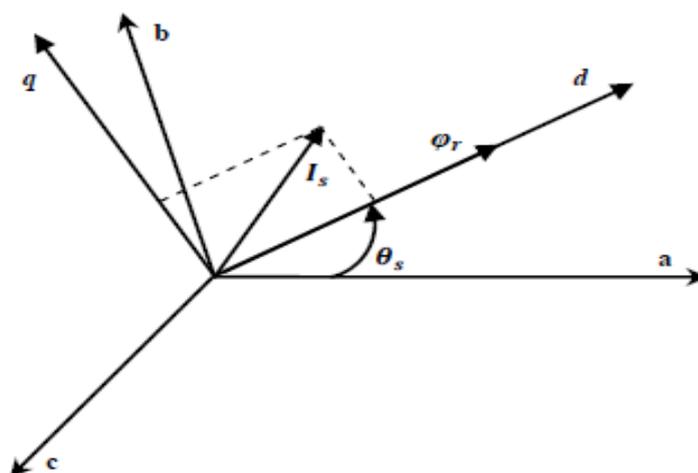


Fig. 2. Principle of the vector control

As indicated by Equation, the voltages V_{sd} and V_{sq} impact both the currents I_{sd} and I_{sq} and, therefore, the flux and torque (6). In this situation, compensation-based decoupling will be implemented.

These equations may be rewritten from (6):

$$\begin{cases} V_{sd} = V'_{sd} + E_d \\ V_{sq} = V'_{sq} + E_q \end{cases} \quad (17)$$

Where: E_d and E_q are compensation terms.

The resulting equation system is totally decoupled:

$$\begin{cases} V'_{sd} = \sigma L_s \frac{dI_{sd}}{dt} + \lambda \sigma L_s I_{sd} \\ V'_{sq} = \sigma L_s \frac{dI_{sq}}{dt} + \lambda \sigma L_s I_{sq} \end{cases} \quad (18)$$

In addition, when (8) and (16) are subtracted, the electromagnetic torque equation becomes:

$$C_e = \frac{pM}{L_r} (\varphi_r I_{sq}) \quad (17)$$

And (7) turn into:

$$\begin{cases} \varphi_r = M I_{sd} \\ (\omega_s - \omega) = \frac{M}{T_r \varphi_r} I_{sq} \end{cases} \quad (18)$$

This gives:

$$\omega_s = \frac{I_{sq}}{T_r \varphi_r} + \omega \quad (19)$$

Ultimately, we have:

$$\theta_s = \int \frac{I_{sq}}{T_r \varphi_r} + \theta \quad (20)$$

The angle θ_s will be used throughout all conversions.

The expression for the torque as a function of the currents is then:

$$T_e = \frac{pM^2}{L_r} (I_{sd} I_{sq}) \quad (21)$$

And lastly, we have:

$$\begin{cases} \varphi_r = M I_{sd} \\ T_e = \frac{pM}{L_r} (\varphi_r I_{sq}) \end{cases} \quad (22)$$

These two equations will be utilized to regulate currents and speeds, making them applicable to vector control.

The overall block diagram of the Indirect FOC for the Induction Motor is seen in Figure 3.

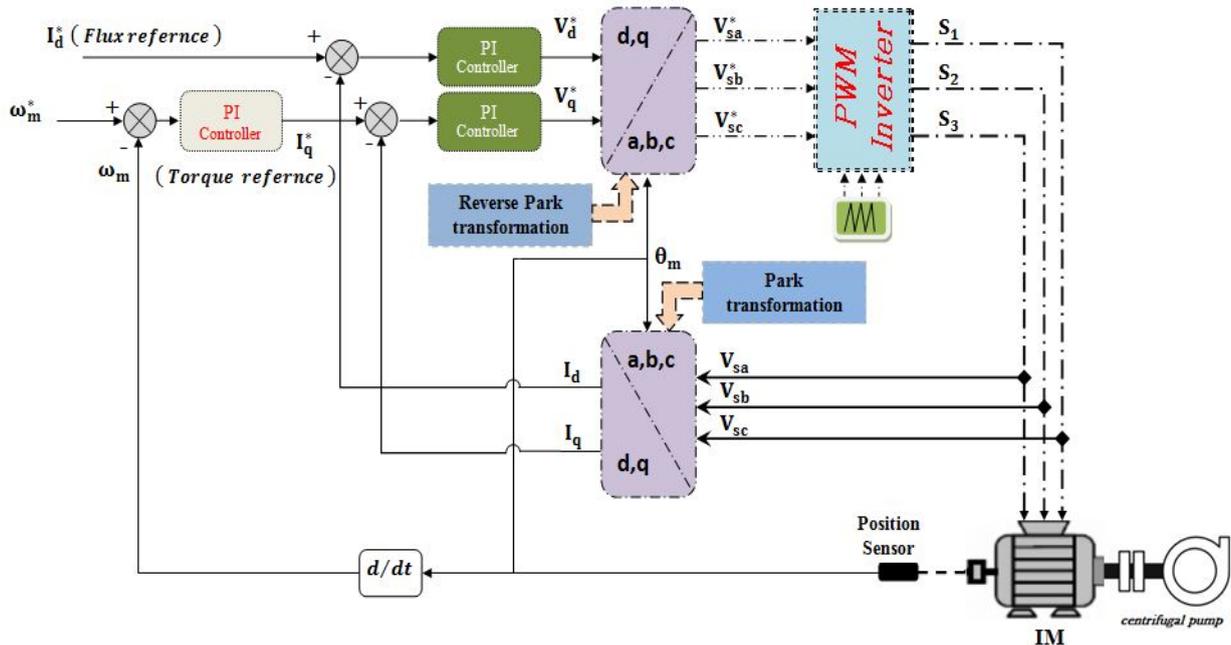


Fig. 3. Block Diagram of FOC of Induction Motor feeding a centrifugal pump

As indicated in Fig. 2, a PI (Proportional Integrator) controller is used to regulate currents; however, the PI controller is not suggested for speed regulation due to its poor performance. In this article, an IP (Integrator - Proportional) controller is employed to compensate the zero that emerges in the closed loop to reduce the overshoot in the speed response.

Simulation Results and Discussions

The FLC detects the GMPP (global MPP) of 1065 W, however the P&O (Perturb and Observe) and INC (incremental conductance) cannot swiftly follow the MPP, as shown in Figure 4. This has an instantaneous influence on rotor speed. This study illustrates that the FLC is successful even for difficult optimization issues.

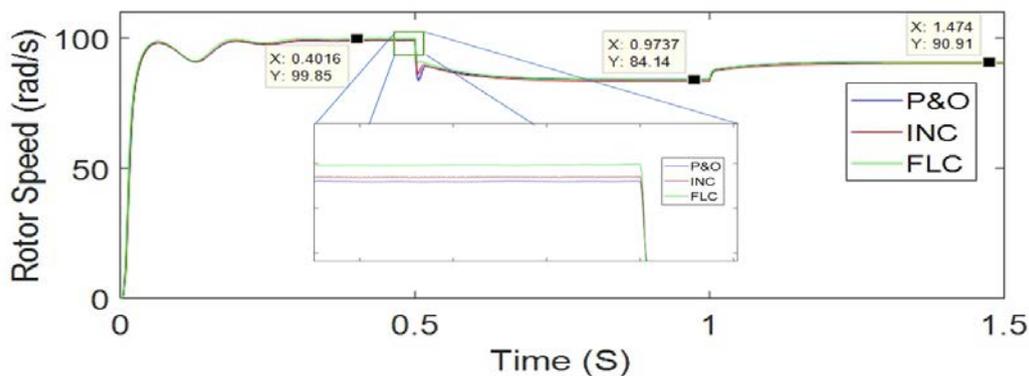


Fig. 4. Motor speed under different MPPT Methods

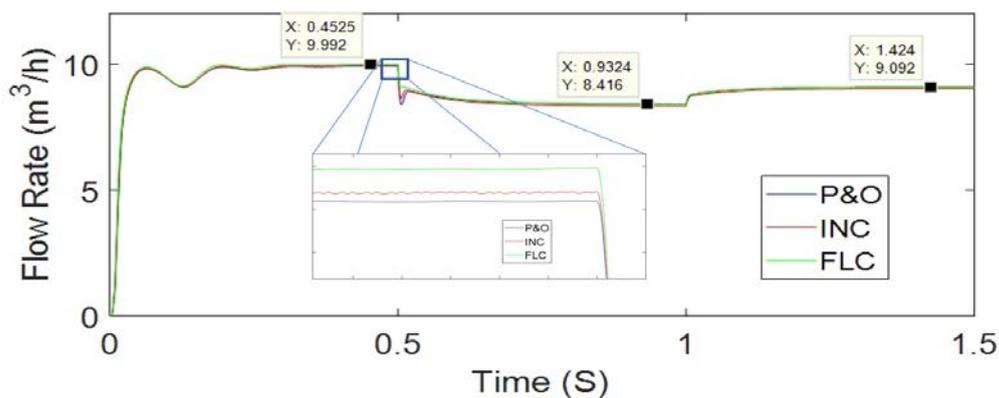


Fig. 5. Flow rate affected by different MPPT Methods

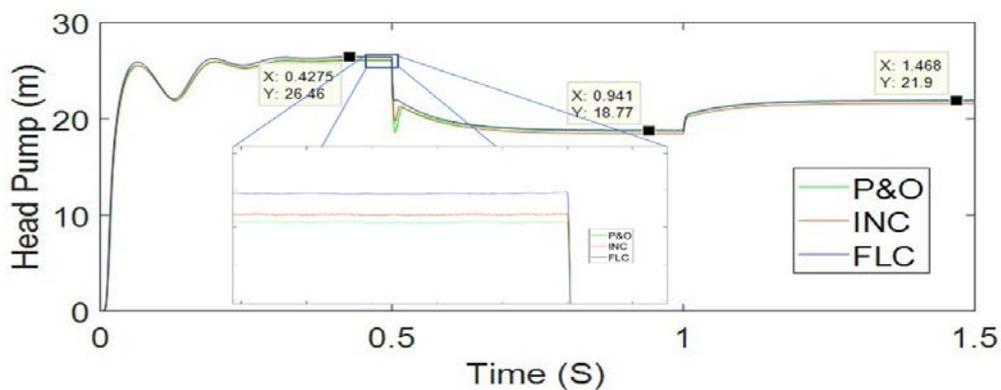


Fig. 6. Head pump affected by different MPPT Methods

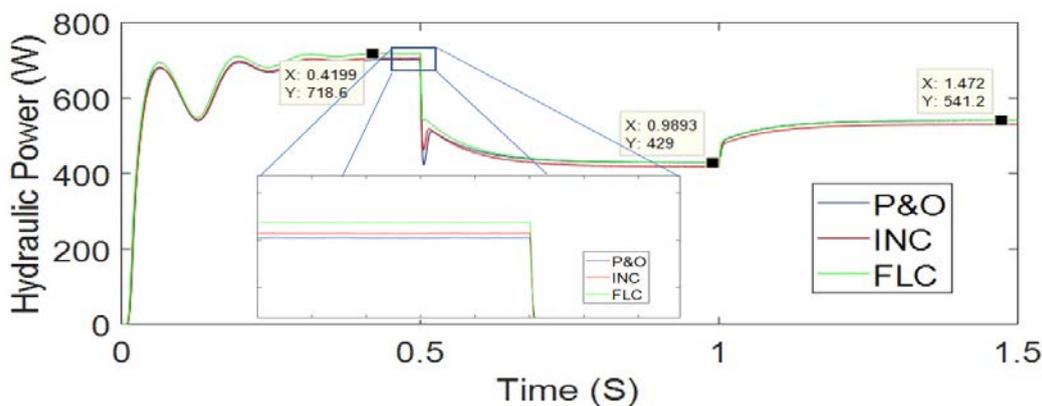


Fig. 7. Hydraulic power affected by different MPPT Methods

Figures 5, 6, and 7 illustrate, respectively, the flow rate of the centrifugal pump that was provided by IMD as well as the pump head and the hydraulic power. The intelligent technique, FLC, has a significantly faster response time to reach the MPP than the older ways, P&O and INC, which both have a much longer reaction time. In addition, the FLC technique has a much lower transient length compared to the approaches that came before it. As a consequence of the effect that various MPPT methods have on the pumping system, the findings indicate that the SPWPS (Solar Power Water Pumping System) based on the FLC method has a privileged response in comparison to P & O and INC, and that the response of the FLC almost coincides with the higher DC power under the conditions that have been proposed, whereas the P & O and INC methods do not. As a result, I have provided him with this alternative to pay the cost of feeding more agricultural produce.

Conclusion

Improving the tracking efficiency of the PV system is very necessary in order to improve the system's overall efficiency. In order to keep the DC output power and voltage at their optimal levels, the conventional MPPT approaches are applied. These time-honored practices might, to a certain extent, be efficiently replaced or complemented by approaches using artificial intelligence. The goal of this study is to demonstrate how these approaches may assist in extracting the greatest amount of electricity that can be generated by PV arrays for use in a variety of applications, including the charging of electric cars and the provision of water for irrigation.

The findings of the simulations demonstrate that the intelligent procedures, most notably FLC, showed the greatest performance out of all of the methodologies that were examined and tried. It is a fantastic solution that has the greatest steady-state efficiency and response time, as well as the ability to start the system. And the consequences of using DC power have an immediate impact on the efficiency of the pumping system.

Appendix A:

PV Array parameters: Maximum power (Watt-Peak) 249 W ; Short circuit current (ISC) 8.83 A ; Open circuit voltage (VOC) 36.8 V ; Temperature (NOCT) 25 °C ; G = 1000/835/905 W/m² (Fixed irradiance) ; N_s = 1 ; N_p = 5 .

Converter DC-DC parameters : Inductor L 1.1478 mh ; Input capacitance C_{in} 250 uF ; Output capacitance C_{out} 47 uF ; Frequency 10 KHz.

Appendix B:

Induction motor parameters : R_s= 6.75 Ω ; R_r=6.21 Ω ; L_s=0.5192 H ; L_r=0.5192 H ; M =0.4957 H ; J =0.0140; F_r= 0.002; P= 2

Centrifugal pump parameters : The nominal speed 100 rad /s ; The nominal Flow rates 10 m³/h ; The nominal Head pump 26.5 m ; The nominal Power Hydraulic 720 W .

REFERENCES:

1. **Mohd. Kashif** and all. Adaptive Hybrid Generalized Integrator Based SMO for Solar PV Array Fed Encoderless PMSM Driven Water Pump. IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY 2021, 12(3), pp. 1651-1661.
2. **Shrey Verma** and all. Solar PV powered water pumping system – A review, Materials Today: Proceedings 2021, 46 (11), pp. 5601–5606.
3. **Said M. A. Ibrahim** and all. Comprehensive Design Tool for Sizing Solar Water Pumping System in Egypt. Applied Solar Energy 2020, 56 (1), pp. 18–29.
4. **Utkarsh Sharma** and all . Utility-Tied Solar Water Pumping System for Domestic and Agricultural Applications. J. Inst. Eng. India Ser. B 2020, 101(1), pp. 79–91.
5. **Salim Djeriou** and all. Efficiency Improvement in Induction Motor-Driven Solar Water Pumping System Using Golden Section Search Algorithm. Arab J Sci Eng 2018, 43, pp. 3199–3211.
6. **Harsha Kukde** and all. Solar Powered Brushless DC Motor drive for Water Pumping System. 2017 International Conference on Power and Embedded Drive Control (ICPEDC), Chennai, India, 16-18 March 2017.
7. **Lamyae Et-taaj , Zakaria Boulghasoul , Abdelhadi Elbacha , Abdellah El kharki**, “Robust sensorless Induction Motor control based on Extended Kalman Filter observer “ , 2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN), 04-05 July 2021, Taiz, Yemen.
8. **Utkarsh Sharma** and all. Utility-Tied Solar Water Pumping System for Domestic and Agricultural Applications, J. Inst. Eng. India Ser. B 2020, 101(1), pp. 79–91.
9. **Riccardo Antonello** and all. Energy-Efficient Autonomous Solar Water-Pumping System for Permanent-Magnet Synchronous Motors. IEEE Transactions on Industrial Electronics 2017, 64 (1), pp. 43 – 51.
10. **Piyush Choudhary** and all, Solar powered induction motor-based water pumping system: A review of components, parameters and control methodologies, 2017 4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON), Mathura, India, 26-28 October 2017.
11. **Belarrousi Oussama., V. F. Kalinin., Amel Terki.** “Effective Fuzzy Logical Control for Photovoltaic System Optimization “ , Вестник ТГТУ, 27(1),pp. 62-72, 2021.
12. **Drive Shaija P J ,Asha Elizabeth Daniel**, “Robust Sliding Mode Control Strategy Applied to IFOC Induction Motor Drive “, 2021 Fourth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Erode, India.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

И.А. Павленко, В.И. Зацепина

Предложена модернизация биогазовой установки с применением геотермальных технологий. Схематически представлен вариант использования энергии земли для обогрева реактора. Рассмотрен вариант установки биогазовой установки в городе.

Введение

Одной из тенденций последних лет является повышенное внимание поиску и совершенствованию технологий получения возобновляемых источников энергии.

На сегодняшний день развитие возобновляемой энергетики необходимо по нескольким факторам. Во-первых, это рост цен на природные ресурсы – нефть, газ и уголь, который обуславливается ограниченностью их запасов. С другой стороны, это необходимо в связи с увеличением негативного воздействия человека на природу.

Одним из главных источников возобновляемой энергии является биотопливо, использование которого может разрешить ряд накопившихся проблем.

Целью работы является поиск и предложение метода, позволяющего получать биогаз независимо от природных условий в крупном городе.

Методика проведения исследований

Объектами исследований являются существующие технологии и способы получения биогаза. Проанализировав ряд опытов, было установлено, что качество, количество, а также время получения биогаза в первую очередь зависят от температуры смеси во время брожения. Оптимальная температура биомассы для мезофильного режима является 25 °С - 40 °С [1]. Именно поэтому необходимо позаботиться о дополнительном источнике тепла, благодаря которому будет возможным производить биогаз круглогодично, а также использовать данную технологию не только в южных частях нашей страны.

Такую проблему может решить использование энергии земли. При применении геотермальной установки при получении биогаза есть ряд плюсов:

1. Автономность
2. Дешевизна в использовании
3. Простота в эксплуатации
4. Подходит для большинства территорий России

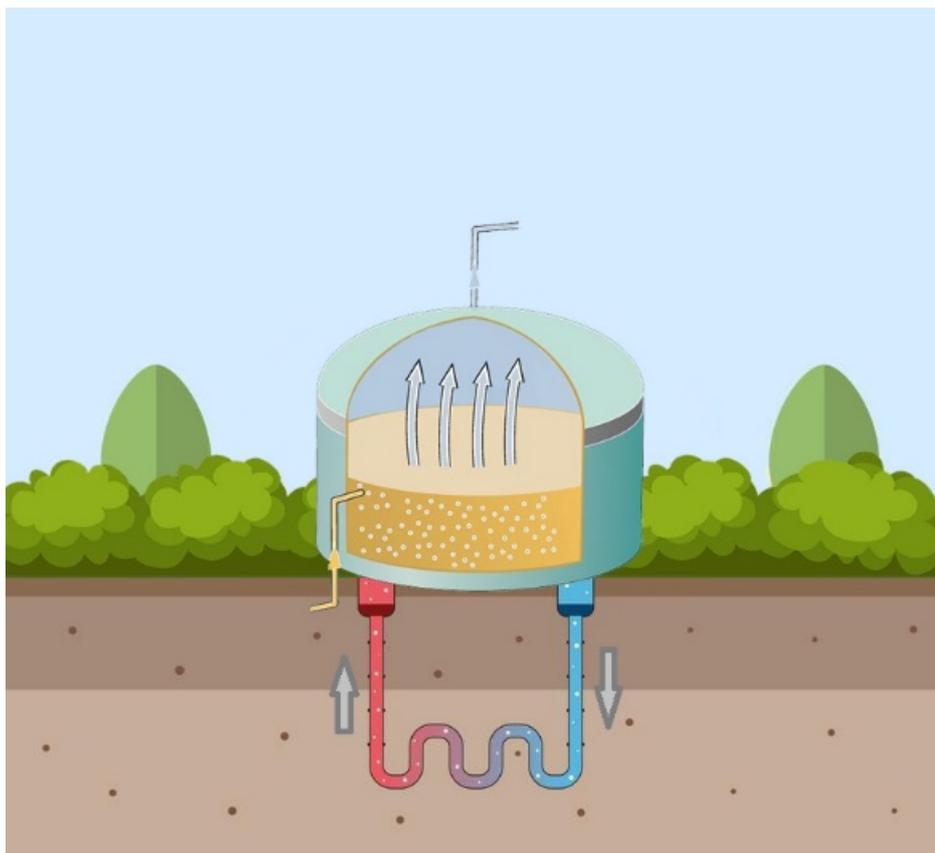


Рис. 1. Использование энергии земли для нагрева реактора

Геотермальная установка представляет собой компрессор, вертикальные или горизонтальные трубы, наполненные фреоном [2], которые закапываются в землю на глубину ниже, чем глубина промерзания грунта. Для Липецкой области эта величина находится в пределах до 1,5 м. Но для нормальной работы геотермальной установки требуется температура грунта в $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3], что находится уже на глубине порядка 3-4 метров.

При перепаде температур фреона при нагревании в земле приблизительно на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [4], можно получить температуру теплоносителя на выходе около $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, что уже позволит нагреть биореактор с помощью теплообменника.

Стоит отметить, что отличительной чертой геотермальной установки является работоспособность в любое время года, так как процесс получения тепла никак не зависит от внешней среды [5].

Применение биогазовой установки в городских условиях.

Используя технологию получения биогаза с помощью геотермальной установки, становится возможным вырабатывать биогаз в регионах, находящихся в умеренных климатических условиях. Благодаря этому способу, на базе очистных сооружений, находящихся в городе, предлагается устанавливать биогазовые станции с когенерационной установкой для получения электрической энергии. Данную энергию целесообразно применить для электрификации городского транспорта, вследствие чего, можно будет четко заявить о полной экологичности транспорта.

Результаты и обсуждение

Полученные с помощью анализа данные о требованиях производства биогаза, возможно объединить путем синтеза с геотермальной технологией получения энергии (рис. 1), которая при корректной работе будет обеспечивать тепловой энергией метантенк со сбраживаемой смесью, тем самым, отдавая требуемое тепло в реактор. Кроме того, становится реальным получать биогаз с в городе и использовать его энергию для электротранспорта.

Заключение

Применение геотермальных технологий при получении биогаза позволяет производить его независимо от климатических условий в регионах страны и применять его в дальнейшем для электротранспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреев В.А. Оборудование для производства тепловой и электрической энергии из биогаза [Текст] / В.А. Андреев, И.Н. Горбунов, Т.Ф. Малахова, С.Г. Захаренко//Введение в энергетику. - 2016. - С. 71
2. Алхасов, А.Б. Геотермальная энергетика: проблемы, ресурсы, технологии [Текст] / А.Б. Алхасов - М.: "Физматлит", 2008. - 376 с.
3. Максимов, И.Г. Альтернативные источники энергии [Текст] / И.Г. Максимов - М.: "Эко-Тренд", 2005. - 387 с.
4. Попов, М.С. Геотермальная энергетика в России [Текст] / М.С. Попов - М.: "Энергоатомиздат", 1988. - 294 с.
5. Феофанов, Ю.А. Геотермальные электростанции [Текст] / Ю.А. Феофанов - М.: "Эко-Тренд", 2005. - 217 с.

Ключевые слова: Газ, биогаз, биомасса, возобновляемый источник энергии, энергия, отходы, геотермальная установка.

Зацепина Виолетта Иосифовна - доктор технических наук, профессор кафедры «Электрооборудование» Липецкого государственного технического университета

Павленко Илья Александрович – магистрант кафедры «Электрооборудование» Липецкого государственного технического университета

e-mail ilyuharavlenko14@mail.ru

Адрес: г.Липецк, пр-кт Им 60-летия СССР, д.12 кв.104

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»

Е.В. Шамова

Введение

Статья посвящена вредному воздействию угольной котельной и необходимости принятия технических решений по перевооружению имеющегося оборудования, в частности замене золоуловителей БЦ-12-273. Произведена оценка экологической и экономической эффективности.

Теория вопроса

На сегодняшний день многие котельные на территории Забайкальского края используют в качестве топлива уголь. Сжигание топлива – это не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в среду загрязняющих веществ. Также котельные в наибольшей степени ответственны за усиливающийся парниковый эффект, загрязнение атмосферы техногенным углеродом, серой, азотом и пылью, выпадение кислотных осадков. Можно считать, что тепловая энергетика оказывает отрицательное влияние практически на все элементы среды, а также на человека, другие организмы и их сообщества.

Объектом исследования является котельный агрегат КВм-1,5 Б/К предприятия по изготовлению и монтажу котельного оборудования в Забайкальском крае – ООО «Каскад плюс» тепловой мощностью 1,5 МВт. Вид топлива – дрова, уголь, пеллеты. Характеристики и основные технические данные котельного агрегата представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики и основные технические данные котельного агрегата

№	Наименование параметра	КВм-1,5 Б/К
1	Вид топлива:	Бурый, каменный уголь
3	Теплопроизводительность номинальная, МВт	1,5
4	Температура уходящих газов, °С, не менее	160
5	Действительный объем уходящих газов при номинальной теплопроизводительности, м ³ /час	1369
6	Класс котла	1
7	КПД, % не менее	82,53

В котельных установках котельного завода ООО «Каскад плюс» в качестве твердого топлива используется бурый уголь Татауровского месторождения. Образующиеся в процессе горения зольные массы выбрасываются в атмосферу вместе с горячими дымовыми газами, нанося вред окружающей среде. Для очищения отходящих горячих газов применяются золоуловители БЦ-273х12. Технические характеристики блочного золоуловителя БЦ-273х12 представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики блочного золоуловителя БЦ-273х12

Наименование параметра	Значение
Количество элементов, шт	12
Диаметр элемента, мм	273
Допустимая запыленность газа, г/м ³ : для слабослипающейся пыли для среднеслипающейся пыли	Не более: 1000 250
Температура очищаемого газа, °С	Не более 400
Эффективность очистки (от пыли d=10 мкм, плотностью 2,7 г/см ³), %	Не менее 85

В качестве технического решения по перевооружению имеющегося золоуловителя для рассмотрения предлагается модернизированный циклон котельного завода ООО «Каскад плюс». Была разработана установка для очистки дымовых газов с функцией утилизации тепла уходящих газов, благодаря совместной компоновки циклона и экономайзера. Расчётная степень улавливания модернизированного золоуловителя равна 0,966.

Оценка экологической эффективности данного вспомогательного оборудования сведена в таблицу 3. По данным таблицы можно сделать вывод, что после внедрения модернизированного циклона в работу, концентрация твердых веществ, SO₂, NO₂ и бензапирена в дымовых газах котла значительно уменьшились.

Таблица 3

Снижение удельных выбросов в атмосферу

Выброс	Концентрация в дымовых газах, г/с		Снижение концентрации	
	БЦ-273×12	Модернизированный циклон	г/с	мг/м ³
M _{ТВ}	0,9	0,34	0,56	402
M _{SO2}	0,468	0,432	0,036	25,86
M _{NO2}	0,011	0,0093	0,0017	0,017
M _{бп}	7,9·10 ⁻⁷	7,3·10 ⁻⁷	6·10 ⁻⁸	4·10 ⁻⁵

По данным таблицы можно сделать вывод, что после внедрения модернизированного циклона в работу, концентрация твердых веществ, SO₂, NO₂ и бензапирена в дымовых газах котла значительно уменьшились.

Оценка экономической эффективности данного технического решения приведена ниже. Плату за выбросы загрязняющих веществ предприятием можно определить исходя из значений валовых выбросов, базовой ставки платы за выбросы, коэффициента, учитывающего инфляцию и коэффициента экологической значимости.

Расчеты платы по выбросам загрязняющих веществ предприятием сведем в таблицу 4.

Таблица 4

Плата по выбросы вредных веществ за 2021 и 2022 год

Вредные выбросы	Плата за 2022 год, руб./год (БЦ-273×12)	Плата за 2022 год, руб./год (модернизированный циклон)
M _{ТВ}	3741,984	1709,27792
M _{SO2}	1950,048	2172,54016
M _{NOx}	46,116	46,326224
M _{бп}	0,0033	0,003674149
Суммарная плата по выбросам, руб./год	5738,2	3928,147978

Заключение

Благодаря модернизации золоуловителя, улучшается технология очистки дымовых газов по содержанию загрязняющих веществ в дымовых газах котла, КПД золоуловителя увеличивается на 3,6%.

Плата за негативное воздействие на окружающую среду с учетом повышения базовой ставки и коэффициента, учитывающего инфляцию уменьшается на 32%.

Также снижение расходов на уголь, вредных выбросов повлияет на социально-экономический и экологический аспект.

Таким образом, после проведенных экологических и экономических расчетов была доказана целесообразность принятия технических решений по перевооружению имеющегося оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

6. **Риккер, Ю.О.** Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие / Ю.О. Риккер, М.В. Кобылкин, П.Г. Сафронов, И. Ю. Батухтина – Чита: ЗабГУ, 2021. – 150 с. – Текст: непосредственный.

7. **Середкин, А. А.** Энергосбережение в системах теплоснабжения Забайкальского края: монография / А.А. Середкин, С.А. Требунских, М.С. Басс – Чита: ЗабГУ, 2016. – 153 с. – Текст: непосредственный.

8. **Астраханцева, И.А.** Экономическая оценка технических решений: методическое пособие. Красноярск: КГТУ, 1998. – 27 с. – Текст: непосредственный.

9. **Середкин, А.А.** Проблема энергоэффективности теплоснабжения в Забайкальском крае: монография / А. А. Середкин, А. Г. Батухтин, М. С. Басс – Чита: ЗабГУ, 2021. — 245 с. – Текст: непосредственный.

10. **Брагина, О.Н.** Нормативы удельных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок: методическое пособие. Москва: ОАО «ВТИ», 2013. – 35 с. – Текст: непосредственный.

11. **Росляков, П.В.** Методы защиты окружающей среды: учебник. Москва: МЭИ, 2007. – 165 с. – Текст: непосредственный.

Ключевые слова: окружающая среда, загрязняющие вещества, перевооружение, котельный агрегат

Сведения об авторах

Шамова Евгения Владимировна – магистрант кафедры Энергетики Забайкальского государственного университета.

e-mail: evgeniya16122000@mail.ru

Адрес: г. Чита, ул. Недорезова, 44

УДК 621.3

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

А.А. Терехова, Б.С. Дмитриевский, В.А. Кобелева

Низкий уровень эффективности использования энергетических ресурсов влияет на показатели эффективности промышленного предприятия и его инвестиционную привлекательность. Актуальность проводимого исследования обусловлена необходимостью разработки методологии, с помощью которой возможно создание цифровой системы управления, принимающей решения.

Введение

Управление энергоресурсами – это, прежде всего, контроль за соблюдением лимитов энергопотребления, связанный с системой расчетных показателей деятельности подразделений, входящих в состав предприятия. При наличии

современной цифровой системы энергоменеджмента промышленное предприятие полностью контролирует весь процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками электроэнергии гибко переходить на разные тарифные планы, минимизируя свои энергозатраты. Анализ работ в этой области показал отсутствие решений в этом направлении.

Теория вопроса

Исследования можно разделить на несколько групп:

1. Прогнозирование потребления электроэнергии на основе экономических показателей.
2. Прогнозирование потребления электроэнергии на больших площадях.
3. Модели на нейронных сетях.
4. Методы моделирования систем распределения электроэнергии.
5. Умные сети.

В результате анализа существующих разработок, можно прийти к выводу, что в существующих подходах отсутствует акцент на энергопотребление каждого объекта энергосистемы в режиме реального времени. В связи с этим возникает необходимость использования автоматизированной системы управления электроснабжением, позволяющей точно планировать и контролировать статьи затрат на энергоресурсы в смете затрат на выпускаемую продукцию. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки методологии, с помощью которой возможно создание цифровой системы управления, принимающей решения.

Методика проведения исследований

В результате анализа исследовательских работ российских и зарубежных ученых можно прийти к выводу, что в существующих подходах отсутствует акцент на энергопотребление каждого объекта энергосистемы в режиме реального времени. В связи с этим возникает необходимость использования автоматизированной системы управления электроснабжением, позволяющей точно планировать и контролировать статьи затрат на энергоресурсы в смете затрат на выпускаемую продукцию.

Описание метода исследований

Опишем функции системы энергоменеджмента: 1. Обеспечение бесперебойного электроснабжения всех подразделений предприятия и соблюдение заданных параметров всех видов энергии и энергоносителей на вводах потребителей. 2. Подбор оптимальных режимов работы оборудования и сетей для обеспечения выполнения производственной программы с минимальным расходом всех видов топлива, энергии и энергоносителей при минимальных затратах на эксплуатацию и обслуживание, а также минимальные простои оборудования и сетей на ремонт при этом обеспечивая максимальную

надежность. 3. Расчет резерва оборудования, материалов и запасных частей, необходимых для максимально быстрой ликвидации возможных аварий. 4. Контроль за выполнением годовых и месячных графиков технического обслуживания и ремонта оборудования. 5. Расчет потребности в запасных частях для ремонта оборудования (рис.1).

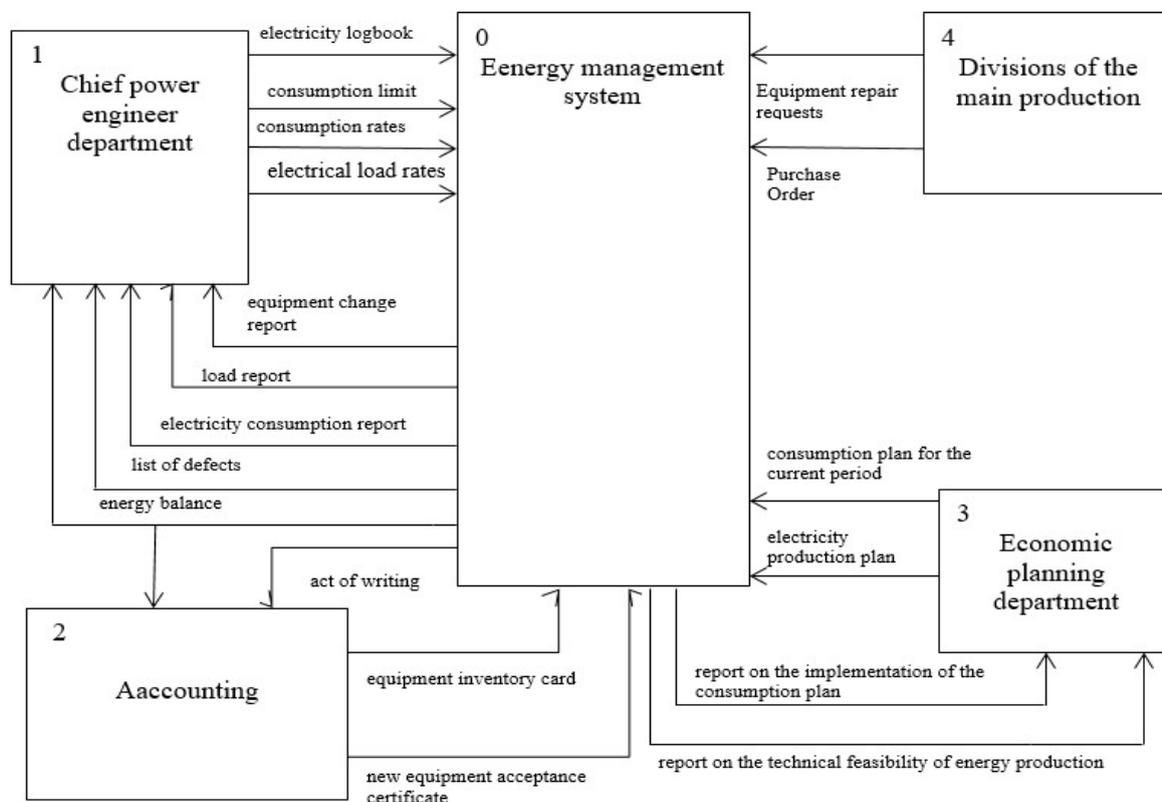


Рис. 1. Диаграмма потока данных

Эта система обменивается информацией с внешними объектами:

"Отдел главного энергетика"

- вводит в систему: показания приборов учета (количество электроэнергии по каждому объекту учета); нормы потребления по каждому объекту потребления; лимит потребления (предельно допустимое значение потребления электроэнергии по каждому для каждого объекта потребления); нормы электрических нагрузок.

- получает от системы: отчет об изменении состава оборудования; отчет о потреблении электроэнергии; отчет о загрузке; список дефектов; энергетический баланс.

Из "Бухгалтерии"

- система получает: акт приемки нового оборудования, из которого вносятся следующие сведения: наименование, дата поступления, допустимый срок службы и технические характеристики; инвентарная карточка, из которой система получает информацию о количестве работающего оборудования, инвентарный номер,

- из системы выводится: акт списания оборудования; энергетический баланс.

От «Планово-экономического отдела»

получаем: план потребления на текущий период; план производства электроэнергии

- система отображает: отчет о выполнении плана потребления; отчет о технических возможностях

«Подразделения основного производства» отправляют в систему: заказы на поставку; заявки на ремонт оборудования.

Заключение

Внедрение системы управления энергоресурсами позволяет получать картину энергопотребления каждого объекта в режиме, максимально приближенном к реальному времени, и, соответственно, планировать и регулировать потребление его объектов с максимальной эффективностью, т.е. проводить политику рационального использования всех видов энергоресурсов на предприятии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Марквирер, В.Д.** Постановка задачи динамической оптимизации энергопотребления промышленного предприятия / В. Д. Марквирер, А. В. Кычкин, А. И. Дерябин // Межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского : Материалы конференции, Москва, 10–17 марта 2021 года. – Москва: Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ, 2021. – С. 274-276. – EDN MPJSKB.

2. **Моргоев, А.Д.** Прогнозирование нагрузки на электросеть как способ эффективного управления потреблением электрической энергии / А. Д. Моргоев, И. Д. Моргоев, Р. В. Ключев, В. И. Ляшенко // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2021. – № 4(66). – С. 39-51. – DOI 10.53015/18159958_2021_4_39. – EDN HHNGPI.

Ключевые слова: энергоменеджмент, энергосбережение, энергоэффективность.

Свежая лю авторах

Терехова Анастасия Андреевна – старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика» Тамбовского государственного технического университета

Дмитриевский Борис Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные процессы и управление» Тамбовского государственного технического университета

Кобелева Виктория Александровна – студент кафедры 310 Московского авиационного института

e-mail: terehova.aa@mail.tstu.ru

Адрес: г. Тамбов, ул. Советская, 106/5, помещение 2.

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ И КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 621.3

**ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГОДОЗАВИСИМОЙ АВТОМАТИКИ
В ТЕПЛОМ ПУНКТЕ МНОГОКВАРТИРНОГО ДОМА**ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)**Г.Ф. Долгов**

В работе показывается возможность снижения затрат тепловой энергии, поступающей на обогрев многоквартирного жилого дома, при установке погодозависимой автоматики. Дается описание многоквартирного жилого дома и погодозависимой автоматики, оценивается экономия тепловой энергии.

Введение

В 60-е годы прошлого века в СССР бурными темпами шло строительство панельных многоэтажных домов [1]. Такими домами застраивались громадные территории, при этом достаточно успешно решалась жилищная проблема. Панельные дома должны были обеспечить приемлемые условия проживания в течение двух десятилетий и затем заменены новыми, более комфортными. Однако до сих пор в большинстве городов остается значительное количество многоквартирных панельных домов.

Строительство панельных домов изначально было нацелено на низкую стоимость жилья, поэтому экономия шла на всем, в том числе и на теплоизоляции стен. В результате панельные дома имеют значительные потери тепла, которые со временем возрастают [2]. Если сравнить нормативы по расходу тепловой энергии современных домов с панельными домами постройки 60-х...80-х годов прошлого века, то они различаются почти в 2 раза. Так для 5-и этажного дома до 1999 г постройки норматив потребления тепловой энергии на отопление составляет 0,0239 Гкал/м², а для домов постройки после 1999 г – 0,0135 Гкал/м² [3]. Большинство домов подключены к тепловой централи, обеспечивающей как отопление, так и подогрев горячей воды. С целью обеспечения нормальных тепловых режимов таких домов от тепловой централи приходится на входе в дом ставить сопла повышенного диаметра. При этом при температурах на улице от 0 до минус 15...20 градусов в квартире удастся получить комфортную температуру, а при температурах выше 0 градусов (осенне-весенний период) идут перетопы (существенное повышение температуры в квартирах, выше предельно допустимых). В это время жители таких домов окна во всех квартирах открывают настежь и отапливают улицу, оплачивая поступившее к ним в квартиру тепло. Перетопы при положительной температуре на улице связаны с требованиями санитарных норм, которые

запрещают снижать температуру теплоносителя, обеспечивающего подогрев горячей воды, ниже 70 градусов. А так как один и тот же теплоноситель поступает и на подогрев горячей воды и на отопление, батареи оказываются существенно горячее, чем требуется для обеспечения комфортной температуры в квартире.

Чтобы избежать перетопов, снизить потери тепловой энергии, соответственно и оплаты за нее, в последние годы устанавливают системы автоматического поддержания температур в отапливаемых помещениях. Предложений по таким системам много [4, 5]. Наиболее качественно обеспечивают регулировку температур в квартирах автоматизированные системы на базе микроконтроллеров. В городе Владимире все больше появляется таких систем. Что же она дает положительного? Рассмотрим это на примере одного из домов г. Владимира.

Объект исследований

Исследования эффективности погодозависимой автоматики проводились в одном из панельных домов г. Владимира 1969 года постройки по проекту серии 1-464. В доме 5 этажей 80 квартир, подвал, плоская крыша. Жилая площадь 3 566,60 м² общая площадь 3 900,10 м². Дом подключен к тепловой централи, обеспечивающей подачу теплоносителя, который в тепловом пункте дома подогревает воду и поступает в радиаторы отопления квартир. Дом оборудован общедомовым прибором учета тепловой энергии.

Традиционная система, установленная в тепловом пункте дома, представляет нерегулируемый элеватор с калиброванным соплом. Регулировку подачи теплоносителя осуществляют на ТЭЦ, задавая различную температуру теплоносителя во всей городской системе в зависимости от температуры на улице. При этом диапазон температур теплоносителя выдерживается в диапазоне от плюс 70 до плюс 115 градусов по шкале Цельсия.

Недостатки указанной системы заключаются в следующем.

1) Отсутствует возможность регулировки температуры горячей воды и батарей внутри отдельного дома. Теплоноситель последовательно проходит через теплообменник, подогревающий горячую воду и батареи. При этом при большом расходе горячей воды, что наблюдается в вечернее время субботы и воскресенья, вода не успевает прогреться (из-за низкой температуры воды мыться невозможно), батареи становятся холодными. Зато по ночам температура горячей воды достигает температуры теплоносителя, поступающего в дом (зимой – выше 100 градусов), что может привести к серьезным ожогам, особенно при порыве труб.

2) Наличие перетопов, некомфортных условий проживания при положительных температурах на улице и высокие счета оплаты за тепловую энергию.

Методика исследования эффективности погодозависимой автоматики

Зимой 2022 года в тепловом пункте рассматриваемого дома была установлена системы автоматики включающая:

- блок терморегулирования ВТР 210И фирмы "ВОГЕЗЭНЕРГО" на базе микроконтроллера, обеспечивающий регулировку температур горячей воды и теплоносителя, поступающего в батареи;

- клапан системы подогрева воды и клапан системы отопления обеспечивают различную производительность подачи теплоносителя в зависимости от температуры горячей воды и температуры теплоносителя, поступающего в радиаторы отопления;

- датчики температур: наружного воздуха, горячей воды и теплоносителя, поступающего в батареи;

- циркуляционные насосы на горячую воду и систему отопления дома.

К недостаткам системы нужно отнести ее неработоспособность по поддержанию нужных температур при отсутствии электрической энергии, что случается очень редко. При этом система позволяет вручную открывать и закрывать клапана, обеспечивая поступление тепла и горячей воды в квартиры.

Исследование эффективности работы автоматики проводилось статистическими методами и сравнением затрат тепловой энергии, потребляемой рассматриваемым домом, с тепловой энергией, потребляемой аналогичными домами в те же временные периоды. Показательными месяцами 2022 года оказались май, сентябрь и октябрь, когда средняя температура на улице держалась на положительных значениях. В рассматриваемом доме по сравнению с такими же соседними домами, в которых отсутствует система автоматики, затраты тепловой энергии в мае и сентябре оказались в 1.8 раза ниже.

Заключение

Таким образом, установка погодозависимой автоматики в тепловой пункт многоквартирного панельного дома времен СССР позволяет существенно снизить потребление тепловой энергии в весенний и осенний периоды, обеспечивая при этом комфортные условия для проживания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панельное домостроение. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Панельное домостроение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Панельное_домостроение) (дата обращения 12.12.2022).
2. Восстановления тепловой изоляции в панельном пятиэтажном доме 60-70-х годов. URL: <https://stroy-tehnolog.ru/remont/vosstanovleniya-teplovoy-izolyatsii-panelnom-pyatietazhnom-dome-60-70-h-godov> (дата обращения 12.12.2022).
3. Постановление Департамента цен и тарифов Администрации Владимирской области № 47/1 от 10 декабря 2019 г. «Об утверждении

нормативов потребления коммунальной услуги по отоплению». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/3301201912130001?index=1&rangeSize=1> (дата обращения 12.12.2022).

4. Автоматизация тепловых пунктов – современное решение старых проблем. URL: https://rosschet.ru/articles/avtomatizatsiya_teplovykh_punktov_sovremennoe_resheni_e_starykh_problem/ (дата обращения 12.12.2022).

5. Двухконтурные индивидуальные тепловые пункты. URL: <https://promo.owen.ru/itp/> (дата обращения 12.12.2022).

Ключевые слова: погодозависимая автоматика, тепловой пункт, многоквартирный дом, тепловая энергия, экономия.

Сведения об авторах

Долгов Геннадий Филиппович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электротехника и электроэнергетика» Владимирского государственного университета.

e-mail: dolgov@vlsu.ru

Адрес: г. Владимир, ул. Горького, д. 87

УДК 621.3

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ НА ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

О.Б. Гладков, А.Е. Семенов, Р.П. Беликов

Целью организации охраны труда на предприятии является обеспечение безопасных условий труда, при которых воздействие на работников опасных и вредных производственных факторов должно быть исключено или не должно превышать установленных нормативов [1].

Введение

Требования трудового законодательства должны выполняться всеми работодателями при организации охраны труда на своих предприятиях. Для успешной работы в данном направлении необходимо хорошо ориентироваться в проблемах охраны труда и уметь находить наиболее правильное решение. Главную роль в организации охраны труда играют специалисты по охране труда. Учитывая это, государство повышает требования к уровню компетентности специалистов в области охраны труда.

Теория вопроса

Поэтому для формирования необходимых компетенций, с целью решения проблем охраны труда, требуется владеть вопросами организации охраны труда на предприятии, и в первую очередь в области ведения документооборота по охране труда. Этому и посвящено содержание настоящего пособия, в котором рассмотрены теория и практика охраны труда, нормативно-правовые основы охраны труда, документооборота организации в исследуемой области, а также факторы, влияющие на трудовую деятельность [1].

Оценка профессиональных рисков сейчас очень актуальная тема, так как она уже является обязательной процедурой для всех работодателей без исключения, именно поэтому в статье разберу, что это за мероприятие, на основании каких нормативно-правовых актов проводится, для чего нужна и какие документы подготовить, а главное, что они должны содержать и как их оформить [2].

Методика проведения исследований

Попытки обнаружить связи уровней профессионального риска с отдельными показателями хозяйственной деятельности предприятий проводились неоднократно, но всегда безрезультатно. Работы в этом направлении на федеральном уровне вообще не проводились потому, что считалось, что результаты работы в сфере охраны труда на национальном уровне должны оцениваться суммой отдельных оценок таковых на уровне хозяйств и предприятий. Этим объясняется идея всеобщей аттестации рабочих мест, бытовое определение риска как опасной ситуации на производстве и случайно-вероятностная природа профессионального риска. Анализ укрупненных показателей, влияющих на значение профессионального риска федерального уровня - R , (1/год) показал, что этими факторами являются [3,4]: совершенство техники и технологий; теоретическая и практическая подготовка управленческого персонала и работников; уровень комфортности условий труда.

Показатели, определяющие производительность труда - Π_T (руб/ чел.год): научно-технический уровень производства; совершенство организации и управления производством (компетентность); степень комфортности условий труда.

Сопоставляя эти показатели видно, что они обуславливают однозначную функциональную зависимость и должны определять динамическую характеристику объекта регулирования. Именно эти показатели должны быть положены в основу разработки математической модели и установления их структурной и функциональной связи. Причем, возмущением в системе является производительность труда - Π_T , а реакцией на возмущение – уровень профессионального риска R .

$$R = O_n / \Pi_T$$

Из уравнения следует, что уровень профессионального риска – экономическая категория, отражающая меру реализации профессиональной опасности на данном этапе технико-экономического развития, определяемый частотой несчастных случаев на производстве.

$$V_{en} \cdot K_p = O_n$$

Уравнение свидетельствует о том, что индекс профессиональной опасности — это экономическая категория, отражающая степень угрозы производственной сфере, определяемая темпом роста (скоростью) научно-технического прогресса и является первой производной производительности труда по времени.

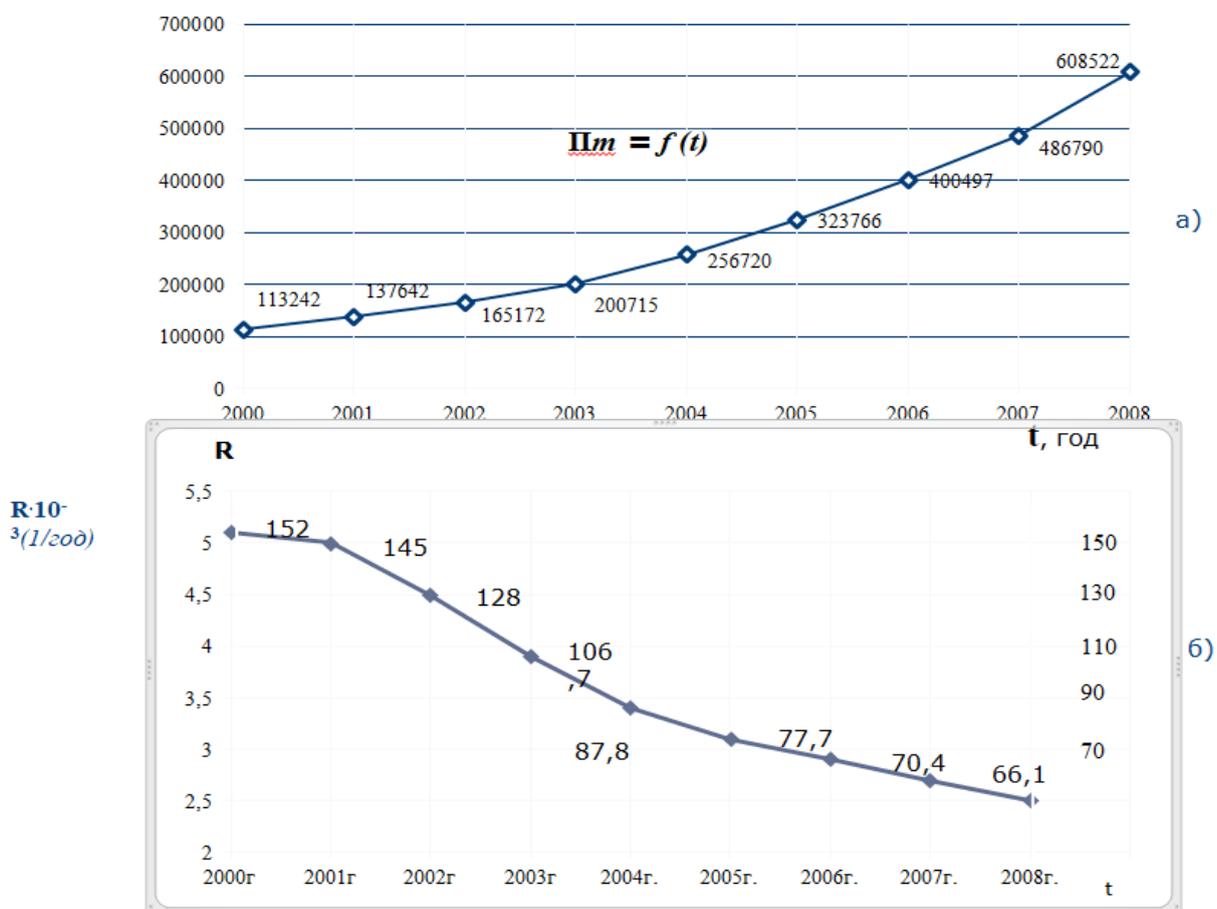


Рис. 1. Динамика производительности труда а) и уровня профессионального риска б) на электросетевых предприятиях АПК за 2000...2008 гг

Получение экспериментальной кривой разгона для данного объекта (рисунок 1) вообще не реально, так как, во-первых, не представляется возможным держать возмущение (производительность труда в государстве Π_T) на постоянном уровне довольно продолжительное время, а во-вторых, неизвестна необходимая продолжительность процесса для вывода объекта на новое установившееся состояние (до постоянного значения K_p).

Поэтому для выявления кривой разгона был использован графо - аналитический прием кибернетики, с помощью которого имеется возможность

перестроить кривые переходного процесса в кривые разгона с допустимой точностью [5]. Последовательность и техника перестроения приведены ниже.

Это дает возможность определить параметры объекта регулирования:

$$\begin{aligned}\Delta R_1 &= \Delta R(\infty) (1 - e^{-t/T}) \\ \Delta R_2 &= \Delta R(\infty) (1 - e^{-2t/T})\end{aligned}$$

где ΔR_1 – отклонение выходной координаты исследуемого объекта в любой момент времени t_1 ; ΔR_2 – отклонение выходной координаты объекта в момент времени $t_2 = 2 t_1$; $\Delta R(\infty)$ – отклонение выходной координаты объекта после окончания переходного процесса. Решая эту систему относительно постоянной времени T , получаем $T = t_1 \ln$

Рассматривая одно из уравнений системы, определяем максимальное отклонение и установившееся значение кривой разгона при $t = 3T$

$$\Delta R(\infty) = \Delta R_1 / (1 - e^{-t/T})$$

Тогда $\Delta R_1(\infty) = 60$, а $R_1 = 152 - 60 = 92$

Передаточный коэффициент объекта регулирования - K_p (удельная стоимостная оценка уменьшения риска) [6]. Он определяется делением максимального отклонения регулируемой величины ΔK_p в процессе разгона, на величину возмущения $\Delta \Pi_m$. Так как ось ординат может принимать значения K_p , R или выражаться в относительных единицах $K_p \max - K_p t / \Delta K_p \max$, то и передаточный коэффициент может иметь 3 значения в зависимости от принятых для расчетов единиц измерения:

$$\begin{aligned}K_p \cdot 10^3 &= \Delta K_p / \Delta \Pi_m ; 1/\text{руб} \\ K_p &= \Delta R / \Delta \Pi_m ;\end{aligned}$$

В нашей стране принято коэффициент риска считать на 1000 работников. В этом случае численное значение передаточного коэффициента будет равно: $K_p = \Delta K_p / \Delta \Pi_m = (5,2 - 3,75)10^3 / (165 - 113)10^3 = 0,027$.

Уровень снижения R , характеризуемый этим передаточным коэффициентом в установившемся состоянии, свидетельствует о том, что для уменьшения частоты несчастных случаев на 1 (1/год) требуется повысить производительность труда на величину обратную этому коэффициенту, т.е. на 37,04 (руб/чел*год) * (1/год), а для уменьшения K_p на 0,1 (1/год) (что составляет около 2000 несчастных случаев в год) производительность должны увеличить на 74080 (руб/чел*год).

Предложенная автоматизированная информационно-измерительная система контроля и прогнозирования профессиональных рисков на электросетевых предприятиях АПК (рисунок 2) позволит автоматизировать получение данных, их систематизацию и упростить процесс прогнозирования профессиональных рисков.

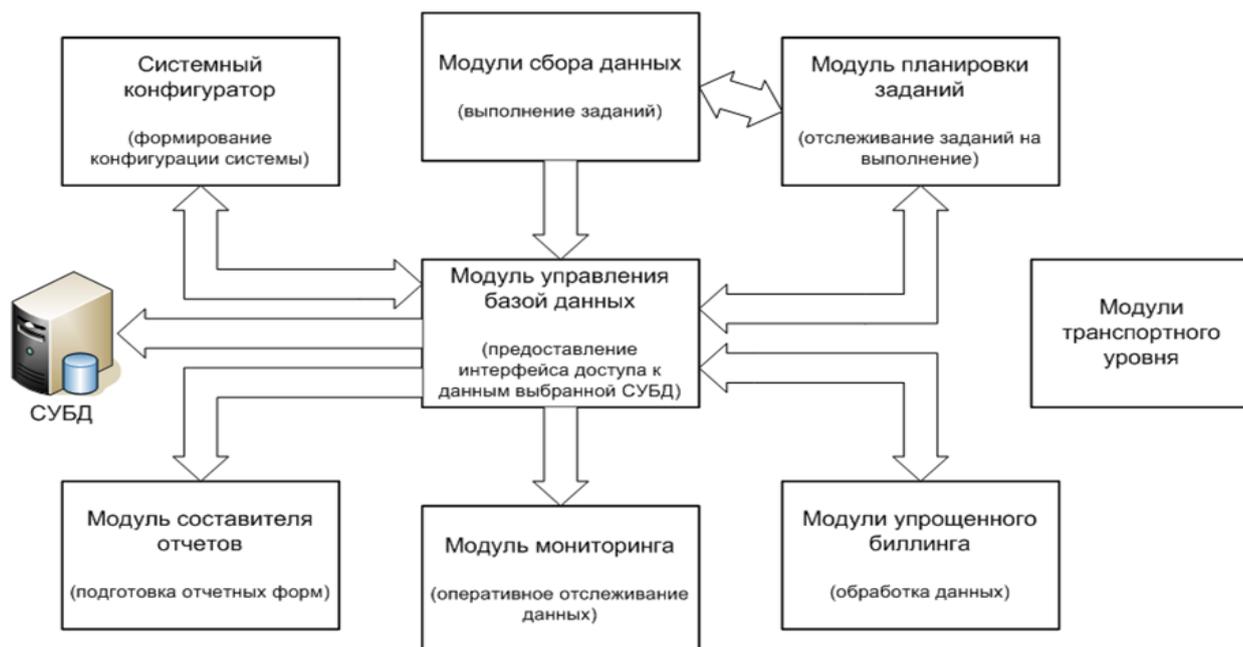


Рис. 2. Структурная схема автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и прогнозирования профессиональных рисков

Заключение

Экономическая эффективность служб охраны труда в настоящее время характеризуется уменьшением травматизма и заболеваемости на производстве, а ее количественные и качественные показатели (квалификация, штаты, оснащенность) определяются уменьшением выплат по больничным листам и компенсационных затрат за производственный травматизм. Новое определение охраны труда характеризуется уменьшением количества происшествий и ущерба от них, а ущерб помимо, вышеперечисленных статей, включает стоимость поврежденных материалов, вышедшего из строя оборудования, упущенную выгоду, моральный ущерб и другие статьи /1/. Поэтому, если об охране труда судить в таком плане, то она сразу приобретает значимость и вес, а служба охраны труда – необходимость на производстве [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Беликов, Р.П.** Профессиональный риск - "продукт" производства / Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников, Орел, 16 декабря 2020 года / Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина. – Орел: Издательство Каргуш, 2021. – С. 150-152. – EDN HOFJMX.
2. **Беликов, Р.П.** Тенденции в системе охраны труда / Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : материалы XI Всероссийской молодежной

конференции молодых ученых, студентов и школьников с международным участием, Орел, 19 февраля 2020 года. – Орел: ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2020. – С. 375-377. – EDN DHUUDU.

3. **Гавриченко, А.И.** Идентификация динамики профессиональных рисков по статистическим данным / А. И. Гавриченко, Р. П. Беликов // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – № 1(1). – С. 539-544. – EDN TDWSAH.

4. Определение индивидуального профессионального риска : учеб. пособие / [В. С. Сердюк и др.] ; Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. С.7-8.

5. **Беликов, Р.П.** Прогнозирование профессиональных рисков в электроэнергетическом комплексе / Р. П. Беликов // Профессия инженер : Сборник статей X Всероссийской молодежной научно-практической конференции "Профессия инженер", посвящённой 40-летию факультета агротехники и энергообеспечения, Орел, 07 апреля 2022 года / А.Л. Севостьянов, Е.В. Мищенко, Т.Г. Павленко, И.В. Сидорова; под общ. ред. А.Л. Севостьянова; Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина.. – Орел: орл, 2022. – С. 492-497. – EDN BFJXSP.

6. **Семенов, А.Е.** Профессиональные риски и прогнозирование условий труда / А. Е. Семенов, Р. П. Беликов // Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. – 2020. – № 8. – С. 52-59. – DOI 10.33920/pro-4-2008-05. – EDN HSIJUX.

7. **Гавриченко, А.И.** Инновационный подход к оценке профессиональных рисков на предприятиях АПК / А. И. Гавриченко, Р. П. Беликов // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – № 1(18). – С. 94-99. – EDN YUTKUF.

Гладков Олег Борисович – старший преподаватель, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Семенов Александр Евгеньевич – старший преподаватель, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

Беликов Роман Павлович – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ.

e-mail: gladkoff.oleg2010@yandex.ru

Адрес: г. Орел, ул. Генерала Родина, 69.

УДК 621.3

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДОРОЖНЫМ ОСВЕЩЕНИЕМ

ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Н. В. Ермаков, Д. В. Беспалов, А.И. Псарев

Введение

Дорожное освещение является одним из важнейших факторов обеспечения безопасности дорожного движения в темное время суток. [1] В настоящее время автоматизация уличного освещения дорожной сети производится с использованием фотореле, реле времени, астрономического реле времени, а иногда даже оперативным персоналом. При этом дорожные осветительные сети не снабжены автоматизированными системами диагностики и управления дорожным освещением, которые имеют функции передачи данных и диагностики состояния осветительных приборов в контролируемой дорожной сети освещения, что не позволяет своевременно реагировать на аварии или поломки осветительных приборов.

Не малая часть затрат в дорожном освещении приходится на обслуживание осветительных установок на междугородних и межрайонных дорогах общего пользования, так как они удалены от районных центров, что в свою очередь приводит к дополнительным затратам, которые возникают при выявлении неисправностей осветительных приборов в контролируемой сети и не своевременного устранения неисправностей. Стоит отметить, что на сегодняшний день нет разработанных эффективных алгоритмов и математических моделей, позволяющих снизить потребление электроэнергии в осветительной сети, за счет контроля времени выключения освещения, а также позволяющие своевременно диагностировать аварии, возникающие в дорожной осветительной сети, достичь экономической выгоды за счет снижения затрат обслуживающей организации, благодаря оперативному и точному отысканию поврежденного участка дорожной осветительной сети, своевременному ремонту сети, а также значительному снижению расхода топлива при обнаружении выездной бригады в дорожной осветительной сети поврежденного участка.

Теория вопроса

Целью работы является разработка автоматизированной системы управления и диагностики уличным дорожным освещением, которая позволит снизить время выявления аварий и неисправностей в осветительной сети, а также сократить потребление электроэнергии в этой сети.

Методика проведения исследований

Для устранения вышеуказанных недостатков необходимо разработать структурную схему, алгоритм работы собрать и испытать данное устройство, а также разработать WEB-приложение куда будут передаваться данные с устройства.

Описание метода исследований

Не малая часть затрат приходится на обслуживание осветительных установок на междугородних и межрайонных дорогах.

Произведен обзор существующих устройств и систем автоматизированного управления, наиболее подходящих для дистанционного управления дорожным освещением, таких как фотореле, реле времени, астрономическое реле времени, АСУ НО «LE-09-44-LIGHT-CONTROL» производства ООО «ЛИДЕР ЭЛЕКТРОНИКА» [7], и АСДУ НО «МИР-СВЕТ» производства НПО "МИР" [8]. Сравнение возможностей существующих решений управления и автоматизации освещения приведено в табл. 1.

Таблица 1

Анализ существующих устройств и систем автоматизированного управления дорожным освещением

Функционал	Тип оборудования										
	Фотореле			Реле времени			Астрономическое реле времени			ООО «ЛИДЕР ЭЛЕКТРОНИКА» АСУ НО «LE-09-44-LIGHT-CONTROL»	НПО "МИР" АСДУ НО «МИР-СВЕТ»
	ФР-600 1300 ВА	FERON SEN 25	ЭРА DF 301	ADICO-R-15m	FINDER 12.31.8.230.0000	ИН 24ч 1 канал	PCZ-525-1	РЭБ-225	DWA 2		
Вкл./откл. по датчику освещенности	+	+	+	•	•	•	•	•	•	+	+

Вкл./откл. по заданному годовому графику	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Вкл./откл. по времени	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Вкл./откл. по времени и географическим координатам	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Вкл./откл. по командам оператора	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Аварийное питание	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Вкл./откл. линий пофазно Сбор, передача, хранение данных и ведение журнала событий.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Оповещение обслуживающего персонала	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Диагностика неисправностей	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Обнаружение неисправностей	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Указание места возникновения неисправности	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Оперативное предоставление диагностической информации о текущем состоянии объекта управления и параметрах осветительной сети	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Возможность определения параметров электрической сети дорожного освещения в различных точках этой сети	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Цена оборудования, руб	292	286	289	6713	3928	4775	3888	3207	17103	28500	>100000

Из табл. 1 видно, что не все устройства имеют одинаковый функционал и соответственно стоимость. Главным недостатком рассмотренных систем как АСУ НО “LE-09-44-LIGHT-CONTROL” и АСДУ НО «МИР-СВЕТ» является их высокая стоимость, что сдерживает их применение, поэтому становится актуальным вопрос разработки автоматизированной системы диагностики и управления дорожным освещением с меньшей стоимостью и необходимыми функциями диагностики и управления дорожным освещением и передачи данных о авариях в диспетчерские пункты обслуживающих организаций.

Заключение

Автоматизированные системы управления и диагностики дорожным освещением позволят сократить затраты и время на поиск неисправностей при

обслуживания дорожного освещения поэтому внедрение и разработка систем с необходимым функционалом становится актуальным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Нуртдинов, Р.М.** Система освещения опасных участков дороги / Р. М. Нуртдинов, Р. Р. Шириев // Перспективы развития науки в современном мире : Сборник научных статей по материалам IX Международной научно-практической конференции, Уфа, 10 июня 2022 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2022. – С. 49-53. – EDN NICOOW.

2. **Курмангалиев, Д.С.** Разработка рекомендаций по повышению эффективности работы системы освещения дорожной сети Г. Орла / Д. С. Курмангалиев, Р. П. Беликов // Физика и современные технологии в АПК : Материалы XII Всероссийской (с международным участием) молодежной конференции молодых ученых, студентов и школьников, Орел, 16 декабря 2020 года / Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина. – Орел: Издательство Картуш, 2021. – С. 258-259. – EDN PQZPD.

3. **Николаева, Р.В.** Автоматизированные системы управления освещением на автомобильных дорогах (на примере дороги федерального значения "Казань-Оренбург") / Р. В. Николаева, Р. Р. Халиуллина // Техника и технология транспорта. – 2020. – № 3(18). – С. 11. – EDN CMXNPJ.

4. Официальный сайт компании ООО «НОВАТЕК-ЭЛЕКТРО» [сайт]. – URL: https://novatek-electro.ru/docs/ru/doc_rev-225_ru.pdf (дата обращения: 01.09.2022).

5. Официальный сайт компании ООО «ФИНДЕР» [сайт]. – URL: <https://www.findernet.com/ru/russia/series/12-series-mechanical-or-electronic-digital-time-switches-16a-ru/type/type-1231-time-switches-16a-ru/> (дата обращения: 01.09.2022).

6. Бухгалтерская отчетность ГУП Орловской области «Дорожная служба» 2021 год. - 367 с.

7. Официальный сайт компании ООО «ЛИДЕР ЭЛЕКТРОНИКА» [сайт]. – URL: <https://leader-electronics.ru/gsm-controllers> (дата обращения: 05.09.2022).

8. Официальный сайт компании НПО "МИР" [сайт]. – URL: <https://mir-omsk.ru/products/mir-light/?section=pc-tech> (дата обращения: 05.09.2022).

Ключевые слова: Дорожное освещение, автоматизированная система, диагностика и управление, дистанционное оповещение, осветительные установки.

Сведения об авторах

Ермаков Никита Владиславович – студент кафедры «Электроснабжение» Орловского государственного аграрного университета

Беспалов Дмитрий Владимирович – магистрант кафедры «Электроснабжение» Орловского государственного аграрного университета

Псарев Александр Иванович – старший преподаватель кафедры «Электроснабжение» Орловского государственного аграрного университета.

e-mail: ErmakovN.14@yandex.ru

Адрес: г. Орёл ул. Генерала Родина 69.

УДК 621.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ УЯЗВИМОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

¹РТУ –МИРЭА

²МГУ им. Н. П. Огарёва

¹К.Е. Комогоров, ¹Ю.А. Журавлева, ²О.Ю. Коваленко

В работе приводится анализ исследований на уязвимость устройства автоматизированной системы.

Введение

Система «Умный дом» — это совокупность электронных приборов и различных датчиков, которые работают в комбинации внутри дома и совместно позволяют решать бытовые задачи. Эта система хороша тем, что человек способен не тратить свои усилия на всякие мелкие задачи и по-настоящему наслаждаться нахождением в своём доме.

Теория вопроса

Несмотря на указанное достоинство, из недостатков стоит отметить то, что с появлением большого количества технологий появляется множество рисков. Как пример, один из приборов может неожиданно закоротить, что в итоге может в самом худшем случае привести к летальному исходу. Немаловажной угрозой может являться взлом этих приборов специализированными хакерами, что может привести опять же к летальному исходу или же к раскрытию какой-либо конфиденциальной информации. Большинство приборов в такого рода системах связаны между собой с помощью разного рода радиосигналов или иного рода механических колебаний.

Проведение исследования

В ходе работы было исследовано устройство, которое в экспериментальных целях на основе акустических звуковых колебаний способно изменять состояние

светодиода. Из используемых компонентов использовалась плата Arduino UNO (рис. 1), которая выступала в качестве системы снятия, обработки и контроля сигналов с приборов и датчик снятия аналоговых звуковых колебаний (рис. 2).



Рис. 1. Arduino UNO

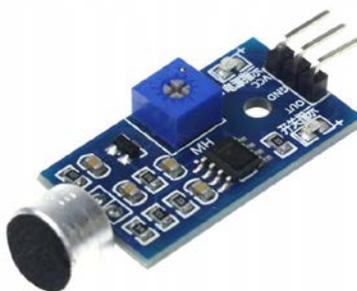


Рис. 2. Датчик

=

Основными компонентами данного датчика являются микрофон, усилитель сигнала, переменный резистор. В исследуемом приборе резистор выступает в роли регулятора мощности данного датчика. Датчик имеет 3 выхода: out – выход снятия амплитудного значения снятого сигнала, gnd – земля, vcc – подведение 5 вольтового питания.

Основными деталями данной платы является микроконтроллер MEGA, микросхема-программатор и различные пины, которые могут находиться в состоянии как входа, так и выхода. Основные пины делятся на аналоговые (с буквой A в начале имени), цифровые (имеют в названии просто цифру) и различные порты питания и земли. Программирование данного контроллера производится посредством диалекта языка программирования Си под названием Arduino C.

Реализация образца

Наш опытный образец на основе детектирования хлопанья ладоней способен менять состояние светодиода (если он горит, то потухать и наоборот). Для этого были взяты 3 провода типа «папа – мама» и подключены их разъёмами «мама» к датчику, а выходы «мама» подключены следующим образом:

- выход с vcc - ко входу 5V на плате,
- выход gnd - к gnd на плате,
- выход out - к аналоговому входу A0 на плате.

Исследуемый прибор способен изменять состояние встроенного на плате светодиода, который располагается на цифровом порту 13. Разница между аналоговым и цифровым портом в том, что аналоговый взаимодействует с диапазоном чисел, а цифровые порты воспринимают лишь бинарные состояния.

После того, как было собрано устройство, было осуществлено подключение платы к компьютеру с помощью USB кабеля для последующего её программирования.

В ходе работы была написана логика датчика. Код программы представлен ниже:

```
boolean isPowerLamp;
void setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
  isPowerLamp = false;
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  Serial.println(analogRead(A0));
  if (analogRead(A0) > 32)
  {
    isPowerLamp = !isPowerLamp;
    digitalWrite(13, isPowerLamp);
    delay(5);
  }
}
```

В данном коде за состояние светодиода отвечает переменная `isPowerLamp`. `Serial.begin(9600);` - активирует монитор порта для последующего регулирования чувствительности датчика. `Serial.println(analogRead(A0));` - записывает значение с датчика в монитор порта. В функции `setup()` – мы задаём стартовые значения, а в функции `loop()` циклически выполняется логика.

Далее была откалибрована амплитуда срабатывания, посредством регулирования переменного резистора на датчике. Просматривая монитор порта можно наблюдать, что в спокойном состоянии он улавливает сигналы амплитуды значением 32 (рис.3). Следовательно, нужно воспринимать аудио сигналы амплитудой выше 32.

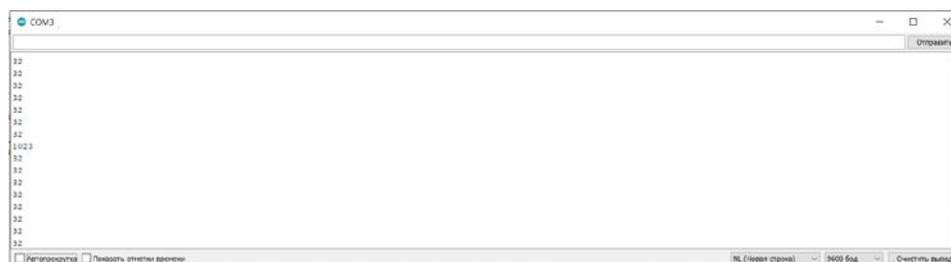


Рис. 3. Окно порта

На рис. 4 представлено фото устройство, реагирующее на хлопок включением светодиода.

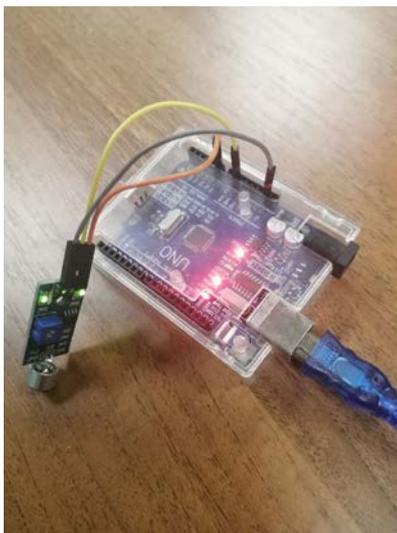


Рис. 4. Устройство в работе

Заключение

Данный прибор уязвим на различные сторонние звуковые сигналы. Основная идея изменения состояния светодиода состоит в том, что светодиод реагирует именно на амплитудное значение поступающего на вход микрофона аудио-сигнала. При этом природа звука не учитывается, и произвести ложное срабатывание можно простым способом, нужно лишь издать громкий звук, который будет громче хлопка ладонями.

Для решения подобного рода проблем предлагается использовать технологию нейронных сетей для распознавания самой природы сигнала. Однако для таких целей исследуемый датчик не рекомендуется использовать, так как нужен более совершенный аналог записывающего устройства для отсутствия потери в качестве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пауль Хоровиц, Уинфилд Хилл «Искусство схемотехники». Бином. 2022. 704 с.
2. Петин Виктор «Проекты с использованием контроллера Arduino». ВHV. 2021. 560 с.
3. Траск Эндрю «Грокаем глубокое обучение». Питер. 2019. 352 с.

Ключевые слова: умный дом, нейронные сети, сеть интернет, звуковые колебания

Сведения об авторах

Комогоров Кирилл Евгеньевич - студент 3 курса направления подготовки «Компьютерная безопасность» Института искусственного интеллекта РТУ МИРЭА.

Журавлёва Юлия Алексеевна - к.т.н., доцент кафедры электроники Институт перспективных технологий и индустриального программирования РТУ МИРЭА.

Коваленко О.Ю. – д.т.н., профессор кафедры метрологии стандартизации и сертификации Институт электроники и светотехники МГУ им. Н.П.Огарёва

e-mail: komogorovk@mail.ru

Адрес: г. Москва, ул. Студенческая 33, к. 3

УДК 621

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

ФГОБУ ВО «Финансовый университет
при Правительстве Российской Федерации»

А.Н. Алюнов

Большое количество задач анализа состояния силовых трансформаторов решается на основе математических моделей. Неоспоримы правомерность и удобство использования математических моделей при расчетах режимов электрических систем. Вместе с тем, определение параметров моделей силовых трансформаторов связано с объективными сложностями, допущениями, ограничениями и упрощениями. Трудно учесть и влияние изменений свойств окружающей среды в процессе эксплуатации на эквивалентные параметры силовых трансформаторов (температура, влажность, механические и другие воздействия). Кроме того, фактические параметры силового трансформатора могут изменяться в зависимости от режимов работы из-за нелинейности характеристик, при этом точность расчетов и оценок оказывается недостаточно высокой. Все это вызывает необходимость совершенствования методов диагностики силовых трансформаторов в целом и, в частности, идентификации параметров их математических моделей без отключения от сети. В работе показаны возможности метода машинного обучения при определении некоторых диагностических параметров силовых трансформаторов.

Введение

Успешность выполнения задач по управлению режимами электрических систем зависит от качества и объема информации о параметрах функционирования энергетической системы. Исходная информационная база обычно содержит модели электрической системы, состоящие из параметров схем

замещения отдельных элементов, в том числе силовых трансформаторов. Несомненно, что фактические параметры силовых трансформаторов неизбежно изменяются при эксплуатации под влиянием множества факторов [1]. Такие изменения невозможно учесть при расчете нормальных и аварийных режимов на основе существующих математических моделей трансформаторов. Задача определения параметров моделей силовых трансформаторов на основе информации, получаемой от объектов энергосистемы в реальном времени, остается актуальной [2].

Теория вопроса

Классическая электротехника рассматривает диагностику электрических параметров силового трансформатора с помощью метода узловых проводимостей. В качестве исходных данных, как правило, принимаются измеряемые напряжения и токи на вводах силового трансформатора [1], [2].

В работе [3] предложено производить уточнение электрических параметров для известной структуры математической модели силового электрооборудования с привлечением методов идентификации динамических систем. В [4] рассмотрен метод определения параметров двухобмоточных силовых трансформаторов, представленных Г-, Т- и П-образными моделями, основанный на синхронизированных векторных измерениях в процессе эксплуатации. В этой работе также приведены критерии, влияющие на результаты и даны некоторые рекомендации по реализации предлагаемого метода. В исследованиях [5] обосновывается применение коэффициента вариации параметров в качестве критерия оценки достоверности идентификации параметров схем замещения. Математический аппарат строится на базе модификации метода Марквардта и учитывает нелинейную форму напряжения.

Методика проведения исследований

Для моделирования установившихся режимов применяется веб-сервис «Онлайн Электрик». Создаваемая в модуле «Онлайн Электрик: Редактор» структура электрической системы сопровождается паспортными, справочными и вариативными данными, необходимыми для расчета параметров математических моделей составных элементов (рис. 1).

Затем данные отправляются в программу «Онлайн Электрик: iTKZ», которая позволяет выполнить расчет установившегося режима с помощью библиотеки PandaPower, написанной для языка программирования Python (рис. 2).

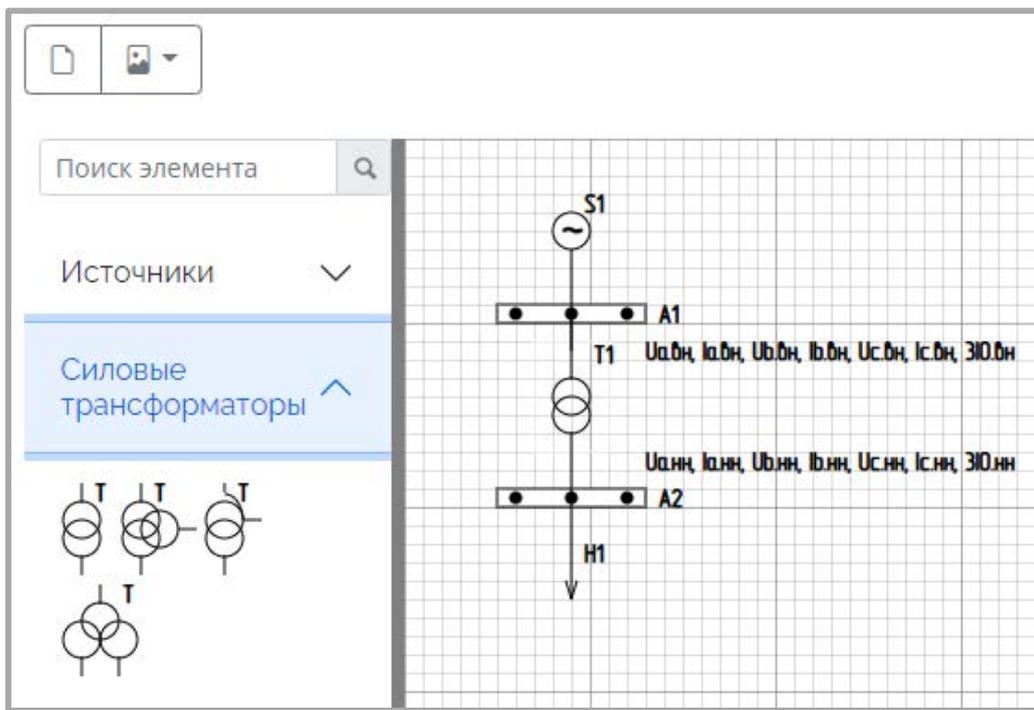


Рис. 1. Расчетная схема в модуле «Онлайн Электрик: Редактор»

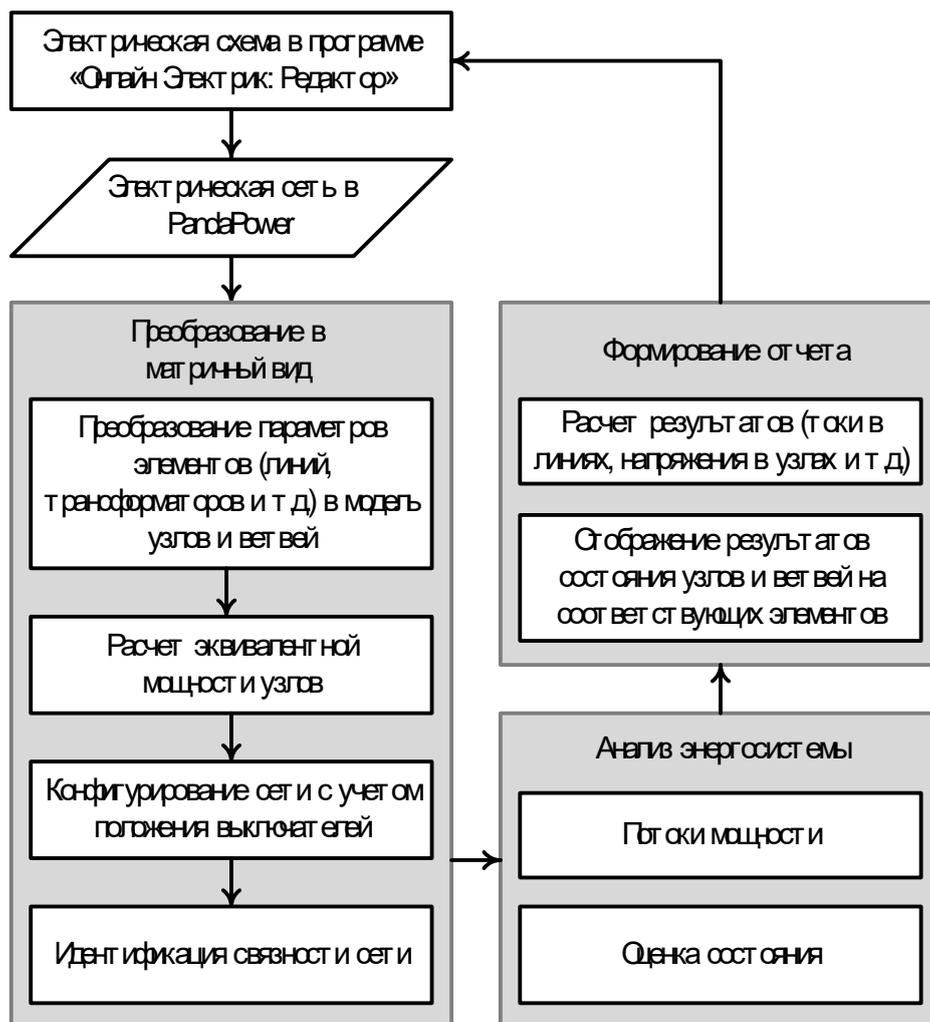


Рис. 2. Структурная схема алгоритма взаимодействия программы «Онлайн Электрик: Редактор» с библиотекой Python PandaPower

Описание метода исследований

В нашем случае, для идентификации параметров модели силового трансформатора решалась обратная задача с помощью библиотеки Python Scikit-learn. На вход многослойного персептрона подавались наборы токов и напряжений на вводах силового трансформатора, полученные при различных заданиях нагрузки, коэффициенте трансформации и напряжении энергосистемы. Для применения методов регрессии был определен выходной слой искусственной нейронной сети. Регрессоры обучались прогнозировать величины активного r_T и индуктивного x_T сопротивлений, коэффициент трансформации k_T , а также активную g_T и индуктивную b_T проводимости поперечной ветви Г-образной математической модели силового трансформатора.

Расчеты показали, что все используемые методы регрессии позволяют улучшить результаты с ростом обучающей выборки. При обучении ИНС с использованием имеющихся 10% параметров математической модели силового трансформатора оставшиеся 90% результатов могут быть идентифицированы.

Заключение

Предложен метод идентификации электрических параметров силовых трансформаторов с применением машинного обучения, обеспечивающий высокую степень адекватности параметров математической модели. Искусственная нейронная сеть позволяет адаптировать параметры модели к реальным условиям эксплуатации, что обеспечивает повышение достоверности расчетов нормальных и аварийных режимов электрических систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алюнов, А. Н.** Идентификация параметров схем замещения электрических систем по данным регистраторов аварийных процессов : специальность 05.14.02 "Электрические станции и электроэнергетические системы" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Алюнов Александр Николаевич. – Вологда, 2004. – 226 с.
2. Патент № 2237254 С1 Российская Федерация, МПК G01R 31/02, H02H 7/04. Способ диагностики силовых трансформаторов : № 2003100586/09 : заявл. 08.01.2003 : опубл. 27.09.2004 / А. Н. Алюнов, В. А. Бабарушкин, А. В. Булычев, В. А. Гуляев; заявитель Вологодский государственный технический университет.
3. Идентификация параметров силовых трансформаторов в адаптивных средствах их защиты и автоматики / В. К. Ванин, К. С. Горячевский, В. Н. Забоин [и др.] // Известия НТЦ Единой энергетической системы. – 2018. – № 2(79). – С. 118–130.
4. **Ecaterina, M.** Parameter Identification for Two-Windings Power Transformers / M. Ecaterina, S. Ion // 2019 International Conference on Electromechanical and

Energy Systems, SIELMEN 2019 – Proceedings, Craiova, 09–11 October 2019. – Craiova, 2019. – P. 8905914.

5. Идентификация параметров математических моделей нелинейных компонентов электротехнических комплексов и систем при их глубоком взаимодействии / В. З. Ковалев, А. Г. Щербаков, О. В. Архипова [и др.] // Омский научный вестник. – 2020. – № 6(174). – С. 33–39.

6. **Schäfer, F.** Multi-Year Time-Series-Based power system planning with hybrid optimization and supervised learning methods / F. Schäfer; Kassel: Kassel University Press, 2021. – 229 p.

Ключевые слова: схема замещения, модель электрической сети, силовой трансформатор, диагностика трансформатора, идентификация параметров трансформатора, параметры установившегося режима, машинное обучение, искусственная нейронная сеть, персептрон, язык программирования Python, PandaPower, Scikit-learn.

Сведения об авторах

Алюнов Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент департамента анализа данных и машинного обучения Финансового университета при Правительстве Российской Федерации.

e-mail: alyunov@mail.ru

Адрес: Москва, пр-кт Ленинградский, д. 49/2.

УДК 621.3

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КУСОЧНОГО НАЛОЖЕНИЯ В РАЗРАБОТКЕ ПУСКОВОГО ОРГАНА БАВР

ФГБОУ ВО “Петрозаводский государственный университет”

Е.Е. Фомин, А. А. Тихомиров

Микропроцессорные средства релейной защиты и автоматики позволяют реализовывать новые алгоритмы, не связанные с ограничениями релейно-контакторных схем. Надежность систем электроснабжения ответственных потребителей электроэнергии обеспечивается за счет применения резервных источников питания. Скорость ввода резерва при возникновении повреждения основной линии питания определяет его успешность и отсутствие перерывов электроснабжения. Для отдельных категорий электропотребителей перерывы электроснабжения приводят к значительным экономическим издержкам. В связи с этим разработка алгоритмов, обеспечивающих работу быстрого автоматического ввода резерва, является важной задачей. В работе проведено

исследование по оценке возможности применения метода кусочного наложения для реализации органов быстрого автоматического резерва. Полученные результаты моделирования методом кусочного наложения на основе теоретических и экспериментальных осциллограмм развития аварийных режимов показали отсутствия влияния скорости нарастания амплитуды гармонического сигнала на точность определения фазы. Полученные зависимости погрешности определения фазы от ширины окна выборки данных показывают применимость метода кусочного наложения для определения фазы гармонического сигнала.

Введение

Развитие микропроцессорных систем позволяет реализовывать новые виды систем защит и автоматики. Скорость работы автоматического ввода резерва определяет надежность систем электроснабжения, поэтому совершенствование методов определения фазы сигнала и направления мощности является важной задачей определяющей непрерывность работы электроустановок в случае возникновения аварийных ситуаций. Условно алгоритмы по определению фазы гармонического сигнала можно разделить на группы временной и частотной области [1-5].

Для мгновенного переключения на резервный источник питания устройству быстрого автоматического ввода резерва необходимо наличие пускового органа, включающего в себя: орган вычисления угла рассогласования между двумя векторами напряжения рабочей и резервной секции, орган контроля синхронизма при включении и орган направления мощности.

Описание метода

Целью работы является изучения пригодности метода кусочного наложения для разработки пускового органа устройства быстродействующего автоматического ввода резерва.

Суть метода кусочного наложения заключается в том, что при двух синфазных синусоидальных сигналов одной частоты суммарная их разница будет минимальна. Суммарную разность между сигналами можно оценить согласно выражению (1)

$$dU = \sum_{N=1}^s U_1(N) - U_2(N), \quad (1)$$

где dU – суммарная разность, N – номер выборки мгновенного значения, s – последний номер выборки мгновенного значения, $U_1(N)$ – синусоидальный периодический сигнал, фазу которого необходимо определить, а $U_2(N)$ – синусоидальный периодический сигнал с известной амплитудой и частотой, который накладывается на сигнал $U_1(N)$.

Результаты исследования

При проведении сравнительного моделирования точности определения фазы различными методами, использовался линейно возрастающий гармонический сигнал согласно выражению (2),

$$U(t) = (A + kt)\sin(\omega t + \varphi_0), \tag{2}$$

где U – напряжение, t – время, A – начальная амплитуда сигнала, k – скорость нарастания амплитуды, ω – угловая частота, φ_0 – фаза сигнала, которую необходимо найти. На рисунке 1 показаны результаты моделирования по определению фазы различными методами для ширины окна выборки данных $1/16$ периода.

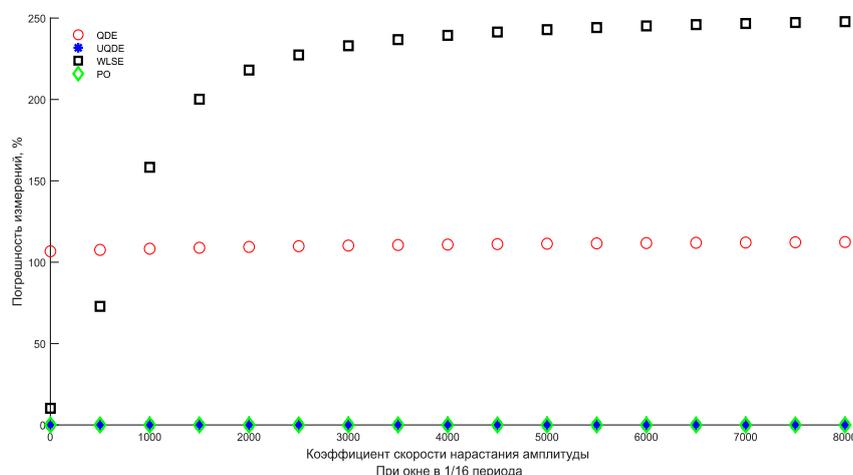


Рис. 1. Результаты моделирования по определению фазы различными методами для ширины окна выборки данных $1/16$ периода

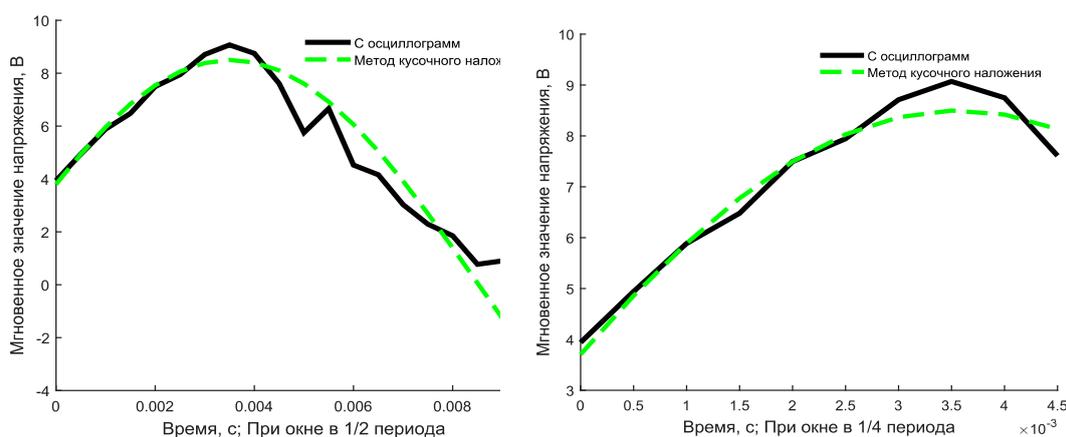


Рис. 2. Зависимости мгновенного значения напряжения от времени с окном выборки данных в $1/2$ и $1/4$ периода

Проведенное моделирование показывает удовлетворительные результаты погрешности у методов кусочного наложения и усовершенствованного квадратурного разложения. Одновременно с этим погрешность метода

наименьших квадратов резко возрастает с ростом скорости возрастания амплитуды гармонического сигнала.

Также для анализа точности метода кусочного наложения была взята экспериментальная осциллограмма тока короткого замыкания в сети 10 кВ питающей двигательную нагрузку.

На рисунке 2 показаны зависимости мгновенного значения напряжения от времени с окном выборки данных в $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ периода и результаты моделирования методом кусочного наложения.

На рисунке 3 показаны зависимости мгновенного значения напряжения от времени с окном выборки данных в $\frac{1}{8}$ и $\frac{1}{16}$ периода и результаты моделирования методом кусочного наложения.

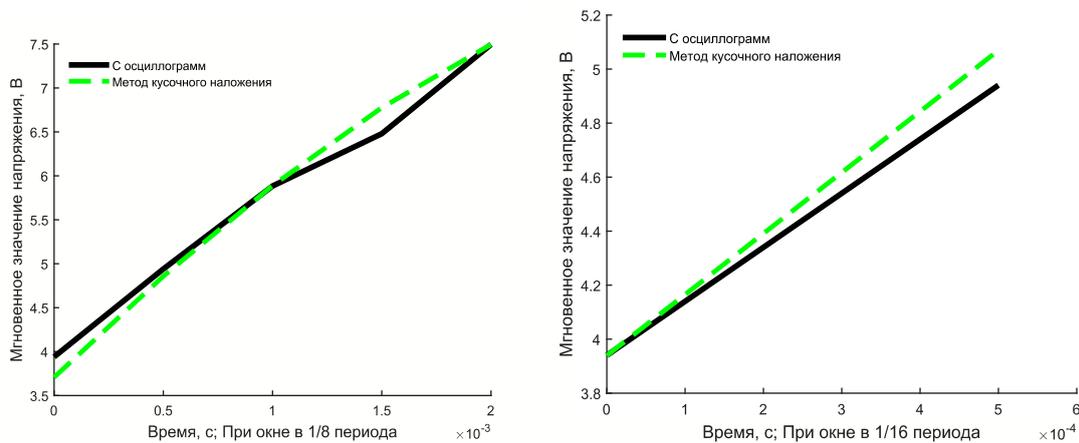


Рис. 3. Зависимости мгновенного значения напряжения от времени с окном выборки данных в $\frac{1}{8}$ и $\frac{1}{16}$ периода

На рисунке 3 черная сплошная кривая – это график напряжения реального аварийного режима, полученный из осциллограмм, зеленая пунктирная кривая – это график напряжения, полученный путем вычисления фазы методом кусочного наложения для этого аварийного режима. Стоит отметить, что во всех случаях фаза сигнала напряжения, то есть угол между двумя векторами напряжения секций, определена с погрешностью менее 1 %.

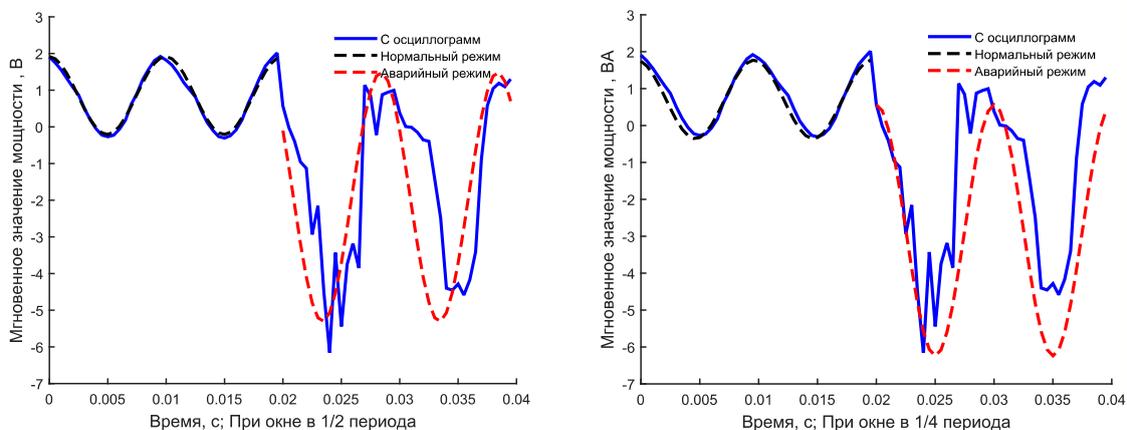


Рис. 4. Зависимости мгновенного значения полной мощности для $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ периода

На рисунке 4 продемонстрированы зависимости мгновенного значения полной мощности от времени, где период с 0 до 0,02 с соответствует нормальному режиму, а с 0,02 до 0,04 с – аварийному, с окном выборки данных в $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ периода. На рисунке 4 синяя сплошная кривая – это график мощности, полученный из реальных осциллограмм, путем перемножения тока и напряжения. А черная и красная пунктирные кривые – это графики мощности, полученный путем вычисления фазы токов и напряжений методом кусочного наложения и перемноженные друг на друга для нормального и аварийного режимов соответственно.

Также на рисунке 5 продемонстрированы графики мгновенного значения полной мощности от времени с окном выборки данных в $\frac{1}{8}$ и $\frac{1}{16}$ периода.

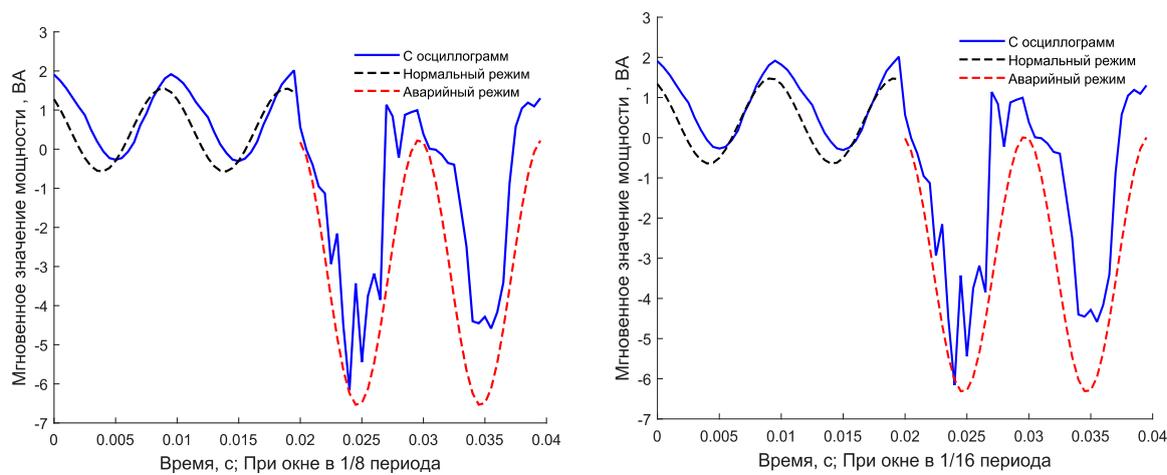


Рис. 5. Зависимости мгновенного значения полной мощности для выборки данных $\frac{1}{8}$ и $\frac{1}{16}$ периода

Из графиков мощности можно сделать вывод, что с помощью метода кусочного наложения возможно определить направление мощности системы при разной ширине окна выборки данных.

Заключение

В результате проведенных исследований можно заключить, что метод кусочного наложения дает возможность реализации: органов контроля синхронизма и определения угла рассогласования между двумя векторами напряжения, органа направления мощности.

Моделирование показало, что метод кусочного наложения демонстрирует хорошие результаты определения фазы сигналов и направления мощности на примере данных, полученных с реальных осциллограмм нормальных и аварийных режимов при разной ширине окна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Kaura, V.** Operation of a phase locked loop system under distorted utility conditions / V, Kaura, V. Blasko // IEEE Transactions on Industry Applications, -1997 - vol. 33, no. 1, pp. 58–63.

2. **Xu, B. Y.** Single phase fault detection technique based on transient current and its application in non-solid grounded network / B. Y. Xu, Y. D. Xue, J. Li and Y. Chen, // Proc. 7th Int. Conf. Develop. Power Syst. Protection, - 2001. - pp. 141-144.

3. **So, H. C.** A comparative study of two discrete-time phase delay estimators, / H. C. So // IEEE Trans. Instrum. Meas., - 2005 - vol. 54, - no. 6, - pp. 2501-2504.

4. **Maskell, D. L.** The discrete-time quadrature subsample estimation of delay / D. L. Maskell and G. S. Woods //, IEEE Trans. Instrum. Meas., - 2002. - vol. 51, - no. 1, pp. 133-137.

4. **Golestan, S.** A Nonadaptive Window-Based PLL for Single-Phase Applications / S. Golestan, J. M. Guerrero and J. C. Vasquez, // IEEE Transactions on Power Electronics, - 2018. - vol.33, - no.1, - pp.24-31.

5. **Perez M.** A robust phase-locked loop algorithm to synchronize static power converters with polluted ac systems / M. Perez, J. Espinoza, L. Moran, M. Torres, and E. Araya, // IEEE Transactions on Industrial Electronics, - 2008.- vol. 55,- no. 5,- pp. 2185–2192.

Ключевые слова: метод кусочного наложения, БАВР, электроэнергетика.

Сведения об авторах

Тихомиров Александр Андреевич – кандидат физико-математических наук, заведующий кафедры «Электроники и электроэнергетики» Петрозаводского государственного университета.

Фомин Егор Евгеньевич – студент кафедры «Электроники и электроэнергетики» Петрозаводского государственного университета.

e-mail: yegor.fomin.2001@mail.ru

Адрес: г. Петрозаводск, пр-д Финский д. 6

УДК 621.3

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

М.Ю. Левин, Д.О. Богачев

В работе рассмотрены основные методы и этапы создания нейронных сетей средствами языка программирования Python. Проведён анализ существующих готовых библиотек машинного обучения и способов формирования структуры обучаемых нейронных моделей.

Введение

Активное развитие современной промышленности требует введения новых методов повышения эффективности работы технических систем в самых

разнообразных областях техники. Одним из наиболее прогрессивных направлений развития стала отрасль нейронных сетей и машинного обучения.

Задачи оптимизации и автоматизации управления тех или иных систем традиционно решаются статистическими методами с построением элементарных математических моделей. Несомненно, большинство однотипных задач возможно разрешать посредством применения известных алгоритмов и зависимостей, однако, имеют место быть случаи, когда закономерности между исходными и итоговыми данными отсутствуют. В частности, при появлении новых данных традиционная расчётная методика может потребовать корректировки определённых коэффициентов. В таких случаях рационально применение класса методов искусственного интеллекта *machine learning*, подходящего для решения широкого круга нестандартных задач путём "обучения" на новых входных данных и выявления требуемых закономерностей. Внедрение возможностей искусственного интеллекта позволяет добиться высоких показателей точности обработки данных, их систематизации и прогнозирования дальнейших вариантов. В статье будут рассмотрены современные решения построения архитектуры нейронных сетей с использованием библиотек, а также возможности языка Python, позволяющие составлять модели требуемой сложности и области назначения.

Теория вопроса

Нейронная сеть представляет собой метод обработки информации сходный с человеческим сознанием, но реализуемый за счёт мощностей вычислительной техники. Разработка архитектуры нейронных сетей осуществляется при помощи языков программирования, среди которых наиболее часто используемым является язык Python, имеющий в своём арсенале множество встроенных библиотек, позволяющих оптимизировать работу со многими математическими функциями и операциями, например, библиотека с открытым исходным кодом NumPy позволяет значительно упростить действия с массивами и решать задачи анализа данных или прогнозирования. Кроме этого, существует множество библиотек специализированных исключительно на машинном обучении, к примеру:

1) Tensorflow — библиотека компании Google, позволяющая решать задачи тренировки ИИ по распознаванию образов и извлечению информации с изображений.

2) Theano — библиотека для глубокого обучения, которая позволяет повысить эффективность работы модели. Даёт возможность реализации сложных численных вычислений, оптимизации математических выражений и многомерных массивов. Кроме того, Theano поддерживает вычисления как на центральных, так и на графических процессорах.

3) Keras — библиотека, представляющая из себя дополнение над другими библиотеками и позволяет упростить формирование нейронных сетей.

4) Scikit-Learn — пакет для обработки данных, прогнозирования и т.д.

Методика проведения исследований

Искусственный нейрон подобно биологическому представляет собой некоторую вычислительную единицу. Нейрон имеет входы, на которые поступает информация, далее нейрон эту информацию обрабатывает, производит над ней некоторые вычисления и подаёт на выход. Используя TensorFlow, пользователь может задать в Python граф вычислений, подлежащих выполнению, а библиотека, в свою очередь, прогоняет этот граф с использованием оптимизированного кода C++ [1].

Важным этапом создания нейросети является предобработка данных. Результат работы во многом определяется качеством подготовки исходных данных. Исходные данные можно разделить на 3 типа: обучающие, контрольные (тестовые) и оценочные. Для подготовки данных можно использовать как свои собственные функции, так и встроенные, например, библиотеку *sklearn.preprocessing* либо средства предварительной обработки самого TensorFlow.

Основным конструктивным элементом нейросети являются слои, а этап построения модели в значительной степени определяется объединением множества слоёв. Построение модели можно вести при помощи класса *Sequential*, принимающего список слоёв.

Этап обучения модели включает в себя шаг ввода обучающих данных, шаг непосредственно обучения, когда модель пытается освоить полученную информацию, и шаг контроля для проверки верности прогнозов сети. Реализация этапа обучения возможна за счёт использования метода *model.fit*.

Оценка модели проводится на основе точности её прогнозов и разницы между точностью прогнозов оценочных и контрольных данных. За неточностью прогнозов может последовать этап переобучения модели, с целью повышения схожести результатов, полученных на этапе обучения и на этапе оценки.

Описание метода исследований

В общем случае построение нейронной сети можно представить в виде двух основных этапов: выбор архитектуры сети и подбор весов в процессе обучения. На первом этапе ставится задача определения типа используемых нейронов, их количества, числа входов, вида функции активации, способа взаимодействия между нейронами. Второй этап представляет собой обучение модели посредством настройки её весов. Для многих архитектур разработаны специальные алгоритмы обучения, наиболее популярным из которых является алгоритм обратного распространения ошибки.

Сеть считается обученной, если после многочисленных введений обучающих данных она даёт верные ответы на все или подавляющее большинство примеров либо, когда величина ошибки достигает приемлемо низкого уровня [2].

Создание моделей нейронных сетей на Python может включать как отдельную установку языка и дополнительных расширений, так и установку заранее подготовленных пакетов, пример — пакет IPython, включающий множество математических модулей и графических построителей. Установка готовых

наборов позволяет снизить риски возникновения ошибок, связанных с неопытностью пользователя или различием версий ПО [3].

В таблице 1 приведены ключевые особенности рассмотренных пакетов библиотек:

Таблица 1

		Перечень особенностей
Библиотеки	TensorFlow	Широкие возможности машинного обучения, работа с математическими функциями, сложный синтаксис и невысокий уровень оптимизации
	Theano	Сложный синтаксис, работа с многомерными данными, хорошая производительность
	Keras	Предназначена для работы поверх других библиотек, простой синтаксис, достойный уровень оптимизации
	Scikit-learn	Сравнительно невысокий уровень производительности, математические функции и массивы работают в связке с NumPy
	NumPy	Высокий уровень работы с многомерными массивами, сложными математическими операторами, простой синтаксис. Средний уровень оптимизации, может задействовать большие объёмы памяти

Заключение

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1) Методика разработки архитектуры нейронной сети в общем случае одинакова. Сама архитектура зависит от выбора разработчика и во многом определяется видом поставленной задачи.

2) Точность работы нейросети зависит от качества подготовки входных данных, уровня организации процесса обучения и заданной величины ошибки.

3) В процессе создания нейросети рекомендуется использовать современные библиотеки компонентов для эффективного обучения модели, реализации математических функций и качественного представления результатов.

Созданные таким образом нейронные сети способны выполнять широкие классы задач. Кроме того, скорость работы таких сетей крайне высока благодаря тысячам микропроцессоров, образующих единую структуру. Помимо прочего, применение нейросетей имеет преимущество перед стандартными методами за счёт адаптации к изменениям и высокой отказоустойчивости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Жерон, Орельен. Ж.** Прикладное машинное обучение с помощью Scikit Learn и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. Пер. с англ. - СПб.: ООО "Альфа-книга": 2018. - 688 с.: ил. - Парал. тит. англ.
2. **Круглов В.В., Борисов В.В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика. — 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382с.: ил.
3. **Рашид, Тарик С.** Создаем нейронную сеть. : Пер. с англ. — СПб. : ООО “Альфа-книга”, 2017. — 272 с. : ил. — Парал. тит. англ.
4. **Осовский, С.** Нейронные сети для обработки информации [Текст] / Пер. с польского И. Д. Рудинского. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.: ил.

Ключевые слова: методика разработки, нейронные сети, машинное обучение, обзор библиотек, Python

Сведения об авторах

Левин Максим Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Физика и биомедицинская техника» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

Богачёв Даниил Олегович – бакалавр кафедры «Промышленной теплоэнергетики» ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

e-mail: lmu@list.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д. 30.

УДК 621.3

АЛГОРИТМЫ КОНВЕЙЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ПРОТЯЖЕННОГО ОБЪЕКТА

ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»

И.И. Супрунов, А.М. Шмырин

В статье рассматривается конвейерная обработка протяженного объекта, состоящего из нескольких фрагментов. Объект проходит последовательно через несколько зон, основное внимание уделяется зоне с управляющими узлами. Данные узлы влияют на характеристики объекта, фрагменты которого изменяются под воздействие каждого управляющего узла. Приводятся модификации алгоритма, позволяющие получить периоды работы (активности) управляющих узлов с целью получения желаемого набора данных по исходным данным фрагментов. Приводятся примеры работы алгоритмов в табличном виде.

Введение

В работах авторов [1]-[5] рассматривается конвейерная обработка фрагментированного объекта, который анализируется и описывается с помощью окрестностных структур и систем. В указанных работах процесс конвейерной обработки рассматривался по зонам, для рассматриваемых алгоритмов будет важна центральная, активная часть, где фрагменты объекта подвергаются воздействию управляющих узлов.

Представленные алгоритмы являются продолжением работы [4], где был описан общий алгоритм без существенных модификаций и ограничений в работе управляющих узлов.

Указанные термины могут быть адаптированы в зависимости от области применения алгоритмов. Например, для задач логистики протяженным объектом может являться автоколонна фур для грузоперевозок, сцепленные вагоны товарного состава; данные для каждого фрагмента объекта – это количество единиц груза, перевозимых каждой фурой или вагоном из товарного состава; в качестве каждого управляющего узла может выступать склад для получения груза или склад для разгрузки товара.

Общее описание алгоритмов

Рассматривается окрестностная модель в переменных Эйлера, где проходящий конвейерную обработку объект содержит N фрагментов, которые обрабатываются n_2 управляющими узлами. Обозначение n_2 используется для указания длины центральной зоны конвейера, обозначения n_1 и n_3 используются для предыдущей и последующей зон конвейера.

Все фрагменты объекта проходят через каждый узел с течением времени: каждый сдвиг объекта на фрагмент вправо соответствует одному такту времени. Таким образом, для получения информации о состоянии фрагмента объекта в момент времени $t+1$ в узле $i+1$ необходимо знать состояние фрагмента объекта в момент времени t , когда он находился в предыдущем узле i .

Информация о состоянии N фрагментов объекта хранится в виде вектора, обозначенного X . При прохождении узла k вектор имеет вид $\bar{X}(k) = [X^k(k), \dots, X^{k+N}(k)]^T$. Аналогично выглядят и векторы для каждого управляющего узла U : $\bar{U}(k) = [U^k(k), \dots, U^{k+N}(k)]^T$. Желаемый набор данных фрагментов объекта, получаемый на выходе, запишем в виде вектора и обозначим Y .

При прохождении очередного управляющего узла такой вектор состояния изменяется в зависимости от воздействия текущего управляющего узла. Таким образом, можно вычислить состояние объекта в момент времени $t+1$ в узле $i+1$: $X^{t+1}(i+1) = X^t(i) + U^t(i)$. Получаем разницу между состояниями в момент времени $t+1$ и t , что и составит управляющее воздействие в момент времени t .

Вычисление работы управляющих воздействий, их включение («-1») или выключение («0») будет определяться следующим условием для всех $t = 1, \dots, N$:

$$U^t(n_1 + s): -1 \text{ или } 0, \\ -1, \text{ если } s = 1, \dots, X^t(n_1 + 1) - X^t(n_1 + n_2), \\ 0, \text{ если } s > X^t(n_1 + 1) - X^t(n_1 + n_2), \quad (1)$$

где n_1 и n_2 – длина начальной и центральной зоны конвейера соответственно; s – количество управляющих узлов, срабатывающих в момент времени t ; X и U – состояние и управляющее воздействие для фрагмента объекта соответственно.

В работе управляющих узлов каждый из них в определенные моменты времени может иметь периоды «включено» или «выключено», которые чередуются в случае необходимости.

Модификация алгоритма с ограничением на ресурсы (модификация 1)

Пусть протяженный объект представлен 7 фрагментами, на конвейере присутствуют 5 управляющих узлов. В этом случае $N = 7$, $n_2 = 5$. Заданы входные данные $\bar{X}(0)$, желаемый выход Y .

Согласно формулировке (1), составим режимы работы воздействий для управляющих узлов («-1» и «0»). Результат отразим в табл. 1.

Таблица 1

Режимы работы управляющих узлов для модификации 1

t	$\bar{X}(0)$	$U^t(1)$	$U^t(2)$	$U^t(3)$	$U^t(4)$	$U^t(5)$	$X^t(6)$	Y
Емкость		3	3	4	5	5		
0	4							
1	4	-1						
2	3	-1	-1					
3	4	-1	-1	-1				
4	3	0	-1	-1	-1			
5	3	0	0	-1	-1	0		
6	2	0	0	-1	0	0	0	0
7		0	0	0	-1	0	0	0
8			0	0	-1	-1	0	0
9				0	-1	-1	1	0
10					0	0	1	1
11						0	2	2
12							2	2
Расход		-3	-3	-4	-5	-2		

Не достигли желаемого профиля (т.к. $X^9(6) = 1$). Это связано с тем, что ресурсы первых двух управляющих узлов уже израсходованы на обработку предыдущих фрагментов объекта, а работы оставшихся узлов недостаточно для

получения желаемого выхода. При этом на последней установке $U^t(5)$ сохранился достаточный запас неизрасходованного ресурса (израсходовано всего 2 единицы из 5), но это никак не поможет достичь желаемого выхода.

Модификация алгоритма с ограничением на ресурсы и равномерным расходом ресурсов (модификация 2)

Таблица 2

Режимы работы управляющих узлов для модификации 2

t	$\bar{X}(0)$	$U^t(1)$	$U^t(2)$	$U^t(3)$	$U^t(4)$	$U^t(5)$	$X^t(6)$	Y
Емкость		3	3	4	5	5		
0	4							
1	4	-1						
2	3	-1	-1					
3	4	-1	-1	-1				
4	3	0	0	-1	-1			
5	3	0	-1	0	0	0		
6	2	0	0	-1	-1	-1	0	0
7		0	0	-1	-1	-1	0	0
8			0	0	-1	-1	0	0
9				0	0	0	0	0
10					0	-1	1	1
11						0	2	2
12							2	2
Расход		-3	-3	-4	-4	-4		

Возьмем предыдущие данные и добавим равномерный расход ресурсов по каждому узлу. Результат отразим в табл. 2. Для тех же исходных данных смогли достичь желаемого выхода (работа первых узлов для каждого фрагмента объекта выделена полужирным начертанием «-1»). При достижении предельной емкости по каждому узлу такая установка пропускается и пытаемся задействовать следующую по цепочке. За счет равномерного расхода ресурсов удалось достичь желаемого выхода, а расход по каждой установке либо достигает своего предела емкости: $U^t(1)$, $U^t(2)$, $U^t(3)$, либо равномерно распределяется относительно емкости: для $U^t(4)$ и $U^t(5)$ израсходовано по 4 ресурса из 5.

Заключение

Статья дополняет алгоритм, основы которого указаны авторами в [4], и проведенные исследования в работах [1]-[5]. Для модели в переменных Эйлера разработаны модификации алгоритма расчета работы управляющих узлов в центральной зоне конвейера, в табличной форме представлены примеры работы алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Мишачев, Н.М.** Окрестностные структуры для модели конвейерной обработки протяженного объекта / Н. М. Мишачев, А. М. Шмырин, И. И. Супрунов. – Текст: непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2020. – № 1(42). – С. 22-27.

2. **Mishachev N. M.** Simulation of sequential processing of a moving extended object / N. M. Mishachev, A. M. Shmyrin, I. I. Suprunov. – Text: immediate // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. – 2020. – Vol. 11. – No 7. – P. 1-8.

3. **Шмырин, А.М.** Окрестностное моделирование конвейерной обработки стохастического потока данных / А. М. Шмырин, Н. М. Мишачев, И. И. Супрунов. – Текст: непосредственный // Системы управления и информационные технологии. – 2021. – № 2(84). – С. 19-22.

4. **Mishachev N.** Generating Schedule in Linear Additive Neighborhood Model / N. Mishachev, A. Shmyrin, I. Suprunov. – Text: immediate // Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021 (3). – P. 15-18.

5. **Мишачев, Н.М.** Прямая и обратная задачи для пассивных зон конвейерной обработки протяженного объекта / Н. М. Мишачев, А. М. Шмырин, И. И. Супрунов. – Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т. 18. – № 5. – С. 78-84.

Ключевые слова: окрестностные структуры, конвейерная обработка

Сведения об авторах

Шмырин Анатолий Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики Липецкого государственного технического университета

Супрунов Игорь Иванович – старший преподаватель кафедры высшей математики Липецкого государственного технического университета.

e-mail: i.i.suprunov@yandex.ru

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, д. 30

РАЗВИТИЕ УДАЛЕННЫХ И ТРУДНОДОСТУПНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 621.3

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ПАЛАНСКОМ ИЗОЛИРОВАННОМ ЭНЕРГОУЗЛЕ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет»

О.А. Белов

Особенностью эксплуатации изолированных энергосистем является их высокая чувствительность к воздействию возмущающих факторов, что приводит к возникновению опасных кризисных явлений и существенным экономическим потерям. Поэтому повышение надежности и эффективности электроснабжения удаленных энергетически изолированных территорий, является актуальной задачей. В статье на основе статистических отчетов представлен анализ энергетической структуры Паланского изолированного энергоузла и динамики электропотребления, рассчитаны действующий и перспективный балансы электроэнергии и мощности. Представлен прогноз электропотребления в Паланском изолированном энергоузле на ближайшую перспективу. На основе данного прогноза предложены конкретные решения по оптимизации сетевой инфраструктуры и генерирующих мощностей, обеспечению долгосрочного и среднесрочного спроса на электрическую энергию и мощность. Рассмотрены варианты развития системы электроснабжения Паланского энергоузла. Представленная комплексная оценка состояния электроэнергетики в Паланском изолированном энергоузле позволяет спрогнозировать перспективы ее развития в рамках электроэнергетического комплекса Камчатского края.

Введение

Паланский изолированный энергоузел расположен на северо-западе полуострова Камчатка и включает в себя территорию городского округа «поселок Палана» с населением 2915 человек и сельского поселения с. Лесное с населением 397 человек. Оба населенных пункта находятся на территории Тигильского муниципального района Камчатского Края. Расстояние от Паланского изолированного энергоузла до централизованных сетей электроснабжения составляет более 800 км. Развитая транспортная инфраструктура отсутствует как с центральными районами Камчатки, так и с населенными пунктами Тигильского муниципального района. Этот фактор вызывает дополнительные трудности при решении задач логистики и устойчивого материально-технического снабжения данной территории [1].

Вопросы электроснабжения Паланского изолированного энергоузла находятся в ведении компании «Южные электрические сети Камчатки» (АО

«ЮЭСК»). Основная генерирующая мощность в энергоузле обеспечивается дизельными электростанциями (ДЭС), расположенными в п. Палана (ДЭС-10) и с. Лесная (ДЭС-30). Электросетевое хозяйство энергоузла составляют воздушные (ВЛ) и кабельные (КЛ) линии электропередачи [2].

Структура генерирующей мощности

Суммарная установленная мощность Паланского изолированного энергоузла составляет 7 МВт. Общие данные по установленной мощности и годовой выработке электростанций Паланского изолированного энергоузла представлены в таблице 1.

Таблица 1

Установленная мощность и годовая выработка электростанций Паланского изолированного энергоузла за 2022 год

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Установленная мощность, МВт	Доля, %	Годовая выработка, млн.кВт.ч	Доля, %
Суммарно по изолированным энергоузлам Камчатского края		106,79	100,0	220,647	100,0
п. Палана	ДЭС-10	6,00	5,6%	11,017	5,0%
с. Лесная	ДЭС-30	1,00	0,9%	1,308	0,6%
Суммарно по Паланскому энергоузлу		7,00	6,5%	12,325	5,6%

Основное генерирующее оборудование электростанций в Паланском изолированном энергоузле имеет существенные различия как по типовому составу, так и по фактическому сроку службы. Состав основного генерирующего оборудования электростанций Паланского изолированного энергоузла приведен в таблице 2.

Анализ технического состояния генерирующего оборудования показывает, что из 7 МВт установленной мощности 40 % обеспечивается оборудованием с фактическим сроком службы более 20 лет и 25% установленной мощности приходится на оборудование с фактическим сроком службы более 30 лет.

Анализ динамики потребления электроэнергии и мощности

Паланский изолированный энергоузел обеспечивает электроснабжение потребителей 2 муниципальных образований Камчатского края. Динамика электропотребления Паланского энергоузла за период 2017-2021 гг. представлена на рисунке 1.

В 2018 г. электропотребление Паланского энергоузла увеличилось на 0,21 млн кВтч (+ 1,82 %), затем наблюдался рост электропотребления, величина которого в 2021 г. составила 12,33 млн кВтч, что на 1,02 млн кВтч (+ 8,27 %) превышает аналогичный показатель 2017 г.

Таблица 2

Состав генерирующего оборудования электростанций Паланского энергоузла

Наименование электростанции	Место расположения объекта	Номер агрегата	Тип оборудования	Год ввода	Вид топлива	Установленная мощность на 01.01.2022 года, МВт	Фактический срок службы, лет
ДЭС-10	п. Палана, Тигильский район, Камчатский край	2	ДГ-72	1992	д/т	6	30
		3	ДГ-72	2011	д/т		11
		4	ДГ-99	2001	д/т		21
		5	ДГ-72	1978	д/т		22
		6	LB8250ZLD	2015	д/т		7
		7	ДГ-72	1978	д/т		44
		8	ДГ-72	1980	д/т		42
ДЭС-30	с. Лесная, Тигильский район, Камчатский край	2	Doosan P-126TI-II	2016	д/т	1	6
		3	ММЗ Д-246.4	2014	д/т		8
		4	ЯМЗ 238ДИ	2016	д/т		6
		5	Doosan P-126TI-II	2020	д/т		2
		1	Doosan P-126TI-II	2021	д/т		1

В 2021 г. максимальное потребление мощности Паланского энергоузла было зафиксировано на уровне 2,30 МВт, что на 0,02 МВт ниже максимального потребления мощности в 2017 г.

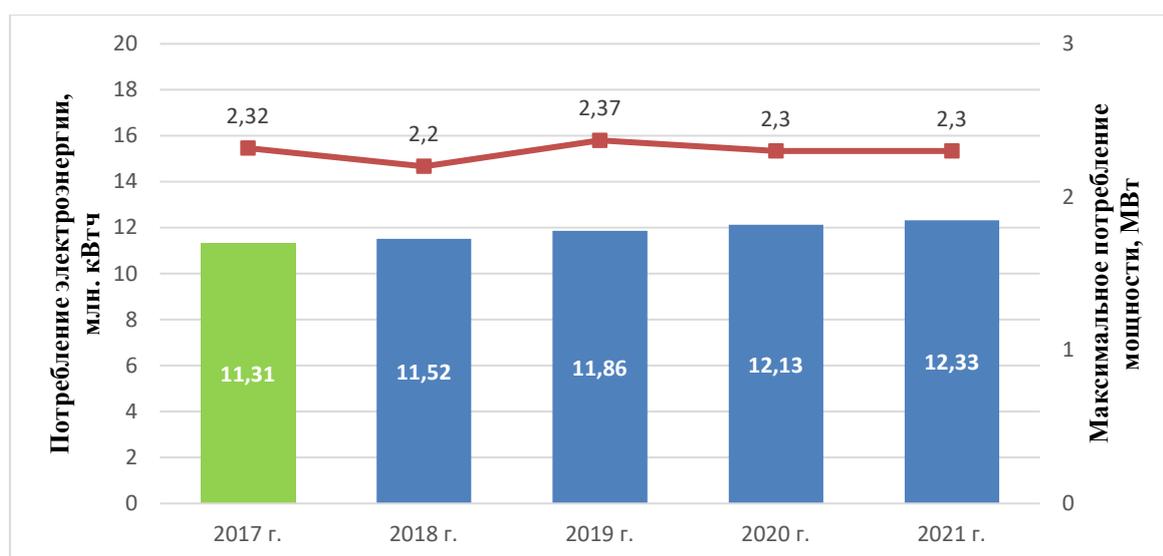


Рис. 1. Динамика потребления электрической энергии и мощности в Паланском изолированном энергоузле

Основной причиной низкой динамики электропотребления в Паланском изолированном энергоузле является высокий экономически обоснованный

тариф на электроснабжение, который по данным АО «ЮЭСК» на 01.01.2022 г. составлял 52,97 руб./кВтч. Электроснабжение в энергоузле осуществляется исключительно за счёт ДЭС, работающих на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов обусловлена такими факторами, как сложные климатические условия (циклоны, ветровые нагрузки, гололёдообразование), географическая удаленность населенных пунктов, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры [3,4].

Фактический баланс мощности и электрической энергии Паланского изолированного энергоузла за 2022 г. представлен в таблице 3.

Таблица 3

Фактический баланс мощности и электрической энергии за 2022 г.

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Максимум потребления мощности, МВт	Установленная мощность, МВт	Дефицит (-) / Избыток(+), МВт	Годовая выработка (электропотребление), млн. кВтч	ЧЧИ собственного максимума нагрузки
п. Палана	ДЭС-10	1,88	6,00	4,12	11,02	1600
с. Лесная	ДЭС-30	0,30	1,00	0,71	1,31	1020
Суммарно по Паланскому энергоузлу		2,18	7,00	4,83	12,33	2620

За анализируемый период баланс мощности Паланского изолированного энергоузла складывался избыточно по установленной мощности. В целом по Паланскому изолированному энергоузлу величина фактического резерва установленной мощности источников генерации составила более 30 %.

Прогноз потребления электроэнергии и мощности

Прогноз потребления электрической энергии и мощности в Паланском изолированном энергоузле на пятилетний период сформирован на основании проведенного анализа динамики потребления электроэнергии и мощности, а также с учетом изменения потребления электрической энергии и мощности в соответствии с утвержденными техническими условиями на технологическое присоединение. Прогнозируемая динамика потребления электрической энергии и мощности в Паланском изолированном энергоузле на пятилетний период представлена в таблице 4.

В рассматриваемой перспективе значительного роста нагрузки в Паланском изолированном энергоузле не ожидается. Прогнозируемая динамика основывается, в основном, на развитии в данном районе объектов рыбохозяйственной деятельности.

Таблица 4

Прогноз электропотребления и максимального потребления мощности
Паланского энергоузла на период до 2027 г.

Наименование	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Электропотребление, млн кВтч	10,30	10,36	10,46	10,55	10,56	10,57
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВтч	0,02	0,00	0,16	0,09	0,01	0,01
Годовой прирост электропотребления, %	0,17	0,00	1,55	0,86	0,09	0,09
Максимальное потребление мощности, МВт	2,10	2,21	2,31	2,44	2,58	2,71
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	-0,13	0,11	0,10	0,13	0,14	0,13
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	-5,83	5,24	4,52	5,63	5,74	5,04

Заключение

Паланский изолированный энергоузел имеет высокий экономически обоснованный тариф на электроснабжение, что в первую очередь связано с использованием в качестве основных источников генерации ДЭС, работающих на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Снижение себестоимости производства электроэнергии в энергоузле возможно за счёт реализации проектов по освоению потенциала ветроэнергетики [5].

Таким образом для повышения эффективности электроснабжения в Паланском изолированном энергоузле необходимо разработать и реализовать мероприятия по замещению дизельной генерации возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), а также замены на ДЭС устаревшего оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Белов, О.А.** Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2021. Т. 21. № 4. С. 48-56.
2. **Белов, О.А.** Анализ структуры генерирующей мощности в изолированных энергоузлах Камчатского края // Сборник трудов II всероссийской научно-практической конференции «Энергетика будущего - цифровая трансформация». Липецкий государственный технический университет. 2021. С. 281-286.
3. **Кротенко, Д.С.** Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края / Д.С. Кротенко, В.А. Семчев, О.А. Белов, С.А. Жуков // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – №51. – С. 6-11.
4. **Семчев, В.А.** О перспективах и проблемах развития гидроэнергетики в Камчатском крае / В.А. Семчев // Горный вестник Камчатки. – 2017. – № 2(38). – С. 36-43.

5. **Зайченко, В.М.** Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям / В.М. Зайченко, Д.А. Соловьев, А.А. Чернявский // Окружающая среда и энерговедение. – 2020. – № 1. – С. 33-47.

Ключевые слова: система электроснабжения, генерирующие мощности, электроэнергия, энергоузел, энерготариф, ветроэнергетика.

Сведения об авторах

Белов Олег Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов» Камчатского государственного технического университета

e-mail: boa-1@mail.ru

Адрес: г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35

ПЕРСПЕКТИВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

УДК 621.3

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ «ДВОЙНИКОВ» ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА БАЗЕ 3D МОДЕЛЕЙ В ГГИС

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»

Окуньков Н.О., Кузина А.В.

Цифровой двойник (или «цифровой близнец», если буквально переводить английское словосочетание digital twin) — это виртуальный аналог реального объекта, компьютерная модель, которая в своих ключевых характеристиках дублирует его и способна воспроизводить его состояния при разных условиях. По сути, это набор математических формул, описывающих сам объект и протекающие в нем процессы. В горном деле такой двойник является моделью действующего предприятия с заложенными в него свойствами, стереотипами поведения и физическими свойствами. В настоящее время цифровые двойники широко внедряются в производство. При этом, процессы взаимосвязаны с цифровизацией.

Введение

Цифровой двойник нужен для предотвращения аварий, для снижения затрат на устранение повреждений и ремонты, для уменьшения издержек на страхование благодаря снижению технических рисков.

Выполнение работы

В проекте рассмотрено цифровое моделирование станции в программном комплексе Autodesk Revit, с его помощью были смоделированы элементы вестибюля №2, а также части конструкций выхода на поверхность пассажиров. Организация строительства выполнена при помощи MS Project и Autodesk Navisworks Manage.

В качестве модели использована станция «Университетская» Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена. Станция мелкого заложения, имеет два вестибюля и установку тоннельной вентиляции с переходной камерой.

Расчет конструкций производился с учетом неблагоприятных сочетаний нагрузок и воздействий, которые возможны на стадии строительства или эксплуатации, а также с учетом коэффициентов условия работы и прочностных характеристик материалов. Были определены вертикальные нагрузки, нагрузки от собственного веса конструкций и боковое давление.

Расчет станции производится на ЭВМ, с использованием ПК Midas GTS NX. В результате расчета были получены внутренние усилия, которые

использовались для построения геометрической модели станции.

Расчеты проводились для железобетона, состоящего и бетона класса В25, и арматуры периодического профиля класса А500.

Заключение

В результате проделанной работе был получен 4D проект всего станционного комплекса, на каждую дату можно узнать процент выполнения той или иной работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004. N 190-ФЗ** (ред. от 30.04.2018) / Собрание законодательства Российской Федерации N 1 (ч. I), 03.01.2005. 16 с.

2. **Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федеральный закон №384-ФЗ** от 30 дек. 2009 г.: Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации // Собрание законодательства РФ, №1, 04.01.2010. 5 с.

5. **Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ** (ред. от 01.05.2021) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002. - № 1 (ч. 1). - 3 с.

6. **Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 года N 87** О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию (с изменениями на 9 апреля 2021 года) // Собрание законодательства Российской Федерации, N 8, 25.02.2008, ст.744.

7. **ГОСТ 23407-78.** Ограждения инвентарные строительных площадок и участков производства строительно-монтажных работ. Технические условия. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.

8. **Лысиков, Б. А.** Строительство метрополитена и подземных сооружений на подрабатываемых территориях : учебное пособие для вузов / Б. А. Лысиков, Г. Р. Розенвассер, В. Ф. Шаталов. – Донецк : Норд-Пресс, 2003. – 303 с.

9. **Храпов, В. Г.** Тоннели и метрополитены : [Учеб. по спец. 29.11 / В. Г. Храпов, Е.А. Демешко, С. Н. Наумов и др.]; Под ред. В. Г. Храпова. - М. : Транспорт, 1989. - 382 с.

Ключевые слова: горно-геологические информационные системы (ГГИС), 3D-моделирование в горной отрасли, цифровой «двойник» горнодобывающего предприятия, освоение рудных месторождений, стандартизация производства.

Сведения об авторах

Окуньков Никита Олегович – студент группы 181-461.

Кузина Александра Владимировна – заведующий кафедрой техники и технологии горного и нефтегазового производства.

e-mail: nikita_194@bk.ru

Адрес: г. Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38.

