Комитет образования, науки и молодежной политики Волгоградской области
ГБУ ВО «Центр молодежной политики»
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
Волгоградский институт управления – филиал РАНХиГС
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»
ФГКОУ ВО «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации»
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет»
ФГБОУ ВО «Волгоградская государственная академия физической культуры»
Волгоградский филиал ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Плеханова»
МБОУ ВО «Волжский институт экономики, педагогики и права»
МБОУ ВО «Волгоградская консерватория (институт) имени П.А. Серебрякова»

XXVII РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

НАПРАВЛЕНИЕ «ИННОВАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ»

г. Волжский
1–15 ноября 2022 г.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Волжский, 2023

УДК 620.9+621.3+681.5
ББК 31

Организационный комитет:
Болдырев И.А., Иваницкий М.С., Афонин А.В., Гусева Ю.В.,
Зенина Е.Г., Стрижиченко А.В., Кущ Л.Р.,
Байдакова Н.В., Милитонян Ш.М.

XXVII Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области. Направление «Инновационные и цифровые технологии», г. Волжский, 1–15 ноября 2022 г.: тезисы докладов. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023. – 45 с.

ISBN 978-5-94721-162-7

Тезисы докладов, вошедшие в сборник, освещают актуальные проблемы инновационного развития теплоэнергетики, электроэнергетики, отраслей промышленности в части создания, внедрения и использования цифровых технологий, являющихся факторами устойчивого и стабильного развития. Сборник предназначен для студентов, магистрантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

Тексты тезисов, представленные авторами, сверстаны и при необходимости сокращены. Как правило, сохранена авторская редакция.

Печатается по решению Учебно-методического совета филиала ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Волжском.

УДК 620.9+621.3+681.5
ББК 31

ISBN 978-5-94721-162-7

© Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2023
© Авторы, 2023

ИННОВАЦИОННЫЕ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Л.А. Чернобаева
Научный руководитель П.Д. Меньшиков

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ AR/VR В ЭНЕРГЕТИКЕ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

На данный момент многие энергетические компании сталкиваются с нехваткой высококвалифицированных специалистов. Студенты, окончившие вуз, не могут быть допущены до производственного оборудования, так как из-за незнания всей специфики могут стать виновниками аварийной ситуации. С развитием цифровых технологий в сфере энергетики многие компании начинают применять или уже применяют технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности. Данные технологии применяются для аттестации персонала, что позволяет повысить качество подготовки будущих сотрудников.

Обучение происходит с применением различного оборудования, которое представляет собой шлемы со встроенными в них экранами (очками), контроллеры в виде джойстиков или перчаток с попальцевым захватом движения. Это позволяет в процессе подготовки специалиста получить опыт решения проблем и ситуаций, соизмеримый с работой на реальном оборудовании.

Применение AR-шлемов позволяет осуществлять удаленную поддержку персонала (так называемая функция виртуального напарника или удаленного ассистента), что положительно сказывается на общей безопасности предприятия. Персонал может отследить, в частности, на каком оборудовании ведутся ремонтные работы, и четко определить место выполнения своих обязанностей, а также вовремя получить предупреждение о ЧС.

Данные технологии на производстве позволяют снизить уровень травматизма путем корректного обучения персонала пользованию средствами индивидуальной защиты, снизить влияние человеческого фактора на технологический процесс работы предприятия, уменьшить риски возникновения аварийной ситуации, а также способствовать повышению производительности труда за счет увеличения контроля над оперативным персоналом станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. VR/AR в электроэнергетике: интервью с представителем учебного комплекса «Россети Ленэнерго» // vc.ru. – URL: https://vc.ru/dev/255758-vr-ar-v-elektroenergetike-intervyu-s-predstavitelem-uchebnogo-kompleksa-rosseti-lenenergo (дата обращения: 12.10.2022).

Е.В. Илюхина, С.С. Мащенко, Ю.П. Сашникова
Научный руководитель М.С. Иваницкий

НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Разработан методический подход к оценке надежности эксплуатации основного энергетического оборудования теплоэлектроцентралей. Приведены результаты опробования предлагаемого решения на основе технологии машинного обучения для оценки остаточного ресурса энергетического оборудования, учитывающие фактическое техническое состояние отдельных элементов и функциональных узлов котельных установок.

Энергоблоки являются главной составляющей теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и энергосистем, обеспечивающих надежную работу и стабильное функционирование энергетической системы в целом и объектов народного хозяйства – потребителей электрической и тепловой энергии [1].

Актуальность заключается в повышении уровня надежности эксплуатации котельных установок, которая является одним из первостепенных аспектов стабильной работы основного технологического оборудования ТЭЦ.

В связи с этим разработка методов оценки и прогнозирования надежности котельных установок ТЭЦ с учетом фактического технического состояния элементов и ресурсоопределяющих функциональных узлов основного оборудования является целью настоящего исследования.

Снижение надежности котельного оборудования ТЭС происходит по разным причинам, основные из которых представлены на рисунке.

Рисунок. Распределение отказов котельного оборудования ТЭС:
1 – ошибки эксплуатации; 2 – дефекты ремонта;
3 – низкое качество монтажа; 4 – недостатки конструкции
и низкое качество изготовления; 5 – невыясненные причины

Для достижения поставленной цели сформулированы основные задачи исследования, направленные на разработку методического подхода к оценке надежности эксплуатации основного энергетического оборудования теплоэлектроцентралей с применением методов машинного обучения (нейросетевой модели) [1, 2].

В соответствии с поставленными задачами проведен анализ статистических данных по влиянию ряда параметров технического состояния ресурсоопределяющих функциональных узлов оборудования на их индекс технического состояния и на общее техническое состояние оборудования при его эксплуатации. Анализ показал, что наиболее повреждаемыми элементами и функциональными узлами являются испарительные и пароперегревательные радиационные поверхности нагрева, отдельное внимание при этом необходимо уделять узлам питательного тракта котельных установок.

Авторами выполнены сравнительные оценки показателей надежности по статистическим данным и результатам, полученным посредством применения предлагаемой обучающейся нейросетевой модели. Следует отметить, что при проведении обучения нейросетевой модели могут быть выявлены недостатки, связанные с низкой достоверностью или отсутствием представительной выборки статистических данных по технологическим отказам котельных установок, что в значительной степени определяет точность прогнозируемых величин.

В этой связи необходимо создавать современные системы мониторинга и диагностики энергетического оборудования, его элементов, необходимые для осуществления сбора, хранения, архивации данных с учетом фактического состояния конкретного элемента единицы оборудования для качественного прогнозирования показателей надежности оборудования с целью обеспечения высокого уровня безопасности и экономичности эксплуатации энергетических систем.

Предложено для оценки и прогнозирования показателей надежности функциональных узлов и основного технологического оборудования использовать нейросетевую модель расчета показателей безотказной работы и оценивать их влияние на основные показатели надежности с учетом индикаторов безопасности системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков, В.С. Современные методы диагностирования показателей надежности и экологической безопасности при эксплуатации энерготехнологического оборудования / В.С. Казаков, Т.В. Клименко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2008. – № 3. – С. 26–31.

2. Наумов, С.А. Опыт использования удаленного доступа и предсказательной аналитики состояния энергетического оборудования / С.А. Наумов, А.В. Крымский, М.А. Липатов, Д.Н. Скрабатун // Теплоэнергетика. – 2018. – № 4. – С. 21–33.

А.Р. Васильев
Научный руководитель М.С. Иваницкий

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ТОПЛИВА НА ТЭС

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

При сжигании топлива в котлах ТЭС образуются оксиды азота и серы, зола, оксид углерода, а также нетоксичные продукты сгорания к которым относятся диоксид углерода (CO_2) и водяной пар. Природное выделение CO_2 оценивается в 140 миллиардов тонн в год. Необходимо отметить, что снижение выбросов углекислого газа в атмосферу может быть достигнуто применением новых способов сжигания органического топлива (кипящий слой, контролируемый химический недожог) и внедрением новых прогрессивных технологий ограничения выбросов CO_2, например циклов замкнутого производства [1–3].

При наличии данных о химическом составе газообразного топлива расчет валовых выбросов CO_2 производится по формуле

$$M_{CO_2} = B_{нат} \cdot \rho_{CO_2} \cdot V_{rO_2}, \quad (1)$$

где $B_{нат}$ – расход натурального газообразного топлива за отчетный период, тыс. м^3; ρ_{CO_2} – плотность двуокиси углерода, кг/м^3, принимаемая равной 1,9768 кг/м^3; V_{rO_2} – объем двуокиси углерода в продуктах сгорания газообразного топлива, нм^3/м^3.

На рисунке представлены результаты расчетов объемной концентрации CO_2 в продуктах сгорания различных видов органического топлива (природный газ месторождения Саушино – Лог – Волгоград, кузнецкий уголь марки Д, класса обогащения Р, СШ, малосернистый мазут, S^p = 0,3 %).

Рисунок. Содержание CO_2 в продуктах сгорания различных видов органического топлива

Результаты расчетов показывают, что при сгорании природного газа объемная концентрация CO_2 оценочно составляет порядка 10 %, для варианта сжигания малосернистого мазута – соответствует значениям 12–14 %, при использовании твердого топлива – не превышает 17 %.

В ходе проведения исследования установлено, что расчетные значения выбросов парниковых газов при сжигании органического топлива обеспечены удовлетворительной сходимостью с экспериментальными данными [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ИТС 38-2017 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. – Введ. 2018-07-01. – М.: Росстандарт, 2017.

2. Федеральный закон РФ от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]. – URL: http:// www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/ (дата обращения 11.10.2022).

3. Росляков, П.В. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов / П.В. Росляков. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 336 с.: ил.

В.Ю. Чанин
Научный руководитель Е.Ю. Дубовикова

ВЛИЯНИЕ МИРОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИЗИСА НА ГЛОБАЛЬНУЮ ЭКОНОМИКУ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

Проанализировано влияние мирового энергетического кризиса 2021–2022 г. на отдельные экономические регионы и в целом на всю глобальную экономику. Приведены возможные последствия и причины энергетического кризиса.

Человечеству часто приходилось сталкиваться с разными кризисами за всю свою историю существования: экономическими, политическими, продовольственными. Но 2022 год напомнил всем лидерам мира, как важна энергетическая отрасль в жизни каждого государства. В основном именно с начала Специальной военной операции (СВО) и введения первых пакетов санкций от США и ЕС (Европейский Союз) в сторону России цены на природный газ и нефть взлетели вверх, а вслед за ними все экономисты стали говорить о предстоящей тяжелой зиме как в Европе, так и во всем северном полушарии, что положило начало мировому энергетическому кризису. Влияние мирового энергетического кризиса, в первую очередь, сказалось на Старом Свете.

Европейский континент долго не ощущал по-настоящему морозной зимы, до декабря 2021 года. Эта зима стала самой холодной за последние 128 лет метеонаблюдений [1]. В результате влияния погоды начался усиленный отбор

из Европейских газохранилищ, и уже к концу февраля 2022 года. ЕС отобрал из газовых хранилищ 47 млрд кубометров газа, то есть весь закаченный газ за 2021 год, и в итоге уровень газа в хранилищах достиг рекордных минимумов [6].

В связи с этим к началу 2022 года цена на газ стала повышаться. Но главной политической причиной взлета цен остается СВО России и санкции ЕС против России, изначально не затронувшие энергетические секторы, но быстро дошедшие до него. Таким образом, была остановлена сертификация газопровода «Северный поток – 2», который смог бы обеспечивать 55 млрд кубометров потока газа в год и перекрыть потребности населения в более дешевом отоплении и электроэнергии и быстрорастущей промышленности. Затем была остановлена прокачка газа и через «Северный поток – 1». Альтернативой является сжиженный природный газ, но на большей части Европейского Союза недостаточно принимающих СПГ-терминалов. Так, например, в ФРГ СПГ-терминалы отсутствуют.

Меньше всего от санкций на российский газ пострадала Франция, так как давно использует энергию в основном АЭС, также в этой стране налажено строительство СПГ-терминалов для поступления сжиженного газа из США и других стран. Наибольшее отрицательное влияние энергетический кризис оказал на Германию, именно для нее в первую очередь и строился «Северный поток – 2», так как промышленность в стране росла очень быстрыми темпами и требовала все больше энергии. Так, например, в 2020 году в ФРГ обанкротились всего около 15 000 компаний, что является рекордно низким показателем для страны и говорит о хороших условиях для производства, точнее так было раньше. На рисунке показано, как в настоящее время выглядят фьючерсные цены на газ в Европе и по всему миру.

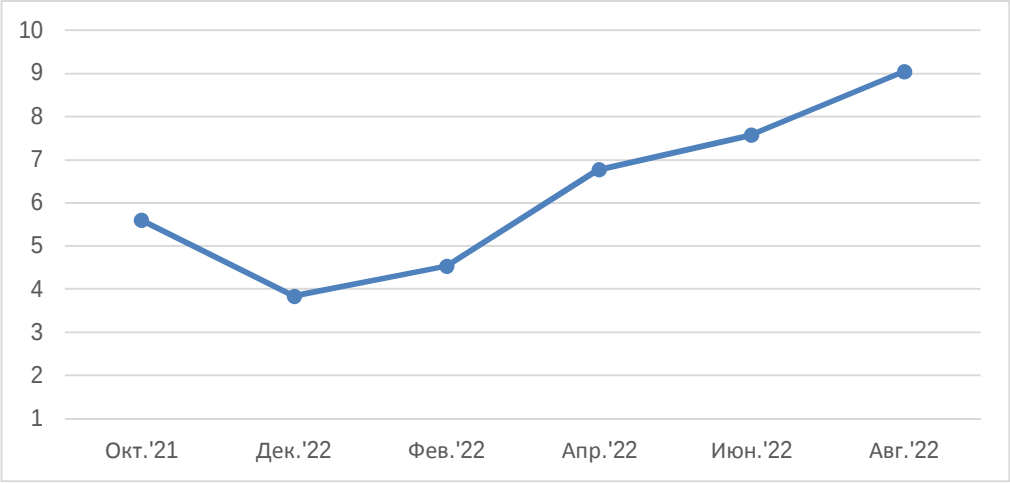

Рисунок. Среднемесячный индекс цены фьючерсного контракта природного газа (NYMEX.NG) на Нью-Йорской товарной бирже [7]

Вследствие такой высокой цены на газ предприятия в Германии и по всей Европе начинают перемещать свои производства в другие страны, где цены на

энергоносители еще не так высоки, в первую очередь в США. В результате этого мир увидел удивительное явление, не так часто встречающееся в истории – миграцию компаний. Примером тому служит известный гигант автомобилестроения – концерн Volkswagen, расширивший производство в США и остановивший ряд проектов на своей родине [4].

Несомненно, данное явление отражается и на главном экономическом показателе любого государства – ВВП. Европейская комиссия сделала свой прогноз по росту ВВП в ЕС и еврозоне на уровне – 2,7 %, изначально ЕК прогнозировала рост на уровне 4 %. Стоит отметить, что для такого экономического гиганта как ЕС падение роста ВВП на более чем 1 % является большим ударом [5]. При этом стоит учитывать, что это лишь среднее значение и на самом деле каждая страна ощутит этот удар по-своему. Венгрия, входящая в ЕС, выходит почти из всех санкций, направленных на энергетическую отрасль против России, и имеет долгосрочный контракт с Газпромом, что позволяет ей намного более выгодно покупать газ по сравнению с теми государствами Евросоюза, которые положились на фьючерсный рынок.

В целом Европа, несмотря на энергетический кризис, продолжает принимать пакеты санкций против России и тем самым вести экономическую войну. Но есть и позитивные моменты в вопросе обеспечения Европы газом, ведь многие европейские страны заполнили свои хранилища уже на 90 % и более [2]. Возникает вопрос: откуда Европа получила столько газа, если прокачка из главного в прошлом экспортера прекратилась? Для ответа на него стоит оценить влияние энергетического кризиса в Азии.

В Азии энергетический кризис разделил все страны на две категории – те, которые зарабатывают на нем, и те, которые погибают от него. Островные государства Южной Азии страдают, в первую очередь, от высоких цен на нефть, а следовательно, и на бензин. Из-за этого на Филиппинах наступил глубокий политический и экономический кризис. Тем временем Китай и Индия пошли по другому пути: они покупают у России тот объем газа, который должен был пойти в Европу, со скидкой. Так, за три месяца весны 2022 года Индия и Китай потратили 24 млрд долларов на покупку нефти, газа и угля именно из России. А затем незаметно для массовой общественности продали его в Европу по завышенной цене, подогревая и без того высокие цены на рынке, это доказывает количество СПГ-танкеров, отправившихся из Китая в Европу. Если в 2021 году их было всего 19, то всего за 6 месяцев 2022 года их стало 133 [3].

Таким образом, и Китай, и Индия наращивают свои хранилища энергоресурсов и получают сверхприбыль. Проигравшим от этой схемы остается опять же европейский блок, покупавший газ по завышенным ценам. Так, возникает огромный финансовый поток в сторону Азии со стороны Европы, данное явление приводит к ускоренному экономическому развитию богатых азиатских стран. Если Китай и Индия помогут своим соседям, страдающим от нехватки энергоносителей, то они станут абсолютными энергетическими, политическими и экономическими центрами всей Азии, исключая Россию.

Американский континент пока еще не полностью ощутил всю силу энергетического кризиса, хотя он добрался и в эту часть полушария. В первую очередь он ударил, как и в Европе, по самым экономически сильным государствам, и первыми под ударом оказались США. Они и не ставили в приоритет традиционную энергетику так, как Европа, но цена на электроэнергию и нефть взлетела и там. А США очень зависимы от цены на нефть и мало могут ее контролировать, так как не имеют отношения к ОПЕК+. США пришлось открывать стратегические запасы нефти, чтобы сбросить цены, и это помогло. Канада же обыденно попросила помощи у США, которую и получила. В свою очередь страны латиноамериканского региона поступили по-разному. Кто-то продолжил покупать СПГ у США, а кто-то, подобно Бразилии, решил заключить долгосрочные контракты с Газпромом. Несомненно, это повлияет на будущую политэкономику в данном регионе, так как страны латиноамериканского региона уже начинают противоречить США, чего не происходило ранее.

Африка, и без того испытывавшая недостаток электроэнергии и энергоносителей, с началом энергетического кризиса пережила еще несколько кризисов. Так, в Ливане возник политический кризис, а вследствие этого – и повсеместные отключения электроэнергии. Меньше всех пострадали страны, заключившие долгосрочные контракты с Россией, США и др.

Таким образом, мировой энергетический кризис действительно повлиял на многие страны планеты. В большей степени от него страдает Европейский континент. Но рано или поздно все более возрастающие цены на природный газ, нефть, уголь, СПГ приведут к тому, что отрасли, использующие энергоносители, впадут в глубокий кризис, так как их предприятия так или иначе начнут становиться банкротами. Тем временем кризис продолжает обостряться, так как полностью выведены из строя «Северный поток – 1» и одна ветка «Северного потока – 2». Европа сможет получать газ теперь только либо через Норвегию, но совсем в недостаточных объемах, либо через СПГ от США, Китая и Индии по очень завышенным ценам.

Стоит отметить, что одной из основных причин мирового энергетического кризиса стало нерациональное применение развитыми странами инновационных технологий в сфере «зеленой энергетики». В свою очередь, в 2021 безветренном году это привело к тому, что ветряные электростанции Великобритании и стран ЕС оказались неэффективны. Страны, которые чересчур продвигали зеленую повестку и «отменяли» традиционную энергетику, сейчас находятся в глубоком энергетическом и экономическом кризисе (ФРГ, Великобритания, США, ряд стран Прибалтики). В настоящее время перечисленные страны в ускоренном порядке восстанавливают некогда законсервированные АЭС и ТЭЦ, находящиеся на их территории. Данный факт говорит о том, что инновационные технологии в энергетике необходимо использовать с определенной долей осторожности и ни в коем случае не забывать про традиционную энергетику.

Безусловно, энергетический кризис, как и любой другой кризис, закончится. Соответственно, во многих странах будет выбран свой энергетический

вектор: придерживаться альтернативной энергетики либо традиционной, или полностью перейти на АЭС, или же развивать что-то новое, как, например, термоядерная энергетика. Выбор большой, и именно от него будет зависеть, какие страны «выживут» при следующем энергетическом кризисе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новак, А. Мировой энергетический кризис: кто виноват и что делать? [Электронный ресурс] / А. Новак // Энергетическая политика. – 16 февраля 2022. – URL: energypolicy.ru/mirovoj-energeticheskij-krizis-kto-vinovat-i-chto-delat/business/2022/13/16/

2. Романенко, В. Запасы газа в европейских хранилищах превысили отметку 90 % к 5 октября 2022 года [Электронный ресурс] / В. Романенко // Комсомольская правда. – 7 октября 2022. – URL: kp.ru/online/news/4953491/

3. Сапожников А. WSJ: Китай зарабатывает на перепродаже американского СПГ в Европу [Электронный ресурс] / А. Сапожников // Коммерсантъ. – 3 октября 2022. – URL: kommersant.ru/doc/5593961.

4. WSJ: Европейские компании переносят производство в США из-за высоких цен на энергоносители [Электронный ресурс] // ТАСС. – 23 сентября 2022. – URL: tass.ru/ekonomika/15842573.

5. Дульнева, М. Еврокомиссия ухудшила прогнозы по ВВП и инфляции для ЕС и еврозоны на 2022 год [Электронный ресурс] / М. Дульнева // Forbes. – 16 мая 2022. – URL: forbes.ru/finansy/465655-evrokomissia-uhudsila-prognozy-po-vvp-i-inflacii-dla-es-i-evrozony-na-2022-god.

6. Дзядко Т. Европа полностью использовала закачанные с прошлого года запасы газа [Электронный ресурс] / Т. Дзядко, Л. Подобедова // РБК. – 28 февраля 2022. – URL: rbc.ru/business/28/02/2022/ 621c9bb69a79475c27ac403e.

7. https://bcsmarkets.com/markets/energies/ng_/?ysclid=l93sbbn22d539484127.

А.Р. Васильев
Научный руководитель М.С. Иваницкий

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫБОРА МЕТОДОВ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРУ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

При внедрении организационно-технических мероприятий по повышению эффективности использования органического топлива на тепловых электрических станциях с целью экономичной выработки электрической и тепловой энергии необходимо учитывать влияние объектов теплоэнергетики на окружающую среду. В последнее время с точки зрения роста конкурентоспособности отечественной энергетики особое внимание уделяется выбросам парниковых газов, помимо основных маркерных вредных (загрязняющих) веществ. Одним из главных обосновывающих аспектов внедрения технологий снижения негативного влияния выбросов углекислого газа от объектов теплоэнергетики на окружающую среду рассматриваются удельные капиталовложения в реализацию мероприятий [1, 2].

На рисунке представлены результаты оценки удельных капиталовложений в различные технологии (варианты) ограничения выбросов парниковых газов при сжигании топлива на тепловых электрических станциях и других энергетических предприятиях.

Следует отметить, что наиболее реальными в части внедрения на действующих энергетических объектах являются технологии ограничения выбросов углекислого газа на стадии охлаждения продуктов сгорания. С учетом некоторых технологических особенностей выполнено сравнение различных технологий (варианты) снижения выбросов парниковых газов в атмосферу.

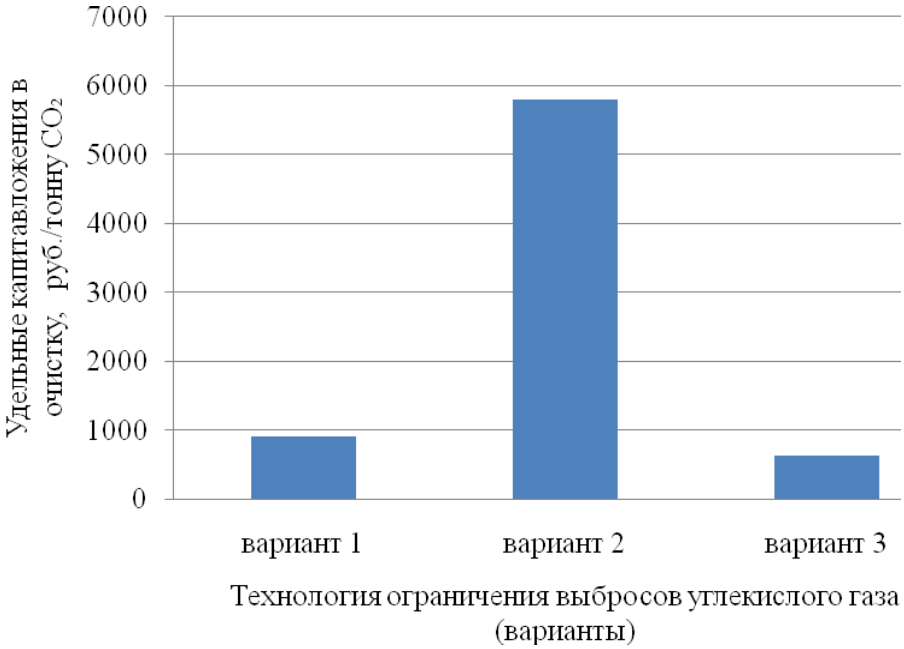

Рисунок. Зависимость удельных капиталовложений в очистку выбросов CO_2 от применяемой технологии ограничения выбросов: вариант 1 – выделение CO_2 из дымовых газов в кальциево-карбонатном цикле; вариант 2 – мембранные технологии захвата CO_2 до сжигания органического топлива; вариант 3 – экологически чистое выделение CO_2 с помощью ферментов

Результаты расчетов показывают, что технологии выделения CO_2 из дымовых газов в кальциево-карбонатном цикле и метод экологически чистого выделения CO_2 с помощью ферментов имеют преимущества перед технологией мембранного захвата CO_2 до сжигания органического топлива. Отметим, что при реализации варианта 3 достигается снижение затрат на улавливание и захоронение углерода на 10–15 % по сравнению с адсорбционными и абсорбционными методами. При этом повышение скорости выделения CO_2 из дымовых газов с применением мембран, основанных на ферментах, более чем в 100 раз, по сравнению с типовыми полимерными мембранами, и относительно низкие затраты на эксплуатацию систем очистки газов являются основными преимуществами для практического внедрения технологии выделения CO_2

из дымовых газов в кальциево-карбонатном цикле – цикле замкнутого производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон РФ от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха» [Электронный ресурс]. – URL: http:// www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_329955/ (дата обращения 11.10.2022).

2. ИТС 38-2017 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. – Введ. 2018-07-01. – М.: Росстандарт, 2017.

Д.С. Новикова, Д.С. Агарков
Научный руководитель И.А. Болдырев

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ МЕЖРЕМОНТНЫХ ПЕРИОДОВ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Поддержание надежности эксплуатации теплоэнергетического оборудования требует постоянного технического обслуживания и ремонтов. Уменьшение числа плановых ремонтов и увеличение межремонтных периодов снижают время простоя оборудования, однако увеличивают вероятность аварийных ситуаций.

Так как и простои и отказы приводят к некоторым затратам, в качестве критерия оптимизации целесообразно ввести функцию выбора минимума средних суммарных удельных затрат на эксплуатацию единицы оборудования $Z(T)$, определяемую выражением [1]:

$$Z(T) = \frac{З_{ТОД}}{T} Q(T) + \frac{З_{Р}}{T} Q(T) + \lambda З_{ПА}, \quad (1)$$

где $З_{ТОД}$, $З_{Р}$, $З_{ПА}$ – средние удельные затраты на проведение технического обслуживания и диагностики, предупредительных ремонтов, послеаварийных ремонтов соответственно; λ – интенсивность отказов электрооборудования; $Q(T)$ – эксплуатационная вероятность отказа.

Зачастую теплоэнергетическое оборудование удовлетворяет следующим принципам:

– эксплуатируемое оборудование проходит техническое обслуживание совместно с технической диагностикой;

– результаты технических диагностик определяют целесообразность проведения предупредительных ремонтов;

– после отказа проводится послеаварийный ремонт.

С учетом вероятности f, что по результатам технической диагностики ремонт не назначается, выражение (1) принимает вид

$$Z(T) = f\,\frac{З_{ТОД}}{T}Q(T) + (1-f)\frac{З_{Р}}{T}Q(T) + \lambda_{б}\cdot T^{2}\cdot З_{ПА} - \lambda_{б}\cdot f\cdot З_{ПА}, \qquad (2)$$

где $\lambda_б$ – базисная интенсивность отказов, определяемая постепенными прогнозируемыми факторами износа оборудования.

Минимальная величина $Z(T)$ достигается при оптимальном значении межремонтного периода $T_{опт}$, определяемого выражением:

$$T_{опт} = \sqrt[3]{\frac{f\cdot З_{ТОД}\cdot Q_{К}(T) + (1-f)\cdot З_{Р}\cdot Q_{К}(T)}{2\cdot\lambda_{б}\cdot З_{ПА}}}, \qquad (3)$$

где $Q_К(T)$ – критическая эксплуатационная вероятность отказа, определяемая на основе статистических данных о работе энергооборудования и результатов технической диагностики.

Отметим, что многие теплоэнергетические компании имеют большой парк оборудования, для которого необходим эффективно составленный график проведения ремонтов. Для формирования такого графика требуется объединить парковое оборудование в группы по следующим критериям:

– единовременное нахождение в ремонте;

– степень важности ремонтных работ.

Сформированные группы могут быть приведены к виду уравнений – ограничений. В качестве основного критерия оптимальности планирования F целесообразно принять минимальное время простоя оборудования [2].

$$F = \min\sum_{i=1}^{n} T_{рем.i}, \qquad (4)$$

где $T_{рем.i}$, – время простоя группы оборудования.

В качестве дополнительных критериев оптимальности принимается следующее:

$$N_{рем}(t) \to \max,$$
$$T_{пр}(t) \to \min, \qquad (5)$$

где $N_{рем}$ – число одновременно выведенных в ремонт единиц оборудования; $T_{пр}$ – время простоя ремонтных бригад в течение ремонтного периода.

Таким образом, предложенный алгоритм оптимального планирования состоит из двух этапов: определение оптимального межремонтного периода каждой парковой единицы оборудования и определение графика проведения ремонтных работ для групп оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назарычев, А.Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния / А.Н. Назарычев. – Иваново: Ивановский гос. энергет. ун-т, 2002. – 167 с.

2. Беляев, С.В. Разработка оптимальных графиков ремонта оборудования электрических сетей с целью повышения надежности их функционирования / С.В. Беляев, А.В. Малафеев, Е.Я. Омельченко // Электротехнические системы и комплексы. – 2019. – № 2 (43). – С. 4–11.

Т.А. Аввакумов
Научный руководитель М.В. Одоевцева

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛЕЙ АЛЮМИНИЯ И ЖЕЛЕЗА ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Цель работы – рассмотрение возможности комбинированного использования солей железа и алюминия при введении гидратного режима предочистки воды на ТЭЦ.

В практике водоподготовки для коагуляции коллоидных загрязнений в воду вводят растворы электролитов, называемых коагулянтами. Они диссоциируют в воде с образованием многовалентных ионов со знаком, противоположным знаку заряда коллоидной частицы с адсорбционным слоем. Для их коагуляции применяют соли и Al и Fe.

Коагуляция солями алюминия

Коагулянт: $Al_2(SO_4)_3$, $Д_к$ = 0,5–1,2 мг-экв /дм^3.

Условия коагуляции: температура 30–40 ºС; перемешивание; $Щ_о^{исх} > Д_к$; pH = 5,5–7,5; флокулянт (ПАА – полиакриламид) 0,5–2,0 мг/дм^3.

Известкование и коагуляция солями железа

Коагулянт: $FeSO_4$, $Д_к$ = 0,25–0,75 мг-экв/дм^3.

pH = 9,6 или 10,2–10,3.

При проведении лабораторных испытаний применялись два режима дозирования коагулянтов.

1. Смешанный режим: коагулянты при одинаковых концентрациях предварительно смешивались и вводились в пробу воды в соответствии с заданной дозировкой.

2. Последовательный режим: растворы коагулянтов концентрацией 100 мг-экв/дм^3 вводились в пробу последовательно. Первым вводился раствор соли железа.

Определено оптимальное соотношение реагентов при совместном дозировании. При этом данные химического контроля известково-коагулированной водопроводной воды при совместном дозировании $FeSO_4/Al_2(SO_4)_3$ показывают

снижение общей жесткости на 4 %, щелочности ($Щ_{об}$) – на 28 %, окисляемости – на 11 %, чем при дозировании $FeSO_4$. Содержание кремниевой кислоты в осветленной воде меняется незначительно. Мутность известково-коагулированной водопроводной воды при совместном дозировании $FeSO_4/Al_2(SO_4)_3$ возрастает на 50 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 310 с.

2. Шкроб, М.С. Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций / М.С. Шкроб, Ф.Г. Прохоров; под ред. д-ра техн. наук проф. М.С. Шкроба. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 471 с.

3. Баулина, А.И. Обработка воды на тепловых электростанциях / А.И. Баулина, С.М. Гурвич, В.М. Квятковский и др.; под ред. чл.-корр. АН СССР В.А. Голубцова. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 443 с.

А.В. Остапчук[1], М.Е. Шевченко[2]
Научный руководитель А.А. Полковников[1,2]

АНАЛИЗ СИГНАЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

[1]Филиал ФГАОУ ВО «ВолГУ» в г. Волжском
[2]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

Рассмотрен подход дополнительного контроля технологического процесса с применением методов статистического анализа. Разработан программный комплекс для диагностики сигналов, использующий нейросетевые технологии. Приведены основные инструменты для обработки сигналов и идентификации анормальных явлений.

В настоящее время на теплоэлектрических станциях используется подход, позволяющий идентифицировать выход контролируемого параметра за пределы допустимых значений [1]. Также многие из контролируемых параметров взаимосвязаны между собой системой автоматического регулирования (САР), то есть при отклонении параметр будет стабилизирован. В случае применения такого подхода существует вероятность наступления аварийного события, несмотря на нормальные значения сигнала контролируемого параметра.

Предлагается подход непрерывного контроля сигнала с использованием методов статистической обработки в границах допустимых значений. Возможно дооснащение существующих систем дополнительной ступенью защиты, возможностью которой является идентификация анормальных явлений во временных рядах, образованных сигналами в системе контроля и управления технологическим процессом.

Для достижения поставленной цели необходимо классифицировать сигналы, виды отклонений и способы их идентификации с помощью методов статистического анализа. В зависимости от вида измеряемой величины (расход,

давление, температура) изменяется частота опроса датчиков, динамические характеристики измерительных каналов, форма сигнала. Поиск анормальных явлений сопровождается их идентификацией. К таким явлениям можно отнести провал сигнала, скачок, обрыв. В зависимости от вида анормальности сигнала и физической природы его происхождения следует применять различные методы статистического анализа [2].

Для анализа сигналов использовался высокоуровневый язык программирования Python 3.9 и библиотеки [3]:

- NumPy – для научных расчетов, содержит сложные математические функции, упрощает работу с многомерными матрицами/массивами;
- Pandas – для манипулирования числовыми таблицами, работа строится поверх библиотеки NumPy, являющейся инструментом более низкого уровня;
- Scikit-learn – для анализа данных, включает различные алгоритмы классификации, регрессии и кластеризации, включая методы опорных векторов, случайные леса, повышение градиента, k-средние и DBSCAN;
- Matplotlib – для визуализации данных 2D- и 3D-графикой, является наиболее гибким, легко конфигурируемым пакетом;
- Torch – предоставляет большое количество алгоритмов для глубинного обучения и научных расчетов.

Выбранный инструментарий содержит наиболее популярный и эффективный функционал, позволяющий наиболее качественно решить поставленную задачу. Апробация библиотек Python была проведена на данных, содержащих период штатной эксплуатации турбоагрегата, переходные режимы работы, а также период предаварийного состояния оборудования. Для обеспечения чистоты математического подхода данные о физическом смысле сигналов не передаются. Временной ряд некоторого параметра представлен на рисунке.

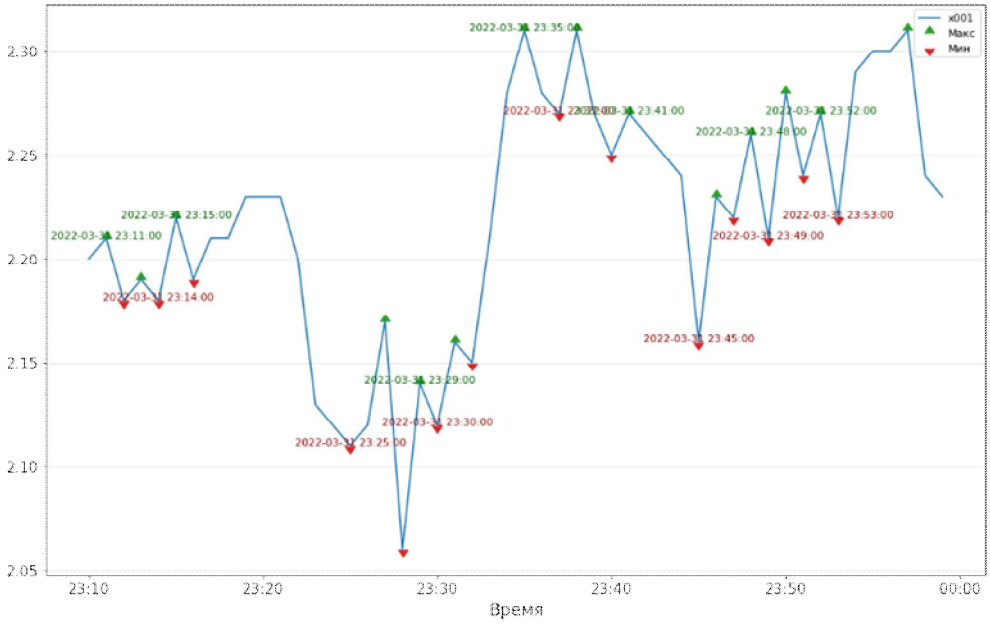

Рисунок. Временной ряд параметра x001 с обозначением экстремумов

В результате анализа определены инструменты для первичной обработки данных, очистки данных от выбросов и проведения статистического анализа. Разработан ПРК на языке Python, с помощью которого возможно дальнейшее построение модели контроля технического состояния. Дополнение модели с учетом физического смысла сигналов и их особенностей представляет собой предмет дальнейших изысканий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учеб. пособие / Г.Т. Кулаков и др.; под редакцией Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.

2. Павлов, И.С. О проблемах анализа стационарных и нестационарных временных рядов и путях их решения / И.С. Павлов // Школа молодых ученых: Материалы областного профильного семинара по проблемам естественных наук, Липецк, 11 октября 2019 года. – Липецк: Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2019. – С. 82–86.

3. Плас, Дж. В. Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение / Дж. В. Плас. – СПб.: Питер, 2018. – 576 с.

О.И. Желяскова, Ш.М. Милитонян
Научный руководитель Е.Г. Зенина

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В статье рассматриваются особенности распределенной энергетики. Представлен качественный анализ положительных и отрицательных аспектов. На основе анализа сделан вывод о перспективе масштабного внедрения распределенной генерации в энергосистемы как для всех участников рынка, так и для российской экономики в целом.

Изменения мирового энергетического уклада за счет перехода от централизованной распределенной интеллектуальной энергетики влечет за собой развитие современной электроэнергетики. В формировании интеллектуальной системы с активно-адаптивной сетью важная роль отводится распределенной генерации (РГ) энергии [1].

Децентрализация в сегодняшних реалиях – это новое сознание субъектов рынка. Основные причины ее возникновения заключаются в росте потребления электроэнергии, повышении требований потребителей к энергоснабжению, развитии и внедрении новых энергетических и информационных технологий [2].

Согласно [2], прогнозы (рисунок) свидетельствуют о трехкратном увеличении объема распределенной генерирующей мощности к 2026 году по сравнению с централизованным энергоснабжением.

Оценка необходимости перехода на распределенную генерацию заключается в сопоставлении как положительных, так и отрицательных аспектов работы распределенной генерации.

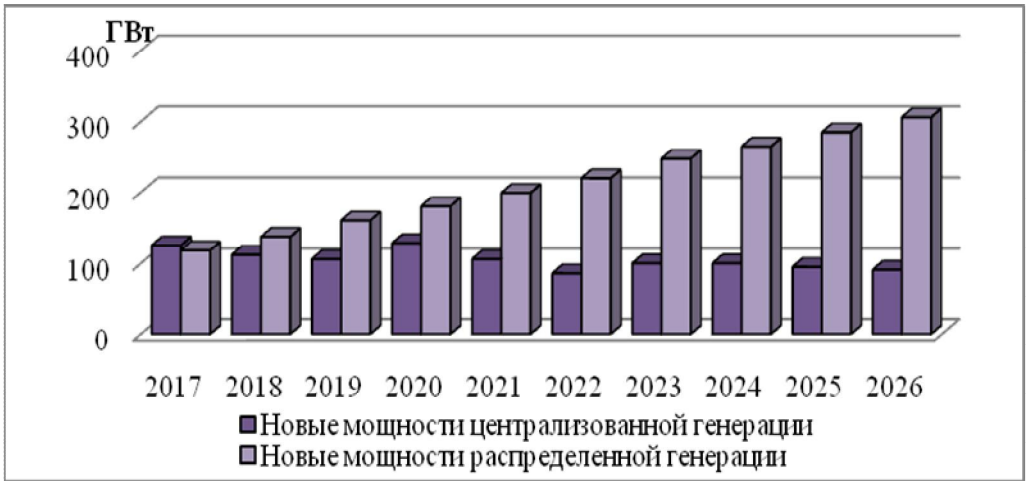

Рисунок. Прогноз объема централизованной
и распределенной генерации электроэнергии в мире

Для рынка электроэнергетики выявлены следующие основные преимущества и недостатки [2].

Преимущества:

– снижение затрат на развитие сетевого комплекса и крупной генерации;

– выравнивание графиков нагрузки с помощью технологий управления спросом;

– сокращение потерь при передаче энергии;

– увеличение надежности и др.

Риски:

– развитие энергосистемы и рыночного пространства с точки зрения диспетчеризации, управления, регулирования и контроля;

– возложение ответственности за надежность электроснабжения потребителей в случае отказов;

– быстрый переход потребителей на собственную генерацию и др.

Для российской экономики на основании проведенного анализа выявлены следующие основные преимущества и недостатки [3].

Преимущества:

– сдерживание роста тарифов и цен на электроэнергию и мощность;

– снижение энергоемкости ВВП;

– повышение привлекательности российского сектора электроэнергетики для инвесторов;

– появление российских компаний, развивающих новые компетенции, и выход на мировой рынок оборудования и технологий и др.

Риски:

– усложнение энергетической отрасли как объекта государственного регулирования;

– проблема экономики моногородов при крупных ТЭС и др.

Проведенный, таким образом, качественный анализ рисков и положительных аспектов показывает, что распределенная энергетика обладает преимуществами как для всех участников рынка, так и для российской экономики в целом. Преимущества могут раскрываться с разной степенью в разных проектах [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов, А.Л. Проблемы и особенности распределенной электроэнергетики / А.Л. Куликов, В.Л. Осокин, Б.В. Папков // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 11 (90).

2. Распоряжения Правительства Российской Федерации о программе «Цифровая экономика Российской Федерации».

3. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов и др. – М.: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. – 2018. – 89 с.

К.С. Михайлова

Научный руководитель Н.В. Байдакова

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ И ВОЛНОВЫХ УСТАНОВОК

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

С каждым годом мировое потребление энергии растет, возникает проблема истощения природных запасов традиционных энергоресурсов. В связи с этим интерес к освоению возобновляемых источников энергии (ВИЭ) возрастает [1].

Выработка электроэнергии за счет солнечного излучения получила широкое развитие по всему миру, поскольку это наиболее экологически чистый источник электроэнергии. К плюсам, помимо экологической чистоты, можно отнести его доступность в любой точке Земли, от экватора до северных широт и возможность использования не только для выработки электричества, но и для нужд теплоснабжения [2].

Еще одно развивающееся направление ВИЭ – волновая энергетика, которая является альтернативным направлением гидроэнергетики. Использование морских и океанических волн можно считать наиболее перспективным источником электроэнергии. Энергия океанических волн превосходит по удельной мощности и солнечную, и ветровую энергии [3].

Авторы предлагают совместить два типа электростанций – разместить на волновой электростанции солнечные панели. Предлагаемая электростанция практически не будет зависеть от погодных условий. Зачастую в солнечную погоду на воде наблюдается штиль, соответственно, волновая составляющая не

используется. При отсутствии солнца, наоборот, часто наблюдается ветер, создающий волны, при этом не будет использоваться солнечная составляющая станции.

Волновая составляющая электростанции представляет собой длинную цепь пластиковых поплавков, связанных с друг другом; двигаясь по волнам, встроенные внутри пластин рычаги также приходят в движение, и механическая энергия волн превращается в электрическую.

С солнечной составляющей все сложнее. Чтобы устройство работало должным образом, оно должно иметь гибкую конструкцию. Гибкость конструкции будет зависеть от типа используемых солнечных панелей. Это могут быть либо стандартные панели, разбитые на большое количество отдельных модулей, либо гибкие солнечные панели.

Авторами был предложен анализ характеристик существующих панелей, которые приведены в табл.

Сравнение характеристик монокристаллических солнечных панелей мощностью 50 Вт [4, 5]

Характеристики	**Стандартные панели SIM50-12**	**Гибкие панели EP50-12**
Габариты, мм	630×550×25	540×620×3
Вес, кг	4,2	0,7
Гибкость	–	+
Водонепроницаемость	–	+
КПД одного модуля, %	14,70	18,56
Рабочий ток, А	2,73	2,80
Рабочий вольтаж, В	18,36	17,60
Количество элементов для обеспечения мощности	36	32
Стоимость одного элемента, руб.	3266	3834
Общая стоимость установки, руб.	117 576	122 688

На основании анализа предлагается отдать предпочтение гибким панелям, поскольку, несмотря на практически одинаковые размеры, рабочие характеристики и стоимость, они имеют значительно меньший вес и обладают водонепроницаемостью, а также имеют больший КПД.

Предложенная гибридная электростанция, включающая в себя две составляющие – волновую и солнечную, состоящую из гибких водонепроницаемых солнечных панелей, – позволит повысить эффективность выработки электроэнергии, по сравнению с существующими электростанциями на базе ВИЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин, С.М. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: курс лекций / С.М. Воронин. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008 – 256 с.

2. Гелиосистемы – принцип работы, плюсы и минусы // Источники энергии на Земле. – URL: https://istochnikienergii.ru/solncze/geliosistemy (дата обращения: 12.10.2022).

3. Гущ, Ю.В. Волновая энергетика – перспективный сектор возобновляемых источников энергии / Ю.В. Гущ // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2016. – № 2 (41). – С. 2.

4. Солнечная батарея SilaSolar 50Вт // ТехноЛайн. – URL: https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/mono-panel/solnechnaya-batareya-silasolar-50vt-5bb/ (дата обращения: 12.10.2022).

5. Гибкая солнечная батарея E-Power 50Вт // ТехноЛайн. – URL: https://e-solarpower.ru/solar/solar-panels/flex-panel/gibkaya-solnechnaya-batareya-e-power-50vt/ (дата обращения: 12.10.2022).

В.Ю. Жалнина
Научный руководитель Е.Г. Зенина

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 110 КВ И ВЫШЕ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

На сегодняшний день для определения мест повреждения на высоковольтных линиях (ВЛ) напряжением 110 кВ и выше используется большое количество типов устройств, наиболее распространенные из них и их характеристики представлены в табл.1, 2.

Основной задачей данной работы является выявление приборов, способных как можно более достоверно определять место повреждения на ВЛ.

Таблица 1

Технические характеристики устройств ОМП

Тип устройства	Напряжение контролируемой ВЛ, кВ	Способ замера	Метод ОМП
ИМФ-3Р	110–750	Односторонний	По ПАР
Сириус-2-ОМП	6–750	Односторонний	По ПАР
РАС Аура М-32	110–750	Одно- и двухсторонний	По ПАР
ТОР-100-ЛОК	6–750	Одно- и двухсторонний	Волновое + по ПАР
Бреслер 0107.090	6–750	Одно- и двухсторонний	Волновое + по ПАР

Для достижения поставленной задачи был проведен сравнительный анализ точности измерений цифровых устройств ОМП на основе опытных данных, полученных по результатам испытаний, проведенных ПАО «ФСК ЕЭС». Многие цифровые устройства ОМП основаны на дистанционных методах ОМП, а именно устройства, работающие на волновом методе и по параметрам аварийного режима (ПАР).

Таблица 2

Технические характеристики устройств ОМП

Тип устройства	Количество сохраняемых записей	Протоколы интерфейса	Производитель
ИМФ-3Р	9	2 порта последовательной связи RS-232, RS-485	ЗАО «Радиус Автоматика»
Сириус-2-ОМП	25	1 порт последовательной связи RS-485; 3 порта USB	ЗАО «Радиус Автоматика»
РАС Аура М-32	До нескольких тысяч	1 порт последовательной связи RS-485; Ethernet; 1 порт USB	ООО «Свей»
ТОР-100-ЛОК	100	1 порт последовательной связи RS-485; 1 порт ST; 1 порт USB	ООО «Релематика»
Бреслер 0107.090	–	2 порта последовательной связи RS-485, RS-422; 1 порт Ethernet; 2 порта USB	ОАО НПП «Бреслер»

В ходе анализа сравниваются следующие устройства ОМП: Бреслер 0107.090; ТОР-100-ЛОК; Сириус-2-ОМП, а также регистратор аварийных событий (РАС) Аура М-32 и микропроцессорный терминал ДЗЛ фирмы «Экра», имеющие функцию ОМП.

В ходе испытаний было проведено три опыта, на рисунке показаны точки КЗ для каждого опыта: К-1 – опыт № 1, К-2 – опыт № 2, К-3 – опыт № 3.

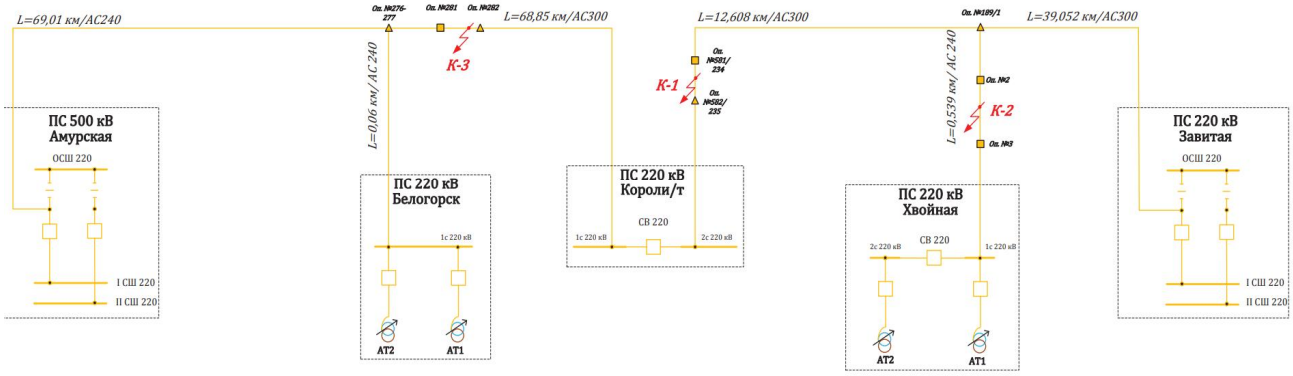

Рисунок. Схема электрической сети для проведения испытаний устройств ОМП

Описание опытов

Опыт № 1. Однофазное короткое замыкание на землю, фазы С, в точке К-1.

Опыт № 2. Однофазное короткое замыкание, фазы С, через переходное сопротивление в точке К-2.

Опыт № 3. Междуфазное короткое замыкание, фаз А и В, в точке К-3.

Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытаний устройств ОМП

№ опыта	Расстояние от ПС Завитая до точки КЗ, км						
	Факт.	Бреслер 0107.090	ТОР-100-ЛОК		ДЗЛ «Экра»	Сириус-2-ОМП	РАС Аура М-32
			Волн. измер.	По ПАР			
1	48,40	47,60 (0,80)	39,60 (8,50)	47,40 (1,00)	53,20 (4,80)	47,40 (1,00)	48,10 (0,30)
2	38,85	45,40 (6,50)	6,50 (32,35)	38,90 (0,05)	43,20 (4,35)	44,70 (5,85)	40,00 (1,15)
3	118,90	117,60 (1,30)	–	120,40 (1,50)	147,10 (28,20)	129,60 (10,70)	127,60 (8,70)

По полученным в ходе проведения испытаний данным можно сделать следующие выводы: наиболее точными в ходе проведения испытаний оказались следующие устройства: РАС Аура М-32, ТОР-100-ЛОК (по ПАР) и Бреслер 0107.090; наиболее грубые измерения были получены с помощью устройств ТОР-100-ЛОК (волновое измерение) и ДЗЛ «Экра».

Таким образом, можно сказать, что отдельные устройства для определения мест повреждения являются более точными, чем терминалы защит, в которые включена функция ОМП. По всей вероятности, это связано как минимум с тем, что в микропроцессорных терминалах защит функция ОМП является дополнительной, а основной функцией является выявление и селективное отключение поврежденных участков, поэтому, как показывает проведенное испытание, для точного и быстрого определения места повреждений необходимо использование отдельных устройств ОМП или регистраторов аварийных событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по эксплуатации БРСН.656122.090 РЭ. Терминал микропроцессорный Бреслер-0107.090. Определение места повреждения.

2. Руководство по эксплуатации, паспорт. Индикатор микропроцессорный фиксирующий. ИМФ-3Р. – М.: Изд-во ЗАО «РАДИУС Автоматика», 2014 г.

3. Руководство по эксплуатации БПВА.656122.091 РЭ. Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи «Сириус-2-ОМП».

4. Отчет по натурным испытаниям устройств ОМП ВЛЭП от 04.12.2015. ПАО «ФСК ЕЭС».

Н.С. Хлюстов, К.В. Евсеев
Научный руководитель И.А. Болдырев

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОРЕЖЕННОГО СИГНАЛА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА С ПОМОЩЬЮ МНОГОСЛОЙНОГО ПЕРСЕПТРОНА

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

В работе рассматривается возможность применения многослойного персептрона (Multilayer perceptron, MLP) для решения задачи восстановления прореженного сигнала. Описывается процесс подготовки исходных технологических данных и алгоритм восстановления пропущенных значений. Проведены результаты оценки работоспособности представленного алгоритма.

В настоящее время распространены два основных вида архивирования сигналов: периодическое и апертурное. В российском программно-техническом комплексе «Квинт», предназначенном для управления непрерывными технологическими процессами на предприятиях атомной и тепловой энергетики, помимо них, реализованы также два дополнительных вида: объектное и событийное архивирование [1]. На практике чаще всего применятся подход, сочетающий методы периодического и апертурного архивирования, при котором записываются значения сигнала как с фиксированным периодом записи, так и при изменении величины сигнала на определенную величину.

Справедливо отметить, что с уменьшением интервала записи данных в архив требуется больше свободного места в базе данных. В работе рассматривается способ сокращения объема хранимых значений технологических параметров за счет оптимизации периода записи сигнала при дальнейшем его восстановлении.

Целью работы является исследование возможности применения машинного обучения для восстановления прореженного сигнала технологического параметра. Для достижения поставленной цели обозначены следующие задачи:

– разработка алгоритма подготовки исходных данных;
– обучение и валидация модели многослойного персептрона;
– восстановление пропущенных значений и оценка результата.

Предлагаемый подход заключается в подгонке модели машинного обучения на известных данных и восстановлении с ее помощью пропущенных значений с определенным периодом записи, превышающим изначальный. Решаемая задача схожа с задачей прогнозирования временных рядов, где его неизвестные значения определяются по известным предшествующим точкам [2, 3]. Однако в рассматриваемом случае предлагается учитывать не только предшествующие значения, но и последующие (рис. 1).

В исследовании используются данные давления острого пара, полученные из архивной станции программно-технического комплекса «Квинт». На основе временного ряда исследуемого сигнала была обучена модель MLP и

проведена оценка точности восстановления при увеличении периода исходного сигнала (рис. 2).

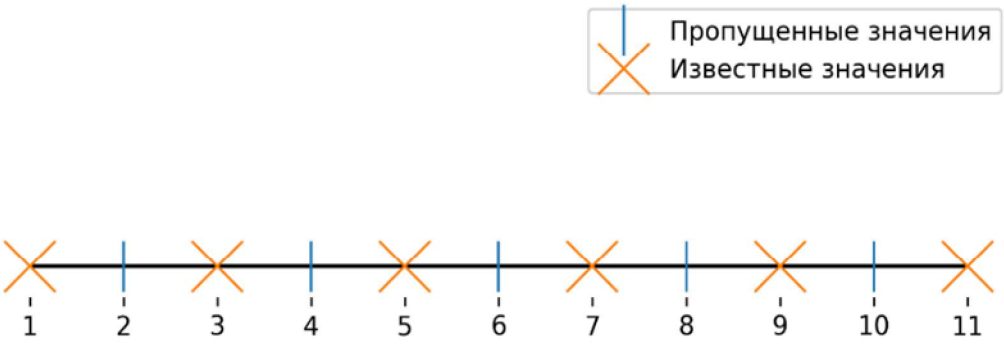

Рис. 1. Прореженный временной ряд

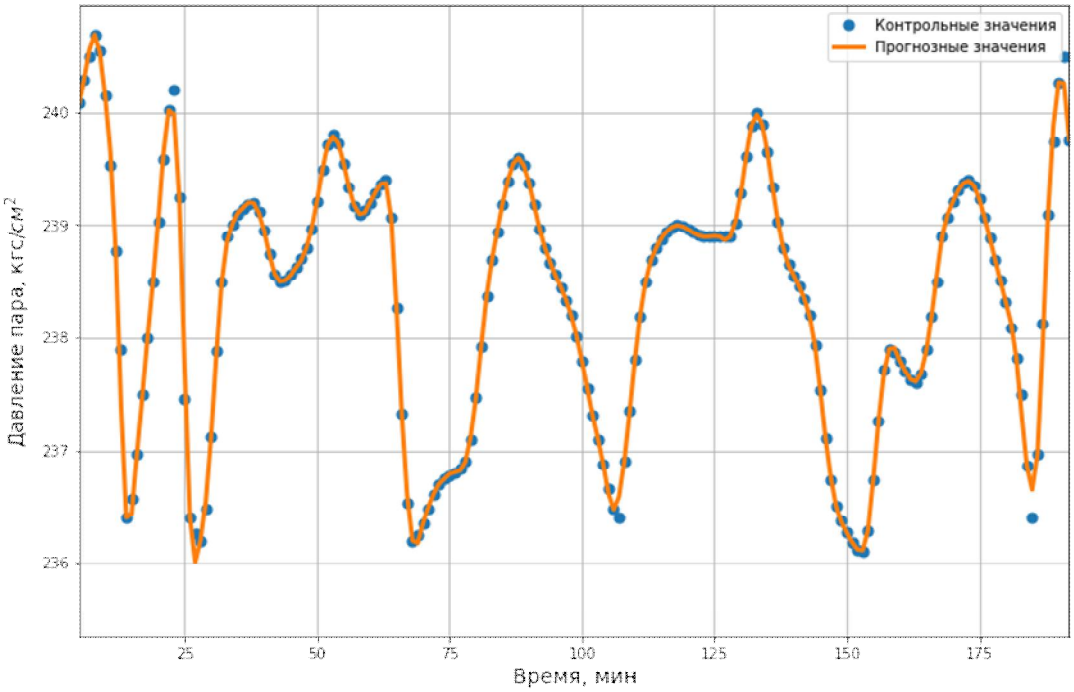

Рис. 2. Результаты восстановления сигнала

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексы программно-технические КВИНТ СИ. Руководство по эксплуатации. Часть 1: Структура и системная интеграция. СИКТ.421457.057 РЭ1. – М.: ОАО «НИИТеплоприбор», 2013. – 105 с.

2. Sultanov, M.M. Application of machine learning to predict the thermal power plant process condition / M.M. Sultanov, I.A. Boldyrev, K.V. Evseev // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – № 2150. – С. 1–5.

3. Park, J. Long-Term Missing Value Imputation for Time Series Data Using Deep Neural Networks / J. Park et al. // Neural Computing and Applications. – 2022.

М.А. Индолов
Научный руководитель Н.В. Байдакова

ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Электроэнергетика – одна из важнейших отраслей в мире, которая снабжает электричеством города и страны. Именно поэтому к надежности и безопасности ее объектов, а также к подготовке сотрудников предъявляются высокие требования. Современные технологии позволяют организовать безопасную тренировку и сопровождают персонал в работе. Данными задачами занимается технология дополненной реальности.

Ассистент дополненной реальности – это программный комплекс, созданный инженерами и прошедший тестирование на полигоне учебного комплекса «Россети Ленэнерго» [1]. Дополненная реальность (AR) – это среда, которая дополняет окружающий нас мир с помощью проецирования цифровой информации на экраны устройств. Увидеть множество виртуальных элементов можно с помощью очков дополненной реальности или камеры смартфона, предварительно наведенной на специальный QR-код.

Крупные российские компании, такие как ПАО «СИБУР», ПАО «Газпром нефть», ПАО «КАМАЗ», ОАО «РЖД» и другие, уже активно внедряют технологии виртуальной и дополненной реальности в свои производственные процессы. По данным эксперта по технологиям и телекоммуникациям Томаса Олсопа, количество пользователей дополненной реальности во всем мире вырастет до 2,4 млрд человек [2].

Работа персонала энергетического комплекса очень важна и ответственна и должна строго выполняться в соответствии с регламентом. Но не стоит исключать человеческий фактор. Одной из важнейших функций дополненной реальности является «Виртуальный напарник», который помогает персоналу выполнять операции, не упуская ни единого шага [3].

Принцип работы данной системы заключается в следующем: сотрудник надевает очки дополненной реальности, задает системе необходимый вид работ и подходит к оборудованию, в то же время система знает, какую последовательность действий и на какой установке должен выполнять сотрудник. Перед началом работы камера, встроенная в шлем дополненной реальности, сканирует QR-код, расположенный на оборудовании. Если сотрудник ошибочно подошел не туда, то очки не позволят двигаться дальше и подадут сигнал об ошибке. Как только работник подойдет к нужному оборудованию, закадровый голос автоматически озвучит последовательность действий, которые необходимо выполнить в рамках регламента.

Рабочие зоны, на которые стоит обратить внимание, графически выделяются с помощью AR (augmented reality – «дополненная реальность»). Неоспоримым преимуществом подобной системы обучения является возможность

подтверждения выполнения операций голосовыми командами, а также воспроизведения фотографий. Весь процесс выполнения операций записывается на видеокамеру, встроенную в шлем. Иногда действия требуется подтверждать фотофиксацией: теперь сотруднику не нужно отвлекаться и тратить время, доставая смартфон или камеру. Достаточно произнести фразу «Сделать фото», и встроенная камера воспроизведет снимок.

Видеофиксация – это еще один способ контроля персонала, а также аналитики происшествий [4]. В случае возникновения нештатной ситуации можно посмотреть видеозапись и вычислить, где именно была допущена ошибка. Все фото и видео, сделанные сотрудником, введенные данные, показатели приборов сохраняются в памяти шлема. Как только очки подключатся к Wi-Fi, материалы, полученные в ходе работы, и аналитика выполнения работ будут выгружены в отчет автоматически, который будет доступен руководителю.

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что дополненная реальность успешно проявляет себя для обучения сотрудников, работающих на объектах электросетевого хозяйства, в том числе на подстанциях. Данную систему можно использовать не только в электроэнергетике, но и в других отраслях промышленности: нефтепереработке, металлургии, машиностроении и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://vc.ru/future/310877-kak-dopolnennaya-realnost-pomogaet-v-elektroenergetike.

2. Папагианнис, Х. Дополненная реальность: все, что вы хотели узнать о технологии будущего / Х. Папагианнис. – М.: Бомбора, 2019. – 148 с.

3. Сибикин, Ю.Д., Сибикин, М.Ю. Диагностика и техническое обслуживание электроустановок потребителей / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М., 2016. – 312 с.

4. Михеев, Г.М. Цифровая диагностика высоковольтного электрооборудования / Г.М. Михеев. – М.: ДМК «Пресс», 2017. – 217 с.

С.А. Кострюков
Научный руководитель Ю.В. Гусева

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА САВОНИУСА

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

Большой пусковой крутящий момент, возможность работы при низких скоростях ветра, простота исполнения, при этом высокая технологичность ветроустановок с ротором Савониуса обеспечивает их удобное использование для технических нужд при малых мощностях агрегатов. При этом выбор оптимального профиля ветроколеса должен обеспечивать эффективные значения рабочих характеристик ветрогенератора [1–4].

Для решения задачи исследования ранее выполнено построение профиля лопасти ротора ветрогенератора в программе «Компас 3D», изготовлена модельная установка ветроколеса на 3D-принтере из полимерного материала [5].

На рис. 1 представлены результаты моделирования характеристик ветроколеса Савониуса на начальном (разгонном) участке времени. Следует отметить, что мощность ветрогенератора при выходе на установившийся режим работы составляет порядка 16–18 мВт.

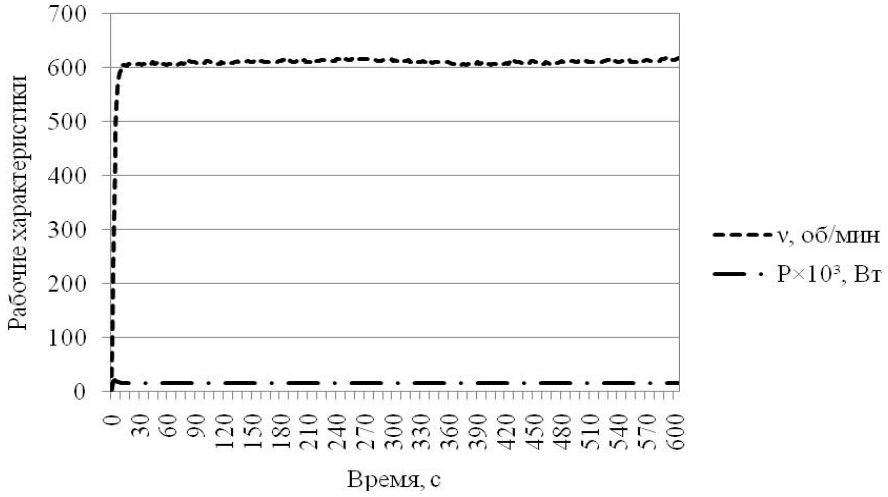

Рис. 1. Изменение рабочих характеристик ветроколеса Савониуса на начальном (разгонном) участке времени (частота вращения, мощность)

В ходе проведения расчетов установлено, что при моделировании малых моделей ветрогенераторов необходимо обеспечивать турбулентный режим набегания потока воздуха на уровне Re = 10^5 [6]. На рис. 2 представлены результаты моделирования рабочей характеристики ветроколеса на начальном участке времени для коэффициента мощности.

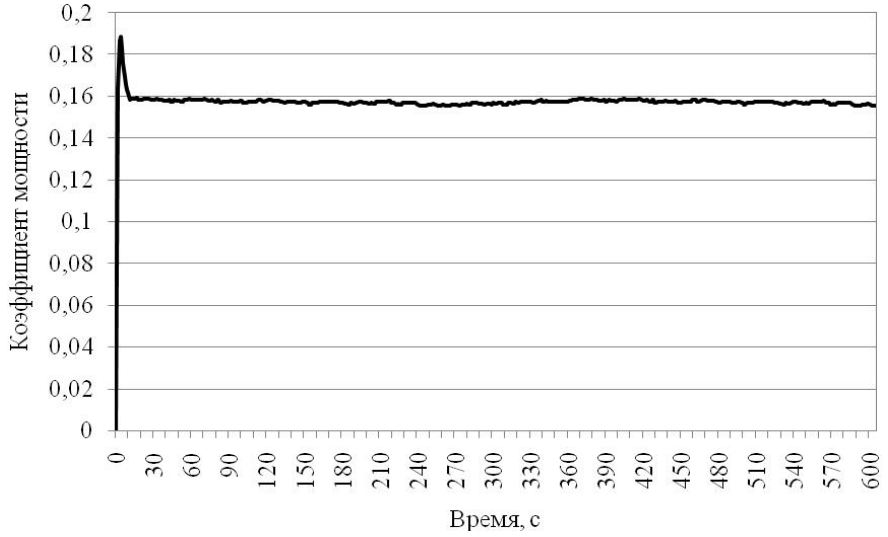

Рис. 2. Мощностная характеристика ветроколеса Савониуса на начальном (разгонном) участке времени и установившемся режиме

В соответствии с результатами моделирования рабочих характеристик ветроколеса Савониуса показано, что расчетные значения коэффициента мощности обеспечены удовлетворительной сходимостью с экспериментальными и опытными данными [6, 7].

В результате выполненных исследований создана новая физическая модель ветрогенератора с ротором Савониуса и проведены лабораторные испытания модели ветроколеса для определения рабочих характеристик разработанного оптимального профиля лопасти ветрогенератора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елаев, М.В. Проблема подсинхронного резонанса в ветроэнергетических установках и системах / М.В. Елаев, А.И. Хальясмаа, В.О. Самойленко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12. – № 3(47). – С. 57–71.

2. Капанский, А.А. Методы решения задач оценки и прогнозирования энергетической эффективности / А.А. Капанский // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2019. – Т. 11. – № 2(42). – С. 103–115.

3. Шерьязов, С.К. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения / С.К. Шерьязов, С.С. Исенов, Р.М. Искаков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 24–33.

4. Янсон, Р.А. Ветроустановки / Р.А. Янсон. – М., 2007. – 36 с.: ил.

5. Гусева, Ю.В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю.В. Гусева, С.А. Кострюков, А.Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 83–90.

6. Templin, R.J. Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine / R.J. Templin // National Research Council of Canada. Rep. LTR 160. – 1974. – P. 185.

7. Tian, W., Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes / W. Tian, B. Song, J.H. Van Zwieten // Energies. – Vol. 8. – 2015. – № 8. – P. 7915–7929.

С.А. Кострюков
Научный руководитель Ю.В. Гусева

ПРОФИЛИРОВАНИЕ ЛОПАСТЕЙ РОТОРА САВОНИУСА

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

Создание оптимальных геометрических конструкций роторов ветрогенераторов Савониуса связано с необходимостью повышения эффективности использования энергии ветра. В данной работе проведено моделирование профилей ветрогенератора, выполненных по «золотому сечению» (вариант 1, рис. 2) и с углом дуги ковша 75° (вариант 2, рис. 3). Выполнено сравнение их рабочих характеристик с классической моделью ветрогенератора Савониуса, как это показано на рис. 1. Моделирование рабочих процессов и характеристик выполнено с применением Ansys Fluent 22R1. В основе решения задачи использованы уравнения Навье – Стокса, уравнения массы и энергии, их решение выполнено методом конечных разностей [1–3].

Результаты моделирования профиля ветроколеса показали, что конструкция ковша оказывает существенное влияние на локальные характеристики. Следует отметить, что декомпрессионная зона расположена в вогнутой поверхности ковша ротора. Зона ускорения формируется в выпуклой поверхности ковша ротора и характеризуется максимальными значениями скоростей потока воздуха [4].

На рис. 1 представлены результаты моделирования характеристик классической модели ротора Савониуса.

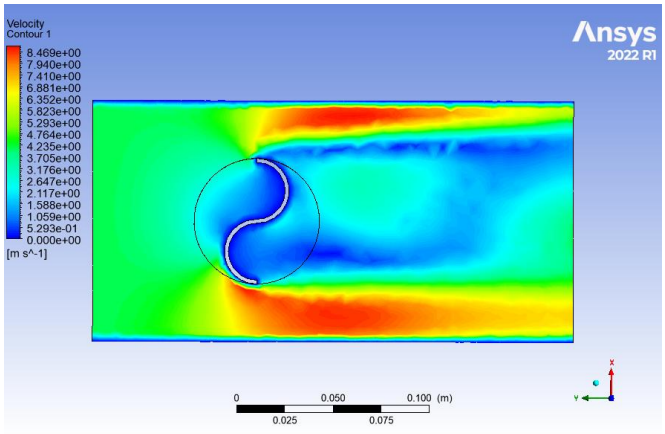

Рис. 1. Изменение локальных характеристик классической модели ротора Савониуса

Диаметр рассматриваемой модели ветроколеса составляет 65 мм, высота 74 мм, размер ячейки расчетной сетки составляет 5×5 мм. Программный комплекс Ansys Fluent 22R1 позволяет осуществлять моделирование газодинамических процессов с получением достоверной сходимости результатов с уровнем невязки по уравнению неразрывности порядка 10^{-3}, по уравнению энергии порядка 10^{-6}.

На рис. 2 представлены результаты моделирования локальных характеристик модели ротора Савониуса с профилем, выполненным по «золотому сечению».

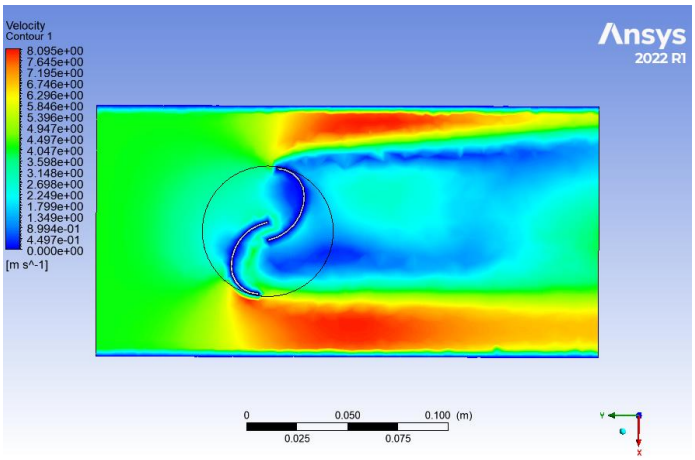

Рис. 2. Изменение локальных характеристик модели ротора Савониуса с профилем, выполненным по «золотому сечению» (вариант 1)

На рис. 3 представлены результаты моделирования локальных характеристик модели ротора Савониуса с профилем, выполненным с углом дуги ковша 75°.

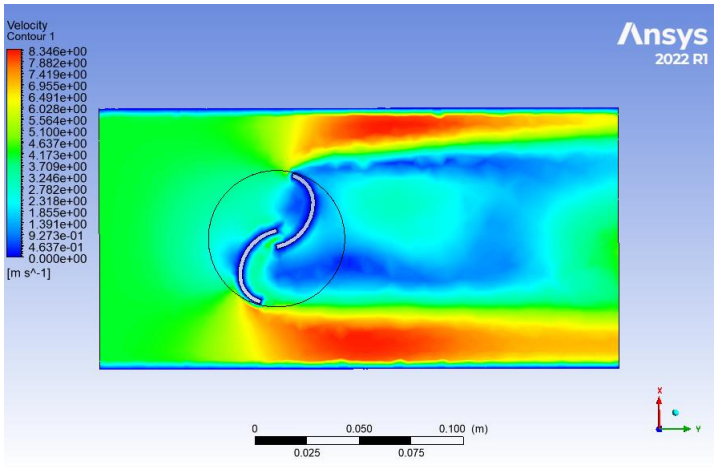

Рис. 3. Изменение локальных характеристик модели ротора Савониуса с профилем, выполненным с углом дуги ковша 75° (вариант 2)

Небаланс по массовым расходам модели ветроколеса соответствует 10^{-4} кг/с, по уравнению полной энергии потока ветра 10^{-4} Дж. Шаг по времени, равный $2 \cdot 10^{-4}$ с, являлся условием устойчивого итерационного процесса.

В результате проведенного моделирования профилей ротора Савониуса, выполненных по «золотому сечению» и с углом дуги ковша 75°, установлены локальные характеристики моделей.

При этом расчетные значения скоростных полей потока обеспечиваются удовлетворительной сходимостью с экспериментальными данными [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янсон, Р.А. Ветроустановки / Р.А. Янсон. – М., 2007. – 36 с.: ил.

2. Шерьязов, С.К. Основные типы ветротурбин-генераторов в системе электроснабжения / С.К. Шерьязов, С.С. Исенов, Р.М. Искаков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23. – № 5. – С. 24–33.

3. Гусева, Ю.В. Лабораторная модель ротора Савониуса / Ю.В. Гусева, С.А. Кострюков, А.Р. Васильев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – № 3. – С. 83–90.

4. Templin, R.J. Aerodynamic performance theory for the NRC vertical-axis wind turbine / R.J. Templin // National Research Council of Canada. Rep. LTR 160. – 1974. – P. 185.

5. Tian, W., Computational fluid dynamics prediction of a modified Savonius wind turbine with novel blade shapes / W. Tian, B. Song, J.H. Van Zwieten // Energies. – Vol. 8. – 2015. – № 8. – P. 7915–7929.

М.В. Попова, В.Ю. Жалнина
Научный руководитель Е.Г. Зенина

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В работе рассмотрены предпосылки к применению искусственных нейронных сетей для восстановления искаженного вторичного сигнала измерительных трансформаторов тока. Приведены два способа контроля и оценки качества обучения такого алгоритма, а также подытожен опыт создания нейронной сети в среде разработки Matlab-Simulink.

Для обеспечения правильного действия РЗ необходимо, чтобы информация о токе КЗ, получаемая устройствами РЗ от ТТ, была достоверной. При насыщении магнитопровода ТТ информация о токе КЗ искажается, за счет чего погрешность трансформации превышает допустимую. Для снижения величины погрешности ряд авторов предлагает аппаратные решения в виде альтернативных ИТТ.

Однако существует довольно обширное количество публикаций с иным подходом к решению проблемы. Традиционные трансформаторы тока крайне распространены, их технология изготовления, монтажа, обслуживания и эксплуатации отработана и подкреплена многолетним опытом, что обуславливает актуальность развития идей и научных разработок программных алгоритмов, которые, основываясь на тех или иных факторах, могли бы прогнозировать ток КЗ с учетом погрешностей на намагничивание или каким-либо иным способом вносить свою корректировку сигнала, на который будет реагировать релейная защита.

Таким образом, перспективным направлением является разработка алгоритма для восстановления искаженного вторичного сигнала ТТ, возникающего при насыщении магнитопровода [1–3]. Одной из самых распространенных передовых технологий является технология создания и обучения искусственной нейронной сети (ИНС).

Для достижения поставленных целей перед нейронной сетью ставится задача аппроксимации нелинейной зависимости между первичным и вторичным сигналами для нахождения инверсной функции, основываясь на которой будет производиться восстановление полезного сигнала.

Для оценки качества обучения ИНС контролируется изменение величины регрессии, то есть график, на котором по оси абсцисс точка имеет координату, соответствующую желаемому значению на выходе, а по оси ординат – реальному.

Также контроль качества обучения нейронной сети производится за счет анализа графика зависимости изменения величины среднеквадратической ошибки *mse*:

$$mse = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(i_{2ideal} - i_{2real})^2, \qquad (1)$$

где i_{2ideal} – значение, которое должна выдать нейросеть; i_{2real} – реальное значение, полученное на выходе нейросети; N – количество участвующих в обучении пар – выборок данных [3].

Все инструменты для создания модели, генерирующей обучающие таблицы и разработки непосредственно ИНС, представлены в среде разработки Matlab-Simulink. Основные трудности представляет определение исходных данных для моделирования, которые можно получить только в процессе эксплуатации. Для применения нейронной сети в реальных устройствах РЗ необходимо разработать и унифицировать методы получения наборов обучающих данных, которые будут иметь достаточный диапазон и максимально приближены к реальным. Если получение этих данных осуществляется путем моделирования ТТ, то симуляция должна точно воспроизводить моменты начала и конца режима насыщения, а также форму сигнала на этом промежутке времени.

Важным моментом является учет нелинейных свойств магнитопровода, определяемых формой характеристики намагничивания. Хорошие результаты достигаются при применении кусочно-линейной аппроксимации средней характеристики намагничивания или же путем полноценного моделирования петли гистерезиса. Также необходимо правдоподобно отражать схему соединений ТТ, так как вторичные токи, поступающие в устройства защиты, различны для одиночных ТТ и групп ТТ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Khorashadi-Zadeh, H. Correction of Saturated Current Transformers Secondary Current Using ANNs / H. Khorashadi-Zadeh, M. Sanaye-Pasand // IEEE Transactions on Power De-livery. – 2005. – Vol. 21, Iss. 1. – P. 73–79. – URL: https://doi.org/10.1109/TPWRD.2005.858799.

2. Румянцев, Ю.В. Разработка в Matlab-Simulink искусственной нейронной сети для восстановления искаженной формы вторичного тока. Часть 1 / Ю.В. Румянцев, Ф.А. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2021. – № 6.

3. Румянцев, Ю.В. Разработка в Matlab-Simulink искусственной нейронной сети для восстановления искаженной формы вторичного тока. Часть 2 / Ю.В. Румянцев, Ф.А. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2022. – № 1.

В.В. Ефимов
Научный руководитель А.В. Стрижиченко

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ПЕТЛЕВОГО УЧАСТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СУТОЧНЫХ ГРАФИКОВ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Представлен анализ режимов работы петлевого участка сети 10 кВ с определением точки экономического потокораздела на основе суточных

графиков нагрузок потребителей 10 / 0,4 кВ. Расчет перетоков мощности и определение оптимальной точки размыкания сети определялись для моментов времени с интервалов в один час. На основе расчета потерь электроэнергии сделан вывод об экономической целесообразности определения точки оптимального потокораздела для размыкания петлевой схемы с целью уменьшения потерь энергии.

В настоящее время сети напряжением 6-10 кВ выполняются по петлевой схеме с целью снижения токов короткого замыкания и потерь в сетях. Следует отметить, что из-за различных характеров графиков нагрузки потребителей точка фактического и экономического потокоразделов перемещается с течением времени, также имеет место несовпадение точек фактического и экономического потокоразделов из-за неоднородности схемы. Поэтому важной задачей является сокращение потерь энергии в сетях за счет размыкания петлевой схемы в точке экономического потокораздела.

Нагрузка представлена различными видами потребителей, суточные графики нагрузки представлены на рис. 1.

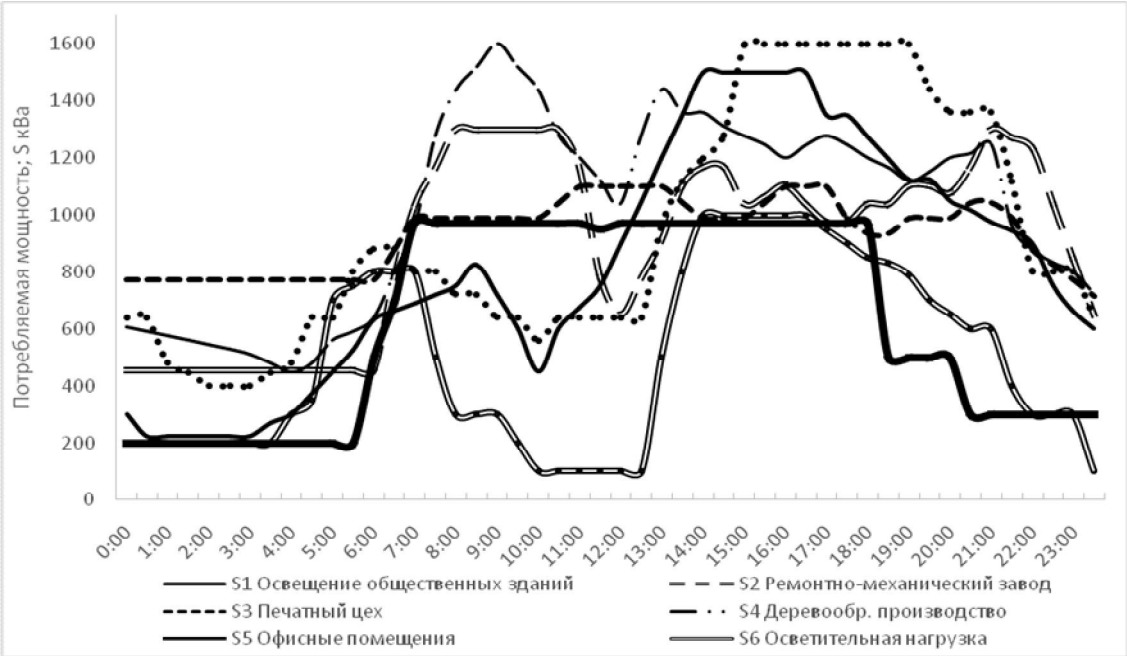

Рис. 1. Графики изменения потребления мощности во времени $S = f(t)$, кВА

Был произведен расчет двух режимов работы электрической цепи 10 кВ с фиксированной (рис. 2) точкой естественного потокораздела и оптимальной (рис. 2, рис. 3) точкой экономического потокораздела [3].

По методу моментов [3] был произведен расчет перетоков мощности для определения оптимальной точки потокораздела с интервалом времени в 1 час.

$$P_{T1\text{-}A} + jQ_{T1\text{-}A} = \frac{\sum\left(\dot{S}_j \cdot \dot{Z}_{j-T2}\right)}{\sum \dot{Z}_{T1-T2}}, \qquad (1)$$

где P_{T1-A} – переток активной мощности по головному участку Т1-А, МВт; Q_{T1-A} – переток реактивной мощности по головному участку Т1-А, МВар; $\dot{S}_j$ – полная мощность *j*-го потребителя, МВА; $\dot{Z}_{j-T2}$ – комплексно-сопряженное сопротивление участка цепи; $\sum \dot{Z}_{T1-T2}$ – сумма комплексно-сопряженных сопротивлений участков цепи. Переток мощности по головному участку Т2-G определяется аналогично.

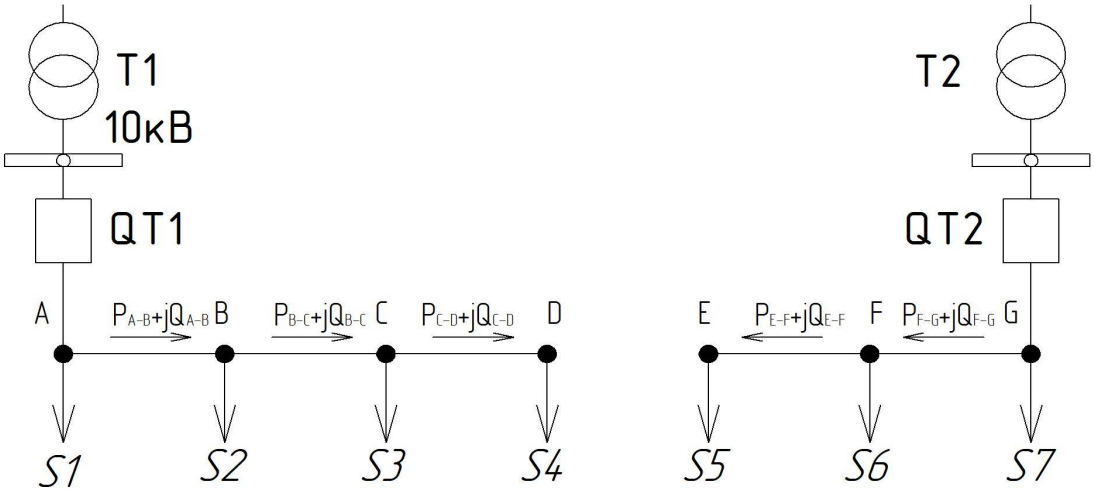

Рис. 2. Схема перетоков мощности с исключением участка D-E

Произведен расчет потерь в кабельной линии, кВт, представленный формулой [2]

$$\Delta P_{i-j} = 3 \cdot I^2_{\text{Фном}_{i-j}} \cdot R_{i-j} \cdot 10^{-3}, \tag{2}$$

где ΔP_{i-j} – потери активной мощности на участке $i-j$ кабельной линии, кВт; $I_{\text{Фном}_{i-j}}$ – ток на участке *v* кабельной линии, А.

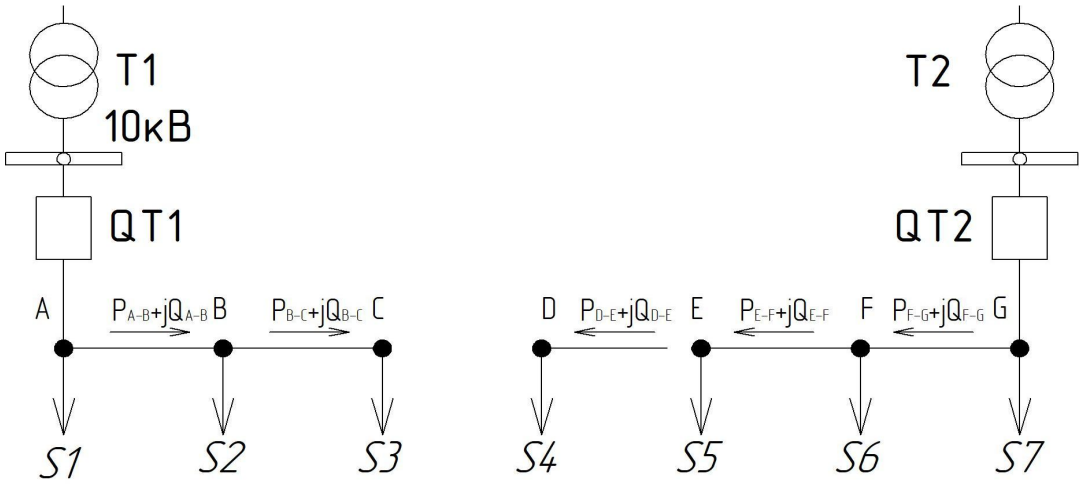

Рис. 3. Схема перетоков мощности с исключением участка C-D

Произведен расчет потерь энергии в кабельной линии [2], представленный формулами:

$$\Delta W_{i-j} = \sum_{n=1}^{24} \Delta P_{i-j} \cdot dt, \tag{3}$$

где ΔW_{i-j} – потери энергии на участке $i-j$ кабельной линии, кВт·ч;

$$\Delta W_{xx} = \Delta P_{xx} \cdot T \cdot \left(\frac{U_{\text{ср}}}{U_{\text{ном}}} \right)^2, \tag{4}$$

где ΔW_{xx} – потери холостого хода трансформатора, кВт·ч; T – время работы трансформатора, ч; $U_{\text{ср}}$ – среднее напряжение ВН трансформатора, кВ; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение ВН трансформатора, кВ;

$$\Delta W_{\text{наг}} = Кк \cdot \Delta P_{\text{ср}} \cdot T_{\text{р}i} \cdot Kf^2, \tag{5}$$

где $\Delta W_{\text{наг}}$ – нагрузочные потери трансформатора, кВт·ч; $Кк$ – коэффициент, учитывающий различие конфигураций графиков активной и реактивной нагрузки; $\Delta P_{\text{ср}}$ – потери мощности в силовом трансформаторе, кВт·ч; $T_{\text{р}i}$ – расчетное время наибольших потерь, ч; Kf^2 – коэффициент формы графика максимальной нагрузки;

$$\Delta W_T = \Delta W_{xx} + \Delta W_{наг}, \tag{6}$$

где ΔW_T – полные потери трансформатора, кВт·ч.

Итоговые потери энергии в линиях и трансформаторах сведены в табл.

Сводная таблица потерь электроэнергии на петлевом участке линии 10 кВ

Описание опыта	**Потери электроэнергии**					
	Переключения	**Суточные**		**Годовые**		**Итого годовые**
		Линии	**Трансформаторы**	**Линии**	**Трансформаторы**	
	Цикл	**ΔW, МВт·ч**	**ΔW, МВт·ч**	**ΔW, МВт·ч**	**ΔW, МВт·ч**	**ΔW, МВт·ч**
В режиме с естественной точкой потокораздела	–	5,101	0,95031	1860	347	2207
В режиме с оптимальной точкой потокораздела	8 циклов В-О	4,816	0,94139	1760	344	2104
Изменение потерь	–	0,285	0,00892	100	3	103

По результатам проведенных расчетов потерь электроэнергии можно сделать вывод об эффективности реализации оптимальных режимов, связанных с размыканием петлевой схемы в точке экономического потокораздела для уменьшения потерь энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок ПУЭ. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003.

2. Шведов, Г.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учеб. пособие для вузов / Г.В. Шведов, О.В. Сипачева, О.В. Савченко; под ред. Ю.С. Железко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 424 с.: ил.

3. Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. – Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2008. – 720 с. (серия «Высшее образование»).

А.С. Кузнецов
Научный руководитель Е.Г. Зенина

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ КОГЕНЕРАЦИИ В КОМПЛЕКСАХ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Системы малой генерации все чаще внедряются в малый бизнес, так как являются достаточно выгодными источниками электрической энергии и тепла. Все современные комплексы малой генерации имеют четвертую степень автоматизации, а значит, включают в себя все необходимые системы регулирования для поддержания стабильной работы подключенного оборудования [1]. Однако использование комплексов малой генерации только в целях получения электрической энергии нецелесообразно, так как КПД не будет превышать 50 %. Для увеличения КПД внедряют системы когенерации (вторичного использования вырабатываемого тепла). Данные системы относительно недороги и, чаще всего, поставляются вместе с установками малой генерации, например с газопоршневыми станциями.

На данный момент алгоритмы регулирования генерирующих установок комплексов малой генерации строится в зависимости от необходимого количества электрической энергии, а тепловая энергия является побочным продуктом, который используется вторично в том количестве, которое производят установки. Создание алгоритмов работы комплексов малой генерации, которые строятся в зависимости от совокупности необходимой тепловой и электрической энергии позволят расширить область применения данных комплексов.

Логика алгоритма заключается в сравнении текущих параметров генерирующего оборудования и параметров, необходимых потребителю, и распределении

команд на выработку необходимого количества электрической и тепловой энергии между всем генерирующим оборудованием, входящим в комплекс малой генерации. Для реализации данной идеи минимальный набор оборудования, входящего в комплекс, должен состоять из ГПУ (ГТУ, ДГУ) и подогревающего котла (электрического или газового). Предполагается, что после точной настройки алгоритма он сможет не просто подключать котлы, когда нужно увеличить производство тепловой мощности, а производить действия над всеми элементами генерации с целью оптимизировать работу комплекса при выработке необходимой потребителю тепловой и электрической мощности.

Данный алгоритм не является универсальным, так как зависит от типа генерирующего оборудования, входящего в комплекс малой генерации, и его количества, а также потребностей в выработке электрической и тепловой энергии. Но, несмотря на свою узкую направленность, он может способствовать внедрению комплексов малой генерации в некоторые области малого бизнеса и уменьшить срок окупаемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варганова, А.В. Комплексная модель системы электроснабжения с источниками малой генерации / А.В. Варганова // Электротехнические системы и комплексы. – 2021. – № 4 (53). – С. 69–71.

В.И. Козякин, Н.А. Сорокин, А.А. Баженова
Научный руководитель Н.В. Байдакова

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ» МЭИ» в г. Волжском

Электроэнергетика – раздел энергетики, обеспечивающий электрификацию страны на основе рационального расширения производства и использования электрической энергии. Важнейшим направлением является обеспечение надежности и безопасности объектов электроэнергетики, охрана труда и подготовка высококвалифицированного персонала. С помощью современных технологий, таких как виртуальная реальность (Virtual Reality) [1] и дополненная реальность (Augmented Reality) [2], осуществляется обучение персонала.

Эта технология позволит уменьшить документооборот предприятий, снизить травматизм и максимально снизить влияние человеческого фактора. С помощью специально разработанного программного обеспечения сотрудник может получать ряд визуальных и голосовых подсказок, облегчающих его работу, а также помогающих ему в опасных для его жизни и здоровья ситуациях.

На сегодняшний день данная разработка находится на стадии 6 по шкале УГТ: проведение экспериментальных разработок технологии [3].

Авторами проведен анализ рисков, составлена «Матрица рисков», показанная на рисунке. В данной матрице представлены следующие риски:

– удорожание технологии;
– хакерская атака;
– отторжение технологии;
– блокировка технологии;
– отсутствие связи.

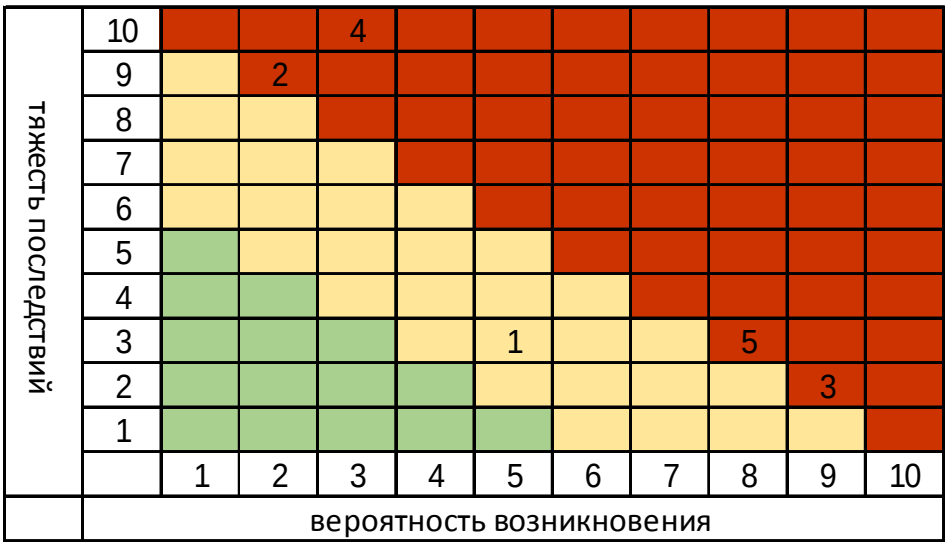

Рисунок. «Матрица рисков»

Цветовое оформление «Матрицы рисков» позволяет визуально оценить степень влияния представленных рисков в зависимости от вероятности и тяжести последствий.

Анализ представленной «Матрицы рисков» позволяет сделать следующие выводы:

– на данный момент должно пройти некоторое время, прежде чем технология полноценно выйдет на рынок;

– должны быть разработаны схемы защиты от хакерских атак, развито собственное производство, а также проведена подготовка персонала сетевых компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. https://www.vestnik-rushydro.ru/articles/2-fevral-2022/tsifrovizatsiya/obuchenie-v-vr-i-nayavu/

2. https://www.rosneft.ru/press/news/item/205177/

3. Приказ 11.07.2017 № ГТ-57/14вн. Методика определения уровней готовности технологии в рамках проектов федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы».

М.В. Попова, Д.С. Ковровцева
Научный руководитель Е.Г. Зенина

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В работе рассмотрены предпосылки к переходу эксплуатационного обслуживания энергооборудования от Единой системы планово-предупредительных работ к ремонтам по фактическому состоянию. Рассмотрена система мониторинга технического состояния изоляции кабельных линий CDM Cables Diagnostics Monitor, ее особенности применения и технические характеристики.

Согласно энергетической стратегии России на период до 2030 года, одним из приоритетных направлений долгосрочного развития отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК) является формирование и систематизация опыта внедрения цифровых решений на объектах энергетики. На данный момент разработан план мероприятий по реализации Национальной инициативы [1], который предусматривает поэтапное внедрение микрогенерации, гибких и надежных распределительных сетей нового поколения, переход на цифровые системы мониторинга и учета на различных уровнях в период с 2018 по 2035 год.

С середины 50-х годов XX в. для профилактики и выявления дефектов в энергоустановках использовалась Единая система планово-предупредительных работ. Согласно установленному порядку, выполнялись мероприятия по замене и ремонту отдельных узлов машин, чем и достигались проектные и расчетные значения технических показателей. Такой подход обеспечивал длительную надежную и экономичную работу оборудования. Однако в современных условиях постоянного роста энергопотребления парк оборудования динамично расширяется и усложняется, при этом увеличивается доля устройств, исчерпавших свой нормативный ресурс, морально и физически изношенных. Использование Единой системы планово-предупредительных работ становится все менее эффективным ввиду низкой экономической обоснованности темпов и состава техобслуживания, плановых ремонтов.

В рамках решения данной проблемы было выпущено распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2017 г. № 1209р, согласно которому устанавливается необходимость перехода от плановых ремонтов к ремонтам по фактическому состоянию.

В качестве эффективного и прогрессивного решения в рамках данного перехода можно рассматривать построение систем онлайн-мониторинга и диагностики на базе цифровых технологий. Это позволит добиться при планировании ремонтных мероприятий учета следующих факторов:

– естественный эксплуатационный износ под действием нормативных вибрационных, тепловых и прочих нагрузок;

– фактическое состояние оборудования в режиме реального времени;

– интенсивность нагрузки и выработки.

Необходимо отметить, что при использовании Единой системы планово-предупредительных работ обеспечивался лишь учет расчетных нагрузок. Также с использованием системам мониторинга существенно упрощается решение технико-экономических задач.

Любая система технического диагностирования включает в себя комплекс датчиков, контролирующих функциональные узлы оборудования и программных средств. В качестве примера можно рассмотреть мониторинговую систему CDM Cables Diagnostics Monitor, предназначенную для диагностирования технического состояния изоляции кабельных линий (КЛ) напряжением до 35 кВ [2].

Согласно источнику [3], функционал данной многоканальной системы мониторинга позволит снизить затраты на диагностическое обслуживание каждого кабеля (за счет контроля 6–45 кабельных линий), отстроиться от наводимых на контролируемое оборудование ВЧ-помех, а также с помощью метода регистрации и анализа частичных разрядов обеспечить постоянный контроль состояния КЛ во всех режимах работы. Для применения указанного метода на каждой из контролируемых КЛ, на поводках заземления концевых муфт необходим монтаж первичных датчиков частичных разрядов RFCT-7. Также CDM позволяет систематизировать информацию об эксплуатационных данных, что позволит генерировать точные диагностические прогнозы относительно дальнейшего обслуживания КЛ.

В рассматриваемой системе мониторинга реализованы интерфейсы связи RS-485 (гальванически изолированный), сетевой интерфейс Ethernet для работы в локальной вычислительной сети, а также интерфейс USB для взаимодействия с переносными PC.

Таким образом, онлайн-мониторинг позволит продлить срок работы оборудования, о чем свидетельствует ряд исследований последних лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2018 г. № 830-р «План мероприятий («дорожная карта») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет» [Электронный ресурс]. – URL: http://static.government.ru/ media/files/D3K5ZCtdXVPzDhAC8MpVLA6fBZQRZvqm.pdf

2. Котеленко, С.В. Современные решения диагностики и мониторинга высоковольтного оборудования / С.В. Котеленко // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2021. – № 12.

3. Руководство по эксплуатации. Система мониторинга состояния и диагностики дефектов изоляции 30 кабельных линий CDM-30 (CDM-15). Пермь: ООО «Димрус». – 59 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Л.А. Чернобаева, П.Д. Меньшиков
Анализ использования технологий AR/VR в энергетике…….……..... 3
Е.В. Илюхина, С.С. Мащенко, Ю.П. Сашникова, М.С. Иваницкий
Надежность эксплуатации основного оборудования ТЭЦ……..……...…… 4
А.Р. Васильев, М.С. Иваницкий
Расчет выбросов парниковых газов при сжигании органического
топлива на ТЭС…...……...……..….. 6
В.Ю. Чанин, Е.Ю. Дубовикова
Влияние мирового энергетического кризиса на глобальную экономику…….. 7
А.Р. Васильев, М.С. Иваницкий
Технико-экономический анализ выбора методов ограничения
выбросов парниковых газов в атмосферу……..11
Д.С. Новикова, Д.С. Агарков, И.А. Болдырев
Анализ методов оптимизации межремонтных периодов
энергооборудования……...……. 13
Т.А. Аввакумов, М.В. Одоевцева
Исследование возможности совместного использования
солей алюминия и железа при водоподготовке…...…….……..... 15
А.В. Остапчук, М.Е. Шевченко, А.А. Полковников
Анализ сигналов технологического процесса..…….16
О.И. Желяскова, Ш.М. Милитонян, Е.Г. Зенина
Анализ особенностей распределенной энергетики….....… 18
К.С. Михайлова, Н.В. Байдакова
Способ повышения эффективности выработки электроэнергии
при помощи солнечных панелей и волновых установок…….....……... 20
В.Ю. Жалнина, Е.Г. Зенина
Сравнительный анализ цифровых устройств, предназначенных
для определения мест повреждения на высоковольтных линиях
напряжением 110 кВ и выше…….……..... 22
Н.С. Хлюстов, К.В. Евсеев, И.А. Болдырев
Восстановление прореженного сигнала технологического параметра
с помощью многослойного персептрона……..……...……. 25
М.А. Индолов, Н.В. Байдакова
Дополненная реальность в электроэнергетике.……..... 27
С.А. Кострюков, Ю.В. Гусева
Результаты моделирования рабочих характеристик ротора Савониуса……..... 28
С.А. Кострюков, Ю.В. Гусева
Профилирование лопастей ротора Савониуса…….. 30

М.В. Попова, В.Ю. Жалнина, Е.Г. Зенина
Применение искусственных нейронных сетей в релейной защите……... 33
В.В. Ефимов, А.В. Стрижиченко
Оптимизация режима работы петлевого участка электрической сети 10 кВ
в зависимости от суточных графиков нагрузки потребителей...…… 34
А.С. Кузнецов, Е.Г. Зенина
Автоматизация систем когенерации в комплексах малой генерации…… 38
В.И. Козякин, Н.А. Сорокин, А.А. Баженова, Н.В. Байдакова
Анализ внедрения технологии дополненной реальности
в электроэнергетический комплекс…….....…..……..... 39
М.В. Попова, Д.С. Ковровцева, Е.Г. Зенина
Цифровые методы контроля эксплуатационного состояния
энергооборудования……..... 41