



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

**ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Выпуск IV

Материалы Четвертой Международной научной конференции

(Тамбов, 21 декабря 2022 г.)

Научное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

УДК 658.26
ББК 31.3
Ц75

Председатель конференции – Д. Ю. Муромцев

Редакционная коллегия:

Т. И. Чернышова – *ответственный редактор*,
С. Н. Баршутин – *зам. ответственного редактора*,
А. Н. Грибков, А. В. Кобелев, А. П. Пудовкин,
Н. Г. Чернышов, С. В. Фролов, С. П. Москвитин

Ц75 **Цифровая трансформация** в энергетике. Вып. IV [Электронный ресурс] : материалы Четвертой Международной научной конференции / отв. ред. Т. И. Чернышова ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 6,7 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2565-4

Представлены тезисы докладов участников Четвертой Международной научной конференции «Цифровая трансформация в энергетике», в которых раскрываются вопросы эффективного использования энергоресурсов, построения эффективных систем переработки, передачи и хранения энергии, применения нетрадиционных источников энергии, разработки энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий, развития производственных отношений на основе цифровых подходов и средств, отражены правовые аспекты, регулирующие отношения в области энергетике.

Материалы сборника могут быть полезны студентам-исследователям, а также инженерно-техническим работникам различных отраслей промышленности.

УДК 658.26
ББК 31.3

Материалы предоставлены в электронном варианте, организаторы конференции и редакция ответственности за содержание предоставленных авторами материалов не несут.

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2565-4

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЦИФРОВИЗАЦИИ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Л. Н. Патрикеев

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В статье рассматриваются три взаимосвязанные проблемы, которые сегодня актуальны в энергетике:

- мир, в котором мы живем;
- атомная энергетика;
- элементная база цифровизации.

МИР, В КОТОРОМ МЫ ЖИВЕМ

В мире развернулся процесс глобализации, который подразумевает свободный поток людей, капиталов, товаров, технологий, информации и ГЛОБАЛЬНУЮ конкуренцию. С нашим холодным климатом связана высокая стоимость капитального строительства и большая энергоемкость отечественной продукции. Поэтому наши продукты никогда не будут конкурентоспособны. Стратегически правильно выходить на мировой рынок с товарами, которые не умеют делать в других странах (а не только с невозполнимыми природными ресурсами). На пятом технологическом укладе (по Н. Д. Кондратьеву и С. Ю. Глазьеву [1]) с 1970 по 2010 годы технологическими лидерами стали США и Япония.

Ядром этого технологического уклада была Электронная промышленность, Вычислительная, Оптико-волоконная техника, Программное обеспечение, Телекоммуникации, Робототехника, Производство и переработка газа и Информационные услуги. А Ключевым фактором – микроэлектронные компоненты. Преимуществом этого технологического уклада по сравнению с предшествующим являются индивидуализация производства и потребления, повышение гибкости производства, преодоление экологических ограничений, энерго- и материалопотребления, на основе КАЛС технологий.

Формирующим ядром нового, 6-го технологического уклада (2011 – 2050 гг.) будут – Нанотехнологии, Молекулярная биология и Термоядерная энергетика.

С развитием информационных технологий на смену прежним капиталистическим догмам приходит новая парадигма поведения капиталиста или предпринимателя. Из статьи в статью кочуют слова о постиндустриальном обществе, в котором велика роль секторов услуг и производства знаний по сравнению с промышленностью и сельским хозяйством.

Еще в 2011 году я говорил и писал об этом [2]. Посмотрим, например, на США – страну наиболее близкую к постиндустриальной модели – там из 100 работающих двое (2) кормят все общество, примерно 10 заняты в производстве, примерно 13 управляют жизнью общества. Остальные 75 (!) работают в сфере услуг и производства знаний!!!

Сейчас каждый год добывается больше энергоносителей, чем природа создала за миллион лет. Человечеству предстоит пережить один из самых крутых поворотов в своей истории. Здесь можно надеяться только на науку и новые технологии, на более высокий уровень ответственности всего мирового сообщества.

Рассмотрим отечественную действительность. За последние годы наша молодежь – аспиранты, студенты и не только старшеклассники буквально выросли с цифровыми технологиями и можно ожидать, что через 5 – 10 лет они принесут в общество гиперавтоматизацию, позволяющую почти без вмешательства человека идентифицировать, проверять, оптимизировать и автоматизировать бизнес-процессы, предлагать новые и отменять неактуальные.

В основе гиперавтоматизации лежат такие экспоненциальные технологии, как искусственный интеллект (ИИ), программная роботизация, цифровые двойники, виртуальная и дополнительная реальность, Интернет вещей [3], а также инструменты создания приложений low-code/no-code. К 2025 – 2030 годам аналитики ожидают всплеск интереса к гиперавтоматизации, благодаря которой большинство решений в компаниях будут приниматься ИИ в режиме реального времени при максимальной автономности бизнес-процессов, что сулит кардинальное повышение их эффективности. Участие человека минимизируется – за людьми останется определение общей стратегии, работа над новациями, взаимодействие с клиентами и контроль решений, принимаемых ИИ [4].

Отдельная черта современного мира, в котором мы живем, это не только революционная цифровизация, но и изменения в технологиях, окружающей среде [5] и в человеке, но это – тема отдельного обсуждения.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Как видно из рис. 1 и как всем хорошо известно, современная мировая энергетика воплощает в себя две независимые ветви – Традиционную и Нетрадиционную (ТЭ и НЭ) [1].

В настоящее время суммарное потребление энергии в мире равно примерно 16 ТВт. При этом 80...82% этой энергии получают от тепловых электростанций с высокой долей эмиссии CO₂ (нефть, уголь и природный газ). К 2050 году глобальное потребление энергии составит 25...30 ТВт. Приэтом отметим, что по оценкам экологов [2] критический для природы уровень концентрации CO₂ наступит уже при 20 ТВт.

Основой современной энергетике являются тепловые электростанции (ТЭС), работающие на органическом топливе. К преимуществам ТЭС можно отнести:

- возможность строительства практически в любом месте;
- производство энергии не зависит от сезона, а только от доставки топлива;
- средняя цена 1 кВт.ч энергии на ТЭС примерно 4...6 центов;
- срок строительства ТЭС меньше, чем АЭС.

Отметим, что ТЭС – самые экологически грязные так как их КПД не превышает 40%. Кроме того, ТЭС в отличие от ГЭС не покрывают суточные перепады энергии.

Раздел энергетике, использующий энергию естественного движения воды в реках или приливное движение воды в морях и океанах, относят к гидроэнергетике, основу которой составляют ГЭС и ПЭС. В мировом энергетическом балансе они занимает только 2% (0,3 ТВт), а атомная около 7% (0,95 ТВт). При этом средняя цена гидроэнергии составляет 3–4, а атомной 6–7 центов за 1 кВт.ч.

Сегодня в мире работают более 400 атомных электростанций малой (до 300 МВт), средней (300...700 МВт) и высокой мощности (более 700 МВт). Все они вместе вырабатывают до 7% производимой в мире энергии (в США примерно 95 млн кВт, во Франции – 60, в Японии – 40, в России – 22 млн кВт).

За последние 15 лет – со дня создания (1 декабря 2007 года) Госкорпорации «Росатом» ею построены 11 блоков в России и 6 – за рубежом. Идет строительство блоков в 8 странах, а в портфеле заказов – договоренности на сооружение 34 [3]. На пресс-конференции в честь 15-летия «Росатома» его гендиректор А. Лихачев отметил, что Госкорпорация входит в тройку лидеров на рынке услуг ядерного топливного цикла: первое место по обогащению урана, второе по добыче и третье – по фабрикации топлива. В 2020 году на Чукотке введена в промышленную эксплуатацию первая в мире плавучая атомная теплоэлектростанция – ПАТЭС «Академик Ломоносов». На воду спущен универсальный атомный ледокол «Якутия». Он стал четвертым после «Арктики», «Сибири» и «Урала».

Уже два каботажных рейса проходят по северному морскому пути в этом году (на Дальний Восток везут строительные мощности и все, что необходимо для промышленных проектов, а обратно – морепродукты и рыбу). И всего за 2 годовых рейса мы имеем экономику по стоимости перевозок контейнера, сопоставимую с железнодорожным транспортом!

За 15 лет пройден огромный путь. А главное – не потерял тот фундамент, который был заложен в первые годы Атомного проекта (ЗК – Курчатов, Келдыш, Королев) и другие наши корифеи). Кстати, у главного входа в НИЯУ МИФИ сегодня выстроились бронзовые, скульптурные фигуры Курчатова, Харитона и Зельдовича (все – трижды Герои Соцтруда, они слева от входа в университет), а справа от входа – 6 Нобелевских лауреатов – профессоров – основателей МИФИ – Басов, Тамм, Семенов, Черенков, Сахаров и Франк!

Отдельно А. Лихачев уделил внимание участию России в международном проекте ИТЕР. Без России реализовать этот проект невозможно. Наша страна поставила туда не только саму идеологию Токомака (Басов, Прохоров, Велихов, Крохин, Феоктистов), но и сверхпроводники и гиратроны. Совсем недавно на площадку ИТЕР были отгружены уникальные сверхмощные магниты. В этом уникальном международном проекте представлены наши партнеры из Франции, США, Китая, Японии, Кореи,

12 декабря 2022 года на праздничном международном форуме в НИЯУ МИФИ, посвященном 100-летию Н. Г. Басова, который первым в мире предложил идею Лазерного Термоядерного Синтеза [4] с блестящей лекцией выступил проф. С. Г. Гаранин (РФЯЦ-ВНИИЭФ ГК «Росатом»). Проводимые под его руководством работы по ЛТС позволяют достигать в экспериментах полезную мощность на установке с Коэффициентом 1,2!

В тот же день на нашем заседании была оглашена сенсационная новость из Ливерморской национальной лаборатории, где при 1500 МВт затраченной для поджога термоядерной «вспышки», получили полезную выходную мощность в 1,5 раза более высокую! Это достижение вселяет уверенность, в реализацию проекта ИТЭР.

Несколько слов о цифровизации в атомной энергетике.

На 17 Международной конференции для молодых ученых и специалистов «Новые материалы»: Перспективных технологии меня пригласили выступить с докладом «Нанотехнологии в атомной технике». На всех форумах по многочисленным проблемам атомной отрасли постоянно большое внимание уделяется цифровизации, ИИ, роботизации и оценкам надежности и безопасности. В атомной отрасли нет проблем, которые не моделировались бы с использованием самых современных суперкомпьютеров. Все, разрабатываемые «Квантом».

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЦИФРОВИЗАЦИИ

Тематика конференции своевременна и актуальна. В докладе [1] автор, применительно к атомной энергетике, основное внимание уделил элементной базе (ЭБ) цифровизации.

Отечественная ЭБ базируется в основном на интегральных схемах, выпускаемых заводами «Микрон» и «Ангстрем».

В современных условиях оба эти предприятия существенно уступают зарубежным поставщикам ЭБ. На 75...80% они зависят от поставок импортного технологического оборудования и на 80...90% от необходимых реактивов.

Эти проблемы резко обострились из-за перманентных запретительных мер, связанных с СВО по отношению к Украине.

Определенный просвет в 2023 году открывается в связи с передачей ответственности за электронную ЭБ от Министерства промышленности и торговли (Д. В. Мантуров) к Госкорпорации «Росатом» (А. Е. Лихачев).

Однако и в этом случае надежды на скорое расширение производства химической промышленности и технологического микро и нанoeлектронного приборостроения оставляют желать лучшего.

Отмеченные выше обстоятельства скажутся и на перспективах перехода от 45...90 нм отечественных технологий к 24...3 нм иностранным технологиям.

Несмотря на отмеченные проблемы цифровизация Энергетических систем, будет неуклонно развиваться, Прежде всего за счет внедрения систем ИИ и робототехники.

С примерами задач, решаемых в атомной отрасли, можно ознакомиться в новейших публикациях [2, 3].

Библиографический список

1. Малинецкий, Г. Г. Ключи от будущего / Г. Г. Малинецкий. – М. : Бином, 2014. – 304 с.
2. Патрикеев, Л. Н. Альтернативная энергетика : лекции / Л. Н. Патрикеев. – Тамбов : Актуальные проблемы энергосбережения, 2014. – С. 33 – 48.
3. Жидков, Д. Л. Переход от IoT к IoNT. Роль нанотехнологий в реализации важнейших национальных проектов России : сб. ст. студентов / Д. Л. Жидков; под ред. проф. Л. Н. Патрикеева. – М. : НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 103 – 106, 122 – 136.
4. Волков, Д. «Умная» гиперавтоматизация? / Д. Волков. – М. : Открытые системы, 2022.
5. Потемкин, А. EuRISAA. Europe, Russia, India, China, America, Africa / А. Потемкин. – Т. 1. Модель мирного будущего; Т. 2. Мировоззренческая экологическая революция. – URL : www.eurisa.a.
6. Патрикеев, Л. Н. Нанотехнологии и наноматериалы в атомной технике / Л. Н. Патрикеев // Роль нанотехнологий в реализации важнейших национальных проектов России : сб. статей ст. НИЯУ МИФИ. – М. : НИЯУ МИФИ, 2020. – С. 6 – 16.
7. Андрианов, А. А. Информационные системы и базы данных МАГАТЭ. Аналитический отчет / А. А. Андрианов, А. В. Пономарев, П. Б. Птицын. – М. : ЦИАР, 2022. – 158 с.
8. Журавлев, И. Б. Атомные электростанции средней мощности. Аналитический отчет / И. Б. Журавлев, П. Б. Птицын. – М. : ЦИАР, 2022. – 78 с.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МУП «ТАМБОВТЕПЛОСЕРВИС» г. ТАМБОВА

Д. В. Корпусов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: awesome009@yandex.ru)*

Муниципальное унитарное предприятие «Тамбовтеплосервис» (далее МУП «ТТС») создано 03.03.2013 г. в результате реорганизации в форме выделения из МУП «Тамбовинвестсервис». Учредителем и собственником имущества МУП «ТТС» является муниципальное образование – город Тамбов в лице администрации города Тамбова.

МУП «ТТС» является ресурсоснабжающей организацией, основным видом деятельности которой является производство и сбыт потребителям города Тамбова тепловой энергии на нужды отопления и горячего водоснабжения, эксплуатация объектов городского теплового хозяйства.

На текущий момент предприятие эксплуатирует: 65 котельных, 68 индивидуальных тепловых пункта (ИТП), 17 центральных тепловых пункта (ЦТП) и тепловые сети общей протяженностью 129,30 км в 2-х трубном исчислении, в том числе от собственных котельных – 126,15 км; от источника теплоснабжения ф-ла ПАО «Квадра» – «Тамбовская генерация» – 3,12 км.

Основными потребителями тепловой энергии являются:

- население (70%);
- бюджетные и социально-значимые потребители (20%);
- прочие (10%).

С 2013 по 2022 гг. проводились модернизационные мероприятия касающиеся реконструкции существующих котельных и сетей теплоснабжения от них.

Результатами модернизационных мероприятий является реализация программы «Закрытие подвальных котельных» с установкой модульных и достижение на 33-х котельных уровня автоматизации «без постоянного присутствия персонала».

Целью реализации мероприятий по реконструкции или модернизации существующих тепловых сетей является снижение потерь в тепловых сетях, уменьшение расходов на ремонт и обслуживание тепловых сетей, создание необходимых условий для оптимизации гидравлического режима. Мероприятия предусматривают замену тепловых сетей с использованием современных материалов (ППУ) и технологий.

Мероприятия инвестиционной программы развития:

- строительство, реконструкция или модернизация объектов в целях подключения потребителей;
- строительство новых объектов системы централизованного теплоснабжения, не связанных с подключением новых потребителей;
- реконструкция или модернизация существующих объектов в целях снижения уровня износа существующих объектов и(или) поставки энергии от разных источников;
- вывод из эксплуатации, консервация и демонтаж объектов системы централизованного теплоснабжения.

**1. Плановые значения показателей,
на основе реализации мероприятий инвестиционной программы**

№ п/п	Наименование показателя	Ед. изм.	Текущий период	Плановые значения				
			2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.	
1	Удельный расход электрической энергии на транспортировку теплоносителя	кВт·ч/м ³	14,02	13,99	13,98	13,95	13,91	
2	Удельный расход условного топлива на выработку единицы тепловой энергии и(или) теплоносителя	т.у.т./Гкал	0,169	0,169	0,169	0,168	0,168	
3	Износ объектов системы теплоснабжения с выделением процента износа объектов, существующих на начало реализации Инвестиционной программы	%	75,11	74,99	74,94	74,79	74,62	
4	Потери тепловой энергии при передаче тепловой энергии по тепловым сетям	Гкал в год	70 331,53	69 557,23	69 499,13	69 332,35	69 151,22	
		% от полезного отпуска тепловой энергии	12,74	12,74	12,74	12,74	12,74	
5	Потери теплоносителя при передаче тепловой энергии по тепловым сетям	тонн в год для воды	74 468,31	73 648,47	73 586,95	73 410,36	73 218,58	

Библиографический список

1. МУП «Тамбовтеплосервис» [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.muptts.ru>. (дата обращения: 07.12.2022).

АСПЕКТЫ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ

В. П. Захаров

*Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Уральск, Республика Казахстан*

Актуальность темы. Электрическая энергия это – товар и она должна иметь соответствующее качество в рыночной экономике. Качество электроэнергии оценивается технико-экономическими показателями, учитывающими ущерб вследствие порчи материалов и оборудования, расстройств технологического процесса, ухудшения качества выпускаемой продукции, снижения производительности труда, определяют технологический ущерб. Ущерб от некачественной электроэнергии, который характеризуется увеличением потерь электроэнергии, выходом из строя электротехнического оборудования, нарушением работы автоматики, телемеханики, связи, электронной техники, представляет собой электромагнитный ущерб.

Цель работы – повышение качества электроэнергии в системах электроснабжения

Задачи исследования:

1. Разработка перспективных мероприятий на повышение качества электроэнергии в системах электроснабжения
2. Создание системы автоматизированного мониторинга

Широкое распространение электронных устройств, включающих в себя оборудование цифровых информационных технологий, силовую электронику (регулируемые приводы, программируемые логические контроллеры, энергоэффективные осветительные устройства), приводят к полному изменению природы электрических нагрузок [1]. Такие нагрузки одновременно являются и главными причинами, и главными объектами воздействия проблем качества электроэнергии. Из-за своей нелинейности эти нагрузки приводят к искажению формы напряжения Рис. 1.

Поскольку идеального соответствия номинальным параметрам добиться невозможно, в нормировании показателей предусмотрены отклонения, соответствующими принятым в Российской Федерации и согласованные с Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации определенным нормам качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

Это согласуется с требованиями, чтобы поставщики электроэнергии несли ответственность за обеспечение качества электроэнергии, поставляемой потребителям, а изготовители электроустановок и электротехнического оборудования и потребители, приобретающие его, несли ответственность за то, чтобы указанное оборудование и установки при вводе в эксплуатацию не создавали недопустимых кондуктивных электромагнитных помех в сетях питания.

Произошло некоторое ужесточение требований что, в свою очередь привело к тому, что средства измерения показателей качества электрической энергии, что существовали до введения данного ГОСТ, не удовлетворяют новым требованиям. Это в свою очередь способствует росту необходимости создавать новые средства измерения показателей качества электрической энергии, которые будут соответствовать новым стандартам [2],

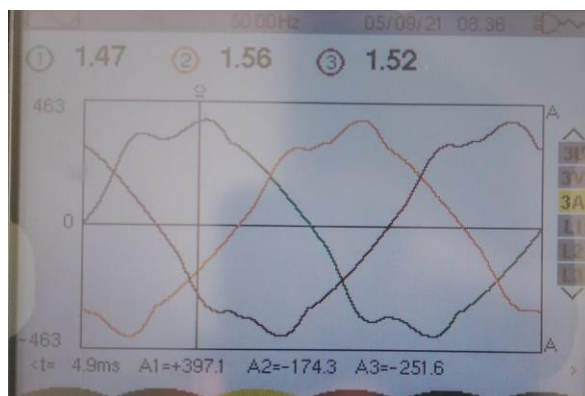


Рис. 1. Данные анализатора качества электроэнергии

Диагностический контроль должен осуществляться при выдаче и проверке выполнения технических условий на присоединение потребителя к электрической сети, при контроле договорных условий на электроснабжение. При диагностическом контроле измеряют как нормируемые, так и ненормируемые ПКЭ, а также токи и их гармонические и симметричные составляющие и соответствующие им потоки мощности.

При анализе возможностей и тенденций развития специализированных современных средств измерения рассматривается целесообразность применения multifunctional измерительных комплексов, совмещающих в себе функции телемеханики, учета электроэнергии, контроля КЭ, регистрации аварийных событий, векторных измерений и т.д.

Библиографический список

1. Янукович, Г. И. Качество электрической энергии и способы его повышения : учебное пособие / Г. И. Янукович. – Минск : БГАТУ, 2008. – 70 с.
2. Киселев, Б. Ю. Сравнительный анализ стандартов качества электрической энергии ГОСТ 13109–97 и ГОСТ 32144–2013 / Б. Ю. Киселев // Молодой ученый. – 2016. – № 20(124). – С. 155-157.

ТОКОВАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ В ШИНАХ С ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ

А. Н. Кагдин, А. В. Кобелев, Ю. Н. Демин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: 79027222272@ya.ru)*

В электрических трансформаторных подстанциях большинство токопроводящих магистралей и соединений выполнено преимущественно шинопроводами. В своем большинстве шинопроводы, ввиду сложных электрических коммуникаций, подвергаются различного рода геометрическим изгибам, в своем 90° изгибы (табл. 1).

Тепловизионная съемка показывает, что шинопровод нагревается неравномерно. Очаг теплового излучения сконцентрирован именно на внутренней стороне изгиба, что отчетливо можно наблюдать на рис. 1.

1. Процентное соотношение геометрических изгибов шинопроводов

Угол изгиба, °	60	90	120	Полукруглый изгиб
Процентное соотношение, %	9	72	14	5

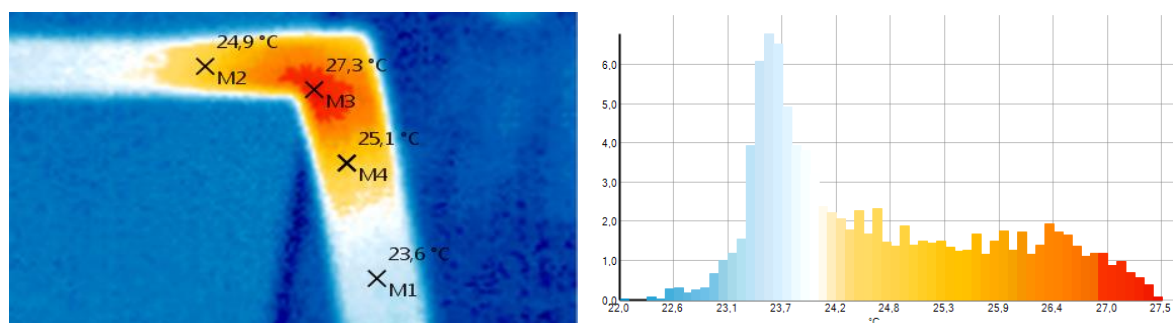


Рис. 1. Тепловизионный снимок и температурная диаграмма модели изогнутого шинопровода

Компьютерное моделирование в программе ANSYS говорит о том, что плотность тока возрастает непосредственно в основании геометрических неоднородностей.

В качестве примера рассмотрена шина, изогнутая под углом в 120° (рис. 2). Плотность тока при установившемся режиме сильно возрастает на внутренней части изгиба, в то время как на внешней части сильно меньше. Таким образом, максимальная плотность тока составляет $27,3 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$, при этом на внешней части изгиба плотность тока падает до $17,4 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2$.

Также подобный эксперимент проводился с аналогичными шинами, но под иными изгибами, а именно: 90° , 60° и полукруглый изгиб. Результаты токовой интенсивности представлены в табл. 2.

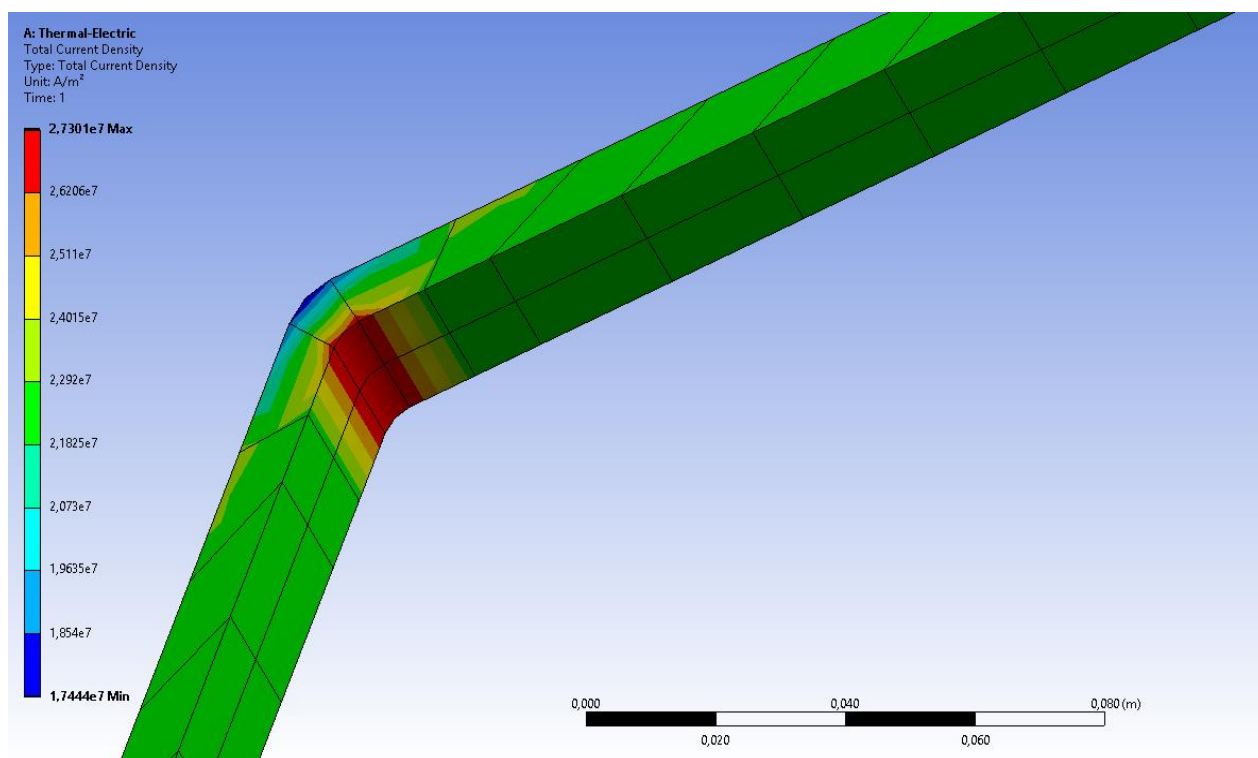


Рис. 2. Плотность тока в шинопроводе, изогнутом под 120°

2. Результаты токовой интенсивности

Изгиб шинопровода	Прямая шина	Полукруглый изгиб	Угол изгиба 120°	Угол изгиба 90°	Угол изгиба 60°
Токовая интенсивность	1	1,02	1,19	1,64	1,8

Библиографический список

1. Связь критериев прочности проводников с механизмами электромагнитного разрушения / В. М. Иванов, А. В. Кобелев, А. Н. Кагдин, М. Н. Решетов // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : материалы IV Всерос. молодежной науч. конф., Тамбов, 19–20 декабря 2018 года. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 104–105.

2. Моделирование токовой интенсивности в шинопроводах низкого напряжения / А. В. Кобелев, А. Н. Кагдин, М. Н. Решетов, А. С. Ступников // Энергетика. Проблемы и перспективы развития : материалы IV Всерос. молодежной науч. конф., Тамбов, 19–20 декабря 2018 года. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 112–113.

OPTIMIZATION APPROACHES TO ENERGY STORAGE IN FREESTANDING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

O. Belaroussi, V. F. Kalinin

*Tambov State Technical University, Tambov, Russia
(Oussama.belaroussi.47@gmail.com)*

Solar energy is recommended as part of the global movement toward decarbonization. Reconfiguring the network and adding battery energy storage systems (BESS) simplifies solar power integration and enhances system load ability, prolonging the usage of existing equipment [1]. MPPT for PV systems must be effective. Following the MPP may enhance the solar system's efficiency. To reduce operating costs and maximize performance, researchers are using MPPT algorithms in both transient and steady-state regimes [2]. P&O and/or hill climbing and incremental conductance (INC) are popular MPPT techniques [3]. The P&O and INC approaches sometimes provide erroneous findings. Artificial techniques like the fuzzy logic controller (FLC) have gained popularity due to their simplicity, high ability with defective inputs, lack of a precise mathematical model, and ability to handle nonlinearity. FLC is an efficient MPPT controller. We integrated our MPPT technology to the PV battery storage system.

Figures 2, 3, and 4 depict, respectively, the suggested solar irradiance, boost current under variable irradiance, and charge voltage response of the three proposed approaches. Figures 5, 6, and 7 depict, respectively, the effects of varying irradiance on the battery current and voltage as well as the reactions of panel power utilizing the three techniques. Figure 8 depicts the status of the battery's charge.

The findings demonstrate that FLC MPPT is very successful and is able to overcome the limitations of prior studies with its quicker reaction and reduced oscillation. In addition

to the PV system, a battery energy storage system (BESS) is used to provide a stable and reliable system by supplying load. The storage can react to loads for a brief period of time when the PV system is unable to deliver loads. Moreover, the use of PV/battery systems controlled by INC or P&O Methods is useful by using time (quickest response), but the effectiveness of FLC is more useful and improves the power quality of the power system, which has an effect on the state of the battery's charge in the case of discharge, saturation, and when the battery is fed by PV.

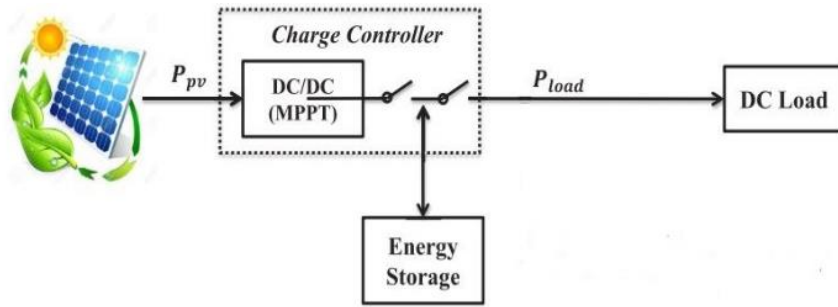


Fig. 1. Typical isolated PV-battery energy system

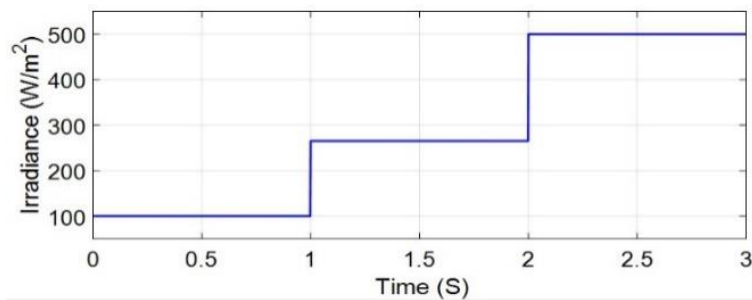


Fig. 2. Solar Irradiance

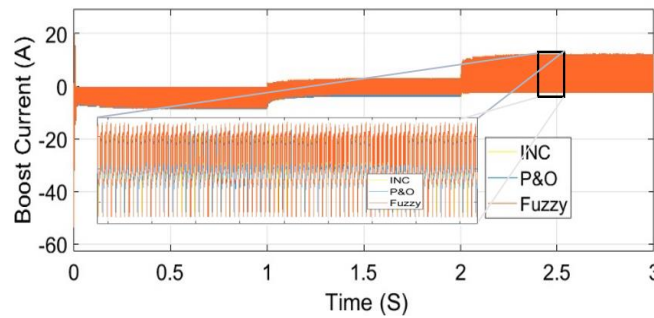


Fig. 3. Boost Current

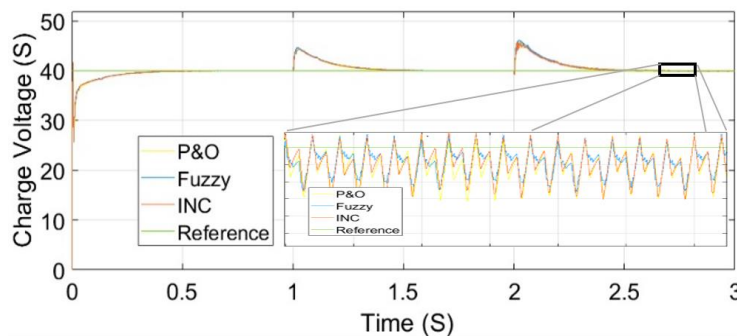


Fig. 4. Charge Voltage

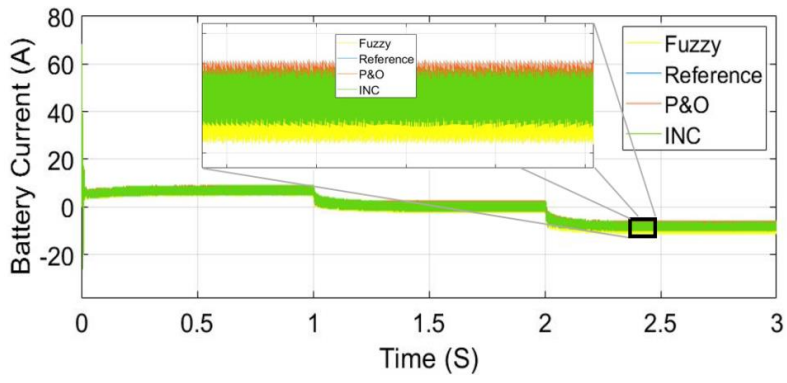


Fig. 5. Battery Current

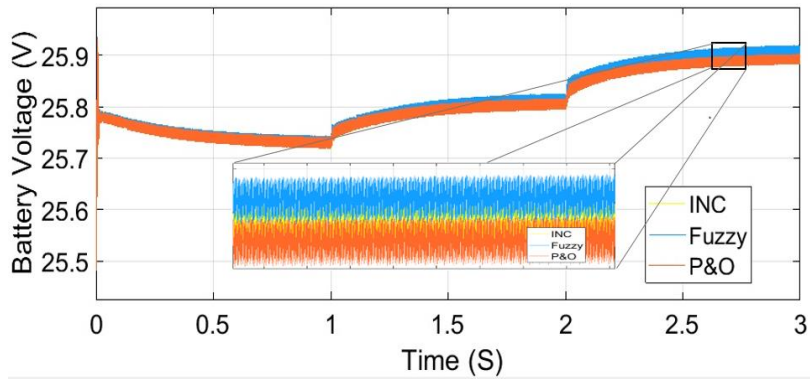


Fig. 6. Battery Voltage

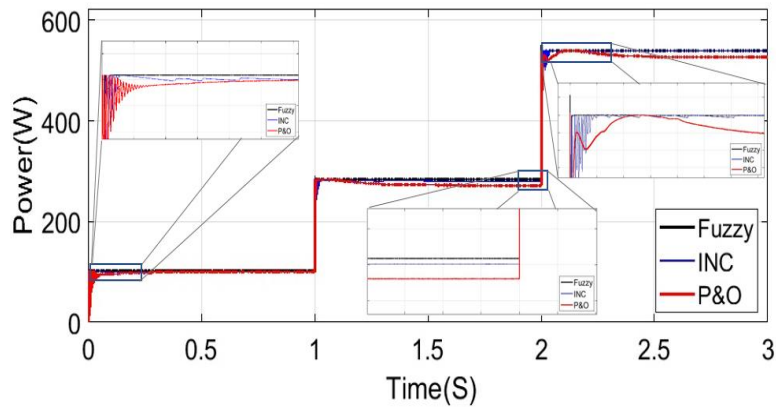


Fig. 7. Panel Power

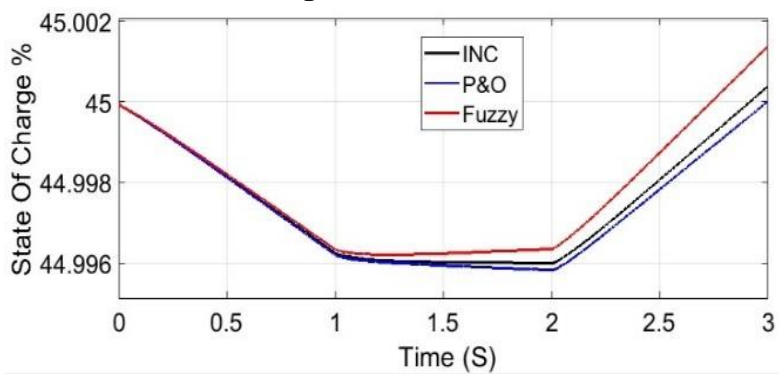


Fig. 8. State of Charge

References

1. Mukhopadhyay Bineeta, Das Debapriya. Multi-objective dynamic and static reconfiguration with optimized allocation of PV-DG and battery energy storage system, Renewable and Sustainable Energy Reviews 124 (2020) 109777.
2. Mansoor, M., Mirza, A. F., Ling, Q. and Javed, M. Y., 2020. Novel Grass Hopper optimization based MPPT of PV systems for complex partial shading conditions. Solar Energy, 198, pp. 499-518.
3. Oussama B., Lechelah A., Chaouki I., Kalinin V. F. A novel multilevel inverter's design and implementation based on photovoltaic systems // Vestnik 2022, 28 (01), pp. 55-065.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М. В. Бородин, А. Е. Семенов, Н. В. Махиянова

*Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина, Орел, Россия
(e-mail: energy@orelsaul.ru)*

Качество электроэнергии (КЭ) является главным параметром характеризующее потребляемую электроэнергию. Потребители электрической энергии, проживающие на территории сельских поселений, предприятия агропромышленного комплекса и электросетевые компании заинтересованы в поддержании КЭ в пределах, которые регламентируются нормативными документами. Для поддержания КЭ на уровне, указанном в электросетевые компании, так и потребители используют различные способы, но не всегда ясно, позволяют ли различные способы в реальности повысить КЭ.

Количество обращений по несоответствию показателей качества электроэнергии установленным нормативным требованиям остается на высоком уровне. При этом в трудах [1, 2] указано, что чаще всего потребители обращаются по вопросу «отклонения напряжения». При любом обращении потребителей в энергоснабжающую организацию, она должна принять меры по повышению качества электроэнергии. Перед принятием решения о повышении качества электроэнергии на место, где произошло изменение КЭ, выезжают специалисты электросетевой компании и проводят измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ). На выезды персонал электросетевой компании затрачивает значительное время. При этом изучая данные представленные в сети интернет и источники [1, 2] было определено, что в настоящее время отсутствуют данные о количестве времени, затраченном на определение причины несоответствия КЭ нормативным значениям, а также отсутствуют данные об основных факторах, влияющих вышеуказанное время. Анализ времени и факторов в будущем позволит разработать математическую модель, по которой можно будет определить затраченное время на повышение качества электроэнергии при влиянии различных факторов на время устранения некачественной электроэнергии. Применение математической модели позволит руководителям электросетевых компаний оценивать эффективность устранения искажения ПКЭ, а специалистам, выполняющим измерение ПКЭ, увидеть свои недостатки. Кроме этого, ученые смогут определять эффективность внедрения новых техноло-

гий в процесс мониторинга ПКЭ. В свою очередь, электросетевые компании заинтересованы в более быстром устранении причины несоответствия КЭ нормативным значениям, так как искажение КЭ может привести к значительным убыткам как для электросетевой компании, так и потребителя. Поэтому актуальной задачей является моделирование и определение времени устранения источника искажения ПКЭ.

При определении источника искажения ПКЭ специалисты электросетевой компании используют анализаторы КЭ, данные устройства позволяют производить мониторинг ПКЭ в конкретной точке. Поскольку ситуации бывают разные, т.е. когда измерения ПКЭ нужно производить в разных точках сети, для более быстрого определения источника искажения, устанавливаются несколько анализаторов КЭ или сначала анализатор КЭ устанавливается в одной точке, а потом в другой. При этом данные, полученные с анализаторов КЭ, не синхронизированы по времени измерения, это время может отличаться в несколько секунд, минут или суток. Этот факт, в свою очередь, приводит к увеличению времени на анализ полученных данных. Кроме этого, время определения источника и виновника в искажении качества электроэнергии изменяется в зависимости от конфигурации сети, компетенции специалистов энергоснабжающей организации, количества потребителей и т.д.

Безусловно, современные приборы учета, интегрированные в автоматизированную систему коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), позволяют производить измерения ПКЭ, но данные системы на сегодняшний день не везде могут в полном объеме выполнять свой функционал, например у удаленных сельскохозяйственных потребителей, так как территория сельских поселений не всегда полностью покрыта мобильной сотовой связью. Кроме этого, не во всех системах АСКУЭ установлены приборы учета, позволяющие производить измерения ПКЭ, так же не во всех счетчиках производятся измерения всех ПКЭ, так как чем больше ПКЭ измеряет прибор учета, тем дороже он стоит. Немаловажное значение имеет и тот факт, что счетчики могут ломаться, у них со временем снижается точность измерения, за счет изменения характеристик пассивных элементов (резистора, конденсатора и т.д.), а это в свою очередь влияет на результаты измерения ПКЭ. Так же основной целью использования АСКУЭ в электросетевой компании является получение данных о потреблении электроэнергии потребителями, но не о КЭ. Поэтому актуальным вопросом является разработка способов и устройств, позволяющих производить измерения КЭ в разных точках сети, при этом полученные измерения должны быть синхронизированы по времени измерения, устройства расположенные в разных точках сети должны иметь возможность передавать данные о ПКЭ без использования мобильной сотовой связи и передавать полученную информацию с разных устройств измерения на одно «общее» устройство, с которого будет скачена информация о результатах измерения или передана с помощью различных каналов связи в электросетевую компанию. Так же устройства мониторинга ПКЭ должны быть универсальными, т.е. они должны подключаться к разным сечениям шин, проводов, типам проводов, и не оказывать значительного воздействия на изоляцию и проводник. При этом необходимо обосновать количество устройств, которое необходимо для реализации вышеуказанной идеи. Так же должна быть обоснована и разработана структура основных данных, которые необходимо передавать с разных точек сети, в свою очередь реализация этой задачи позволит снизить себестоимость устройств, позволяющих производить мониторинг ПКЭ.

Библиографический список

1. Наумов, А. А. Обеспечение требуемого качества электрической энергии / А. А. Наумов // Изв. высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 1. – С. 85 – 92.
2. 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.

ТОРРЕФИКАЦИЯ БИОМАССЫ В СРЕДЕ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ

В. С. Кох-Татаренко¹, Ю. С. Теплицкий²

*¹Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: vadim6873@yandex.ru);*

*²Институт тепло и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь
(e-mail: tep@hmti.ac.by)*

Согласно стратегии развития мировой энергетики к 2050 году, биомасса займет достойное место в топливно-энергетическом балансе Российской Федерации. Однако, в исходном состоянии она обладает многими недостатками и требует предварительной обработки, гранулирования, или превращения в биоуголь. Ее использование позволяет решить вопрос «зеленого перехода» и углеродной нейтральности.

Одним из путей преобразования биоотходов в биоуголь служит торрефикация (низкотемпературный пиролиз) в инертной среде при температурах 200...300 °С. Она повышает энергетическую ценность биомассы, придает ей влагостойкость и однородность свойств.

Нами предлагается организовывать процесс торрефикации биомассы в состоянии кипящего слоя, так как при этом реализуются наиболее высокие значения коэффициентов тепломассопереноса, которые невозможно достичь в других типах реакторов. Одним из преимуществ данной технологии является резкое снижение времени процесса. Недостатком может являться сложность аппаратного оформления установок для торрефикации биомассы.

В качестве инертной среды для процесса окислительной торрефикации предлагается использовать дымовые газы. А экспериментальная установка – прототип промышленного реактора, представлена на рис. 1 и являет собой типичный реактор кипящего слоя с обогреваемой рубашкой и газораспределительной колпачковой решеткой.

Получаемый в процессе торрефикации биоуголь может быть использован в качестве топлива, удобрения, или как прекурсор при изготовлении технических сорбентов.

Результаты исследования образцов торрефицированной биомассы, представленные в табл. 1, показывают увеличение теплоты сгорания на 10...30% при времени обработки от 2,5 до 7,5 минут.

Результаты экспериментов по торрефикации биомассы в среде дымовых газов реализовались в создании промышленного комплекса по получению биоугля производительностью 1т/ч на АО ПРОДМАШ, г. Ростов-на-Дону. Для обеспечения потребностей комплекса в электроэнергии, в него включена установка с турбогенератором ОЦР, обеспечивающая выработку электрической мощности в 175 кВт, так как используемое оборудование достаточно сложно и энергоемко.

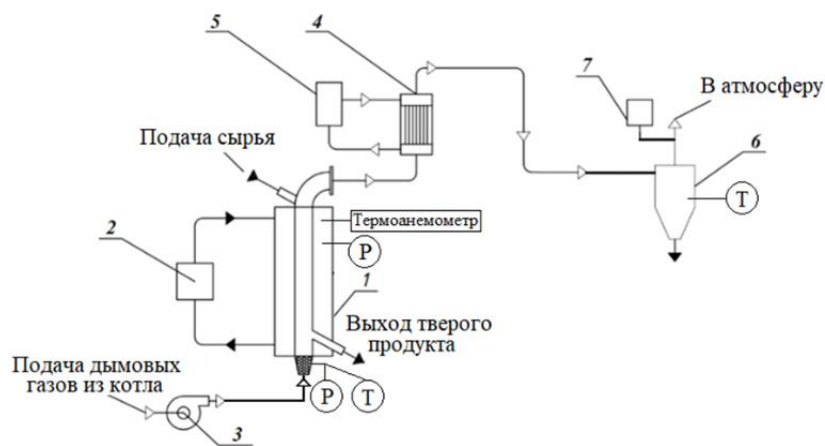


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

для исследования процесса окислительной торрефикации:

1 – реактор КС диаметром 100 мм.; 2 – электродвигатель; 3 – дымосос; 4 – теплообменник;

5 – бак-аккумулятор воды; 6 – циклон; 7 – газоанализатор MRU-300

1. Свойства исходной и торрефицированной биомассы как топлива

Показатель	Ед. изм.	Исходная биомасса	Торрефицированная биомасса		
<i>Лузга подсолнечника</i>					
Время, прошедшее с начала процесса, мин		–	2,5	5	7,5
Влажность	%	10,6	9,29	3,2	2,7
Зольность	%	3,7	4,9	6,1	6,8
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	16,0	18,35	20,7	21,2
<i>Подстильно-пометная масса</i>					
Время, прошедшее с начала процесса, мин		–	6	8	15
Влажность	%	12	11,3	11,13	6,62
Зольность	%	16,6	17,8	18,07	30,1
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	16,7	17,7	18,18	18,8
<i>Опилки</i>					
Время, прошедшее с начала процесса, мин		–	3	6	10
Влажность	%	8	7,36	7,0	6,7
Зольность	%	0,5	0,54	0,58	0,61
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	22,3	24,08	24,7	25,02

Библиографический список

1. Study of oxidative torrefaction process of sunflower husks / R. L. Isemin, D. V. Klimov, A. V. Mikhalev, N. S. Muratova, A. V. Nebyvaev // Chemical Engineering Transaction. – 2020. – V. 82. – P. 331 – 336.
2. Повышение эффективности технологии предкарбонизации биоотходов / Р. Л. Исьемин, А. В. Михалев, Н. С. Муратова и др. // Теплоэнергетика. – 2019. – № 7. – С. 77 – 83.

Секция 1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Э. М. П. Йиндула

*Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(e-mail: precieuseyindoula@gmail.com)*

Для обеспечения необходимого качества и точности контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов (ТТМ) требуется аналитическое описание объектов исследования, которые незначительно отличаются по теплопроводности, применение методики допускowego контроля (ДК) с использованием интеллектуальной информационно-измерительной системы (ИИИС).

Сложность определения теплопроводности, например, винилискожи, заключается в исследовании многослойных теплоизоляционных материалов, которые характеризуются теплопроводностью λ от 0,06 до 0,08 Вт/м·К. Поэтому необходимо осуществить выбор оптимальных режимных параметров при теплофизическом измерении: величину тепловых воздействий измерительным зондом на исследуемый материал, длительность формируемых тепловых импульсов, чтобы исключить нарушение поверхности исследуемых объектов.

Изменение диапазонов $D_1 \dots D_2$ теплопроводности λ в многослойном материале определяется следующими выражениями:

$$D_1 \text{ ТМ} : \lambda_1 \dots \lambda_2,$$

$$D_2 \text{ ТМ} : \lambda_3 \dots \lambda_4.$$

Разработана методика с использованием зон допуска при контроле теплопроводности исследуемых объектов, которая позволяет установить интервалы допусков, как на режимные параметры технологического процесса изготовления винилискож, так и на теплопроводность выпускаемой продукции на предприятии. На основе экспериментальных данных установлен порог принадлежности к зоне допуска, который составляет до 1% при контроле параметров режима технологического процесса для обеспечения погрешности определения ТТМ не более 4%, что является необходимым для допускowego контроля винилискож с диапазоном теплопроводности λ от 0,06 до 0,08 Вт/м·К.

Методика допускowego контроля теплопроводности реализована в созданной ИИИС ДК ТТМ, которая выполнена на основе микроконтроллера, включает модули информацион-

ного и алгоритмического обеспечения, допускового контроля, устройства управления теплофизическими измерениями и обработки измерительной информации (рис. 1).

Применение методики допускового контроля теплопроводности ТТМ и режимных параметров технологического процесса их изготовления способствует повышению качества винилискож и точности контроля теплопроводности исследуемых материалов в теплоэнергетике с использованием ИИИС ДК ТТМ.

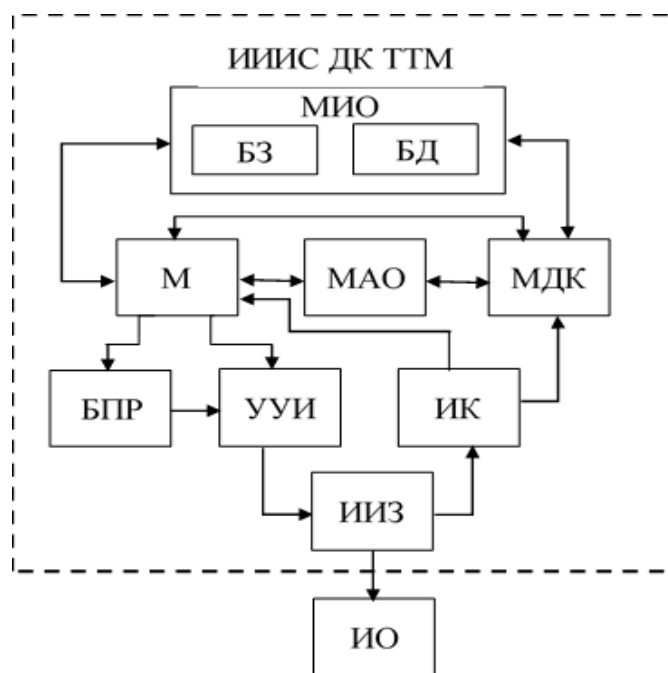


Рис. 1. Структурная схема ИИИС ДК ТТМ:

МНО – модуль информационного обеспечения; БЗ – база знаний; БД – база данных;
М – микроконтроллер; МАО – модуль алгоритмического обеспечения; МДК – модуль допускового контроля; БПР – блок принятия решений; УУИ – устройство управления измерениями;
ИК – измерительный канал; ИИЗ – интеллектуальный измерительный зонд; ИО – исследуемый объект

Библиографический список

1. Селиванова, З. М. Теоретические основы построения интеллектуальных информационно-измерительных систем допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов : монография / З. М. Селиванова, К. С. Стасенко. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 200 с.

2. Selivanova Z. M., Kurenkov D. S., Hoang T. A. Modelling of intelligent information measuring system to control thermophysical properties of materials and products // Journal of Physics : Conference Series 1278 (2019) 012040 IOP Publishing. – DOI:10.1088/1742-6596/1278/1/012040.

КРАЕВАЯ ЗАДАЧА НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТРЕХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ

Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов, А. В. Гришин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: maynikova.nf@yandex.ru)

Рассматривается трехслойная система [1]. Требуется найти распределение температуры по длине стержней в любой момент времени (рис.). В начальный момент времени на свободном конце ограниченного стержня начинает действовать источник тепла постоянной мощности q , который действует на протяжении всего процесса нагрева ($q = q_1 + q_n$).

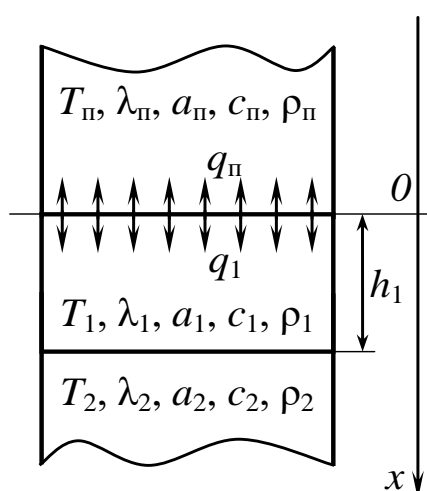


Рис. Тепловая схема

Краевая задача теплопроводности:

$$\partial T_1(x, \tau) / \partial \tau = a_1 \partial^2 T_1(x, \tau) / \partial x^2, \quad \tau > 0, \quad 0 < x < h_1; \quad (1)$$

$$= a_1 \partial T_2(x, \tau) / \partial \tau = a_2 \partial^2 T_2(x, \tau) / \partial x^2, \quad \tau > 0, \quad h_1 < x < \infty; \quad (2)$$

$$\partial T_n(x, \tau) / \partial \tau = a_n \partial^2 T_n(x, \tau) / \partial x^2, \quad \tau > 0, \quad -\infty < x < 0; \quad (3)$$

$$T_1(x, 0) = T_2(x, 0) = T_n(x, 0) = 0; \quad (4)$$

$$T_1(0, \tau) = T_n(0, \tau); \quad T_1(h_1, \tau) = T_2(h_1, \tau); \quad (5,6)$$

$$-\lambda_1 \left[\partial T_1(h_1, \tau) / \partial x \right] = -\lambda_2 \left[\partial T_2(h_1, \tau) / \partial x \right]; \quad (7)$$

$$q = -\lambda_1 \left[\partial T_1(0, \tau) / \partial x \right] + \lambda_n \left[\partial T_n(0, \tau) / \partial x \right] + C_n \left[\partial T_1(0, \tau) / \partial \tau \right]; \quad (8)$$

$$T_2(+\infty, \tau) = T_n(-\infty, \tau) = 0, \quad (9)$$

где T_i – избыточная температура; x – координата; τ – время; q – плотность теплового потока; a_i , c_i , $\lambda_{i,i}$ – соответственно температуропроводность, удельная теплоемкость, теплопроводность i -ого тела; h_1 – толщина тела 1; C_n – теплоемкость единицы площади нагревателя; ρ – плотность. Индексы: 1, 2 – материалы первого и второго тел; п – материал подложки зонда.

Система уравнений (1) – (9) решена методом интегрального преобразования Лапласа. Получено решение в области изображений, выполнить обратное преобразование которого не представляется возможным. Сформулирована задача относительно q для схемы, состоящей из ограниченного тела и одного полуограниченного тела.

Введены обозначения:

$$Fo = \frac{a_1 \tau}{(h_1)^2}, \quad \tilde{x} = \frac{x}{h_1}, \quad K_\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad K_a = \frac{a_1}{a_2}, \quad \Theta_1 = \frac{T_1 \lambda_1}{q h_1}, \quad \Theta_2 = \frac{T_2 \lambda_1}{q h_1},$$

где Fo , \tilde{x} – безразмерные время и координата; K_λ , K_a – относительные теплопроводность и температуропроводность тел; Θ_1 и Θ_2 – температура в безразмерном представлении для тел 1, 2. В безразмерном виде:

$$\Theta_1(\tilde{x}, Fo) = 2\sqrt{Fo} \operatorname{ierfc}\left(\frac{\tilde{x}}{2\sqrt{Fo}}\right) + 2\sqrt{Fo} \sum_{n=1}^{\infty} (h^*)^n \left(\operatorname{ierfc}\left(\frac{(2n-\tilde{x})}{2\sqrt{Fo}}\right) + \operatorname{ierfc}\left(\frac{(2n+\tilde{x})}{2\sqrt{Fo}}\right) \right), \quad (10)$$

$$\Theta_2(\tilde{x}, Fo) = \frac{4\sqrt{Fo} K_\varepsilon}{(1+K_\varepsilon)} \sum_{n=1}^{\infty} (h^*)^{n-1} \operatorname{ierfc}\left(\frac{(\tilde{x}-1)\sqrt{K_a} + (2n-1)}{2\sqrt{Fo}}\right). \quad (11)$$

Введены обозначения: $K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$; $h^* = \frac{1-K_\varepsilon}{1+K_\varepsilon} = \frac{\varepsilon_1-\varepsilon_2}{\varepsilon_1+\varepsilon_2}$.

Ряды в решениях (10) – (11) сходятся при малых значениях времени.

Справедливо равенство: $q_{1L}(x, p) = -\lambda_1 [dT_{1L}(x, p)/dx]$, $0 < x < h_1$

Найдены $q_{1L}(x, p)$. Получено решение задачи относительно q при больших значениях времени. Если на тепловой схеме (рис) отбросить подложку, но учесть потери тепловой энергии в нагревателе, то, при делении общего теплового потока на два, задача (1) – (9) упрощается.

Решение $T_1'(0, \tau) = (2q_1 \sqrt{\tau}) / (\varepsilon_2 \sqrt{\pi}) + (q_1 h_1 (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2)) / (\varepsilon_2^2 \lambda_1)$.

С учетом частного решения:

$$T_1(0, \tau) = (2q \sqrt{\tau}) / ((\varepsilon_2 + \varepsilon_n) \sqrt{\pi}) + \left[(q h_1 (\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2)) / \lambda_1 - q C_n \right] (\varepsilon_2 + \varepsilon_n)^{-2}.$$

Библиографический список

1. Лыков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М. : Высшая школа, 1967. – 559 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВЫСОКОЙ НАПРЯЖЕННОСТИ

В. В. Еремин, Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: vaduha2010@mail.ru)

Основным источником получения энергии еще несколько десятилетий будет оставаться углеводородные типы топлив. Соответственно остаются актуальными задачами оптимизации процесса горения, с целью повышения энергетической эффективности систем и повышения их экологической безопасности.

Немаловажным фактором, в процессах горения является скорость химической реакции окисления топлива в окислительной среде. В основном она зависит от температуры фронта пламени, а также давления. Кроме этих факторов скорость горения можно увеличить путем создания множества активных центров с помощью наложения электрического поля высокой напряженности. Кроме того, ионизированное пламя поддается управлению с помощью электрического или магнитного полей, воздействием которых возможно менять форму и направление фронта горения пламени.

Ионизацию пламени возможно осуществлять различными путями, от добавления легко ионизирующей присадки, до формирования электрического поля высокой напряженности. Каждый из вариантов имеет свои достоинства и недостатки, однако наиболее перспективным является ионизация в электрическом поле за счет ударной ионизации электронами нейтральных компонентов пламени. Основная проблема при ионизации электронным ударом, является переход в режим дугового разряда, в котором идет повышенное потребление электрической энергии. Для решения этой проблемы предлагается формировать импульсное электрическое поле, режимы которого определяются динамическими характеристиками изначально ионизированных электронов, а также временем жизни ионизированного состояния компонентов пламени.

Для формирования импульсного электрического поля предлагается использовать генератор импульсного напряжения прямоугольной формы на базе простейшего таймера NE555 либо его российского аналога КР1006ВИ1. Данная микросхема позволяет сформировать импульсы с частотой до 360 кГц, и минимальной длительностью импульса в 0,5 мкс. Эти параметры сигнала достаточны для формирования поля с необходимыми характеристиками для осуществления ионизации.

Соответствующая схема генератора представлена на рис. 1

В представленной схеме реализована возможность изменения частоты импульсов, которые настраиваются с помощью переменного резистора RV1, а длительность импульса регулируется резистором RV2. Кроме того, для формирования необходимой амплитуды импульса в десятки киловольт в схему включены полевой транзистор IRF 630 (КП737А)

и высоковольтный повышающий трансформатор. В нашем случае в качестве трансформатора использовался модернизированный строчный трансформатор CFO884.

Моделирование данной схемы в системе Proteus подтвердили ее работоспособность, а реализация генератора импульсного электрического поля на соответствующей элементной базе подтвердили возможность достижения ионизации пламени величин достаточных для повышения скорости горения и возможности управления фронтом пламени.

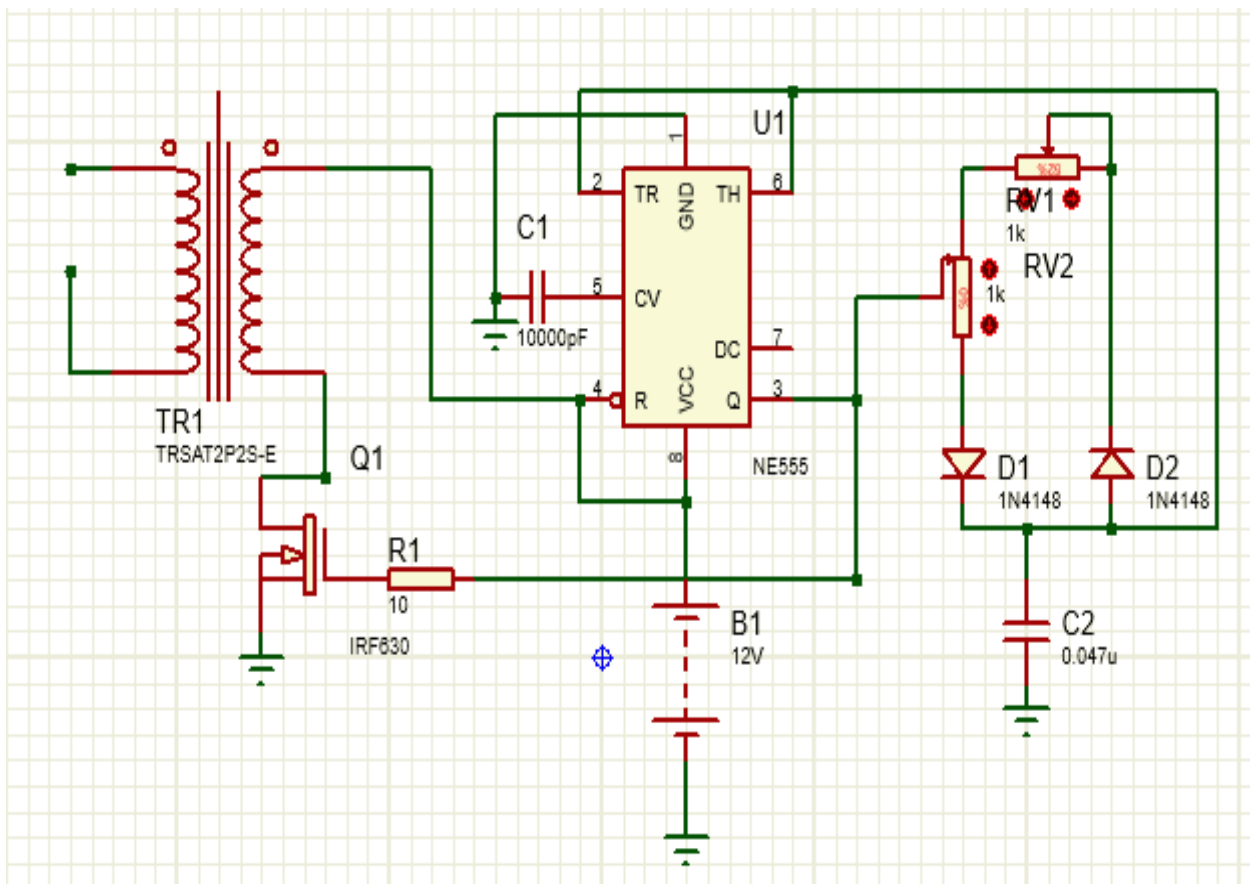


Рис. 1. Схема генератора импульсного электрического поля высокой напряженности:

NE555 – микросхема генератора прямоугольных импульсов;

T_1 – мощный N-канальный полевой транзистор IRF 630

Библиографический список

1. Илясов, А. П. Исследование устройства повышения эффективности сжигания топлива / А. П. Илясов, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : Материалы VI Международной научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 03–05 июня 2019 года. – Тамбов : Издательство Першина Р.В., 2019. – С. 191–192.

АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТЕЛЕИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Я. Э. Нгуба

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: ngoubayann@gmail.com)

В различных областях науки и техники телеизмерительная система позволяет получать информацию об измеренных значениях параметров объектов, расположенных на значительном расстоянии. Актуальным и важным является дистанционный контроль параметров теплофизических свойств (ТФС) выпускаемых материалов и изделий непосредственно в производственном цехе предприятия в реальных условиях окружающей среды технологического процесса изготовления выпускаемой продукции.

В соответствии с вышесказанным определяются цель и задачи исследования, заключающиеся в повышении качества выпускаемой продукции в результате разработки архитектуры интеллектуальной телеизмерительной системы (ИТИС), которая позволит осуществить оперативно и точно дистанционный контроль ТФС в динамическом режиме в процессе производства материалов и изделий для сокращения брака выпускаемой продукции, не соответствующей нормативным требованиям [1, 2].

Решение поставленной задачи включает этапы математического моделирования измерительного канала ИТИС для контроля параметров теплофизических свойств материалов и изделий с целью уменьшения погрешности измерений, обеспечения помехоустойчивости измерительного канала при дистанционной передаче информации и разработки архитектуры интеллектуальной телеизмерительной системы.

Процесс теплофизического измерения заключается в тепловом воздействии интеллектуальным измерительным зондом на исследуемый материал или изделие и последующей регистрации информационных сигналов с измерительного зонда и дистанционной передачи в ИТИС для расчета и оценки ТФС исследуемых материалов.

В состав архитектуры интеллектуальной телеизмерительной системы входят: канал дистанционной передачи информации и информационно-измерительная система (ИИС), которая представлена на рис. 1.

Экспериментальные исследования интеллектуальной телеизмерительной системы позволили установить, что результаты определения ТФС материалов для теплоэнергетики характеризуются точностью измерения и соответствуют требованиям качества.

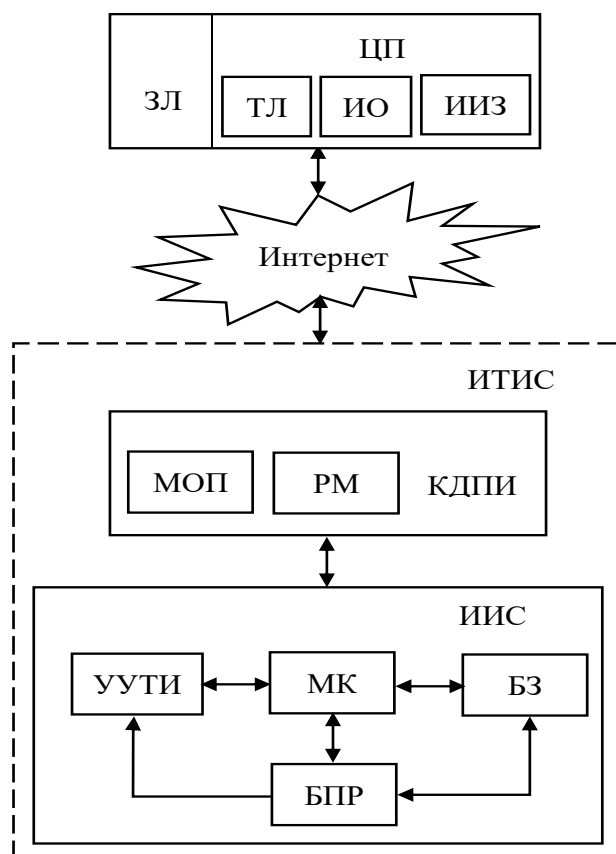


Рис. 1. Архитектура интеллектуальной телеизмерительной системы:

ЦП – цех предприятия; ЗЛ – заводская лаборатория; ТЛ – технологическая линия;
 ИО – исследуемый объект; ИИЗ – интеллектуальный измерительный зонд;
 МОП – модуль обеспечения помехоустойчивости; РМ – радиомодем;
 КДПИ – канал дистанционной передачи информации; ИИС – информационно-измерительная система; УУТИ – устройство управления теплофизическими измерениями; МК – микроконтроллер;
 БЗ – база знаний; БПР – блок принятия решений

Библиографический список

1. Селиванова, З. М. Интеллектуальная информационно-измерительная система дистанционного контроля качественных параметров теплоизоляционных материалов в условиях воздействия дестабилизирующих факторов / З.М. Селиванова, Д.С. Куренков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2020. – Т. 26, № 1. – С. 6 – 19.
2. Selivanova, Z. M. Modelling of intelligent information measuring system to control her-mophysical properties of materials and products / Z. M. Selivanova, D. S. Kurenkov, T. A. Hoang // Journal of Physics : Conference Series. – 2019. – V. 1278. 2 August 2019 Published online: <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1278/1>. Accepted received: 17 June 2019. P. 012040.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. А. Сергеева

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
(e-mail: SNataliaA@yandex.ru)*

Повышение эффективности сложных энергосистем в условиях цифровой трансформации связано напрямую с удовлетворением требований концепции «Бережливое производство» (БП). Эта концепция в комплексе решает проблему снижения потерь на системном уровне. Суть концепции в совершенствовании производства с целью увеличения добавленной стоимости за счет уменьшения каких-либо потерь. Данная концепция предполагает использование таких инструментов, как Kanban, Just-In-Time, 5S и др. [1].

Систематизируя и обобщая основные проблемы и текущие результаты внедрения БП в энергетике можно выделить следующие этапы внедрения концепции БП: системный аудит производственных процессов, подготовка внутренних условий для внедрения БП (обучение персонала, мотивация, стратегическое планирование и т.п.).

Ликвидация потерь за счет внедрения БП позволяет вывести решение проблемы обеспечения эффективности энергооборудования на новый, качественный уровень. В классическом варианте эффективность оценивается с помощью ключевого показателя эффективности KPI (Key Performance Indicators). Оценку эффективности оборудования проводят посредством коэффициента общей эффективности оборудования Коее (Overall Equipment Effectiveness – OEE) [2]. Он учитывает потери, на конкретном оборудовании, так и на производственном участке. Данный подход обеспечивает оценку изменения состояния потерь во времени.

Традиционно показатели эффективности энергооборудования оценивались по финансовым показателям. Однако в условиях цифровой трансформации необходимо учитывать и технических характеристики оборудования, в том числе показатели его цифровизации. Отдельной сложной задачей является агрегация данных производственных процессов и оборудования. Для ее решения используют методы картирования.

Модель оценки коэффициента общей эффективности оборудования представляет собой следующую зависимость: $K_{OEE} = K_q \cdot K_p \cdot K_a$, где K_q – коэффициент качества, K_p – коэффициент производительности, K_a – коэффициент доступности.

Коэффициентный метод позволяет оценить количественно рассматриваемое оборудование. При этом коэффициент доступности отражает отношение технологического времени (все время без учета подготовительных операций и простоев) к производственному времени (все время без учета подготовительных операций). Простои учитывают время регламентных работ и технологических перерывов (ожиданий). Коэффициент производительности является отношением фактического количества произведенной продукции к запланированному. Коэффициент качества является отношением суммарного полезного эффекта от эксплуата-

ции или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление [3].

Использование данного метода позволяют количественно оценить эффективность энергооборудования с учетом затрат времени в условиях цифровой трансформации. Оценка коэффициента K_{OEE} базируется на учете времени работы единицы оборудования. Методика оценки эффективности энергооборудования может быть применена для составления карт потока создания ценности в качестве инструмента поиска потерь и их причин.

Библиографический список

1. Ганев, Ю. М. Система 5s-технология создания эффективного рабочего места в концепции «Бережливого производства» / Ю. М. Ганев, А. И. Власов, А. А. Карпунин // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2016. – № 1(161). – С. 65 – 68.

2. Бельш К. В. Применение расчета коэффициента OEE в картировании потока создания ценности / К. В. Бельш // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 4, Ч. 2 (45-2). – С. 557 – 560.

3. Современные методы и средства обеспечения качества в условиях комплексной автоматизации / В. Г. Дудко, К. Д. Верейнов, А. И. Власов, А. Г. Тимошкин // Вопросы радиоэлектроники. 1994. – № 1. – С. 71 – 89.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ СИСТЕМ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ

М. И. Тошходжаева

*Политехнический институт Таджикского Технического Университета
им. академика М. С. Осими, Худжанд, Республика Таджикистан
(e-mail: shukrona14_01_2011@mail.ru)*

Современная система электроснабжения при введении источников распределенной генерации должна основываться на интегральных, комплексных показателях, тем самым возникает необходимость в формировании совокупности наиболее значимых показателей, которые интегрируются в единое целое [1, 2]. При отборе факторных показателей необходимо учитывать следующие: показатель должен полностью отражать рассматриваемый показатель; быть доступным в статистике и иметь числовое значение и возможность сравнения; учитывать особенности систем электроснабжения; возможность построения и интерпретации показателей и достижения поставленной цели. Строительства и размещение в распределительных сетях вблизи потребителя электроэнергии источники малой генерации, способствуют снижению потерь электроэнергии в сети и поддержать уровень напряжения в пределах заданных параметров, однако проблема оптимального выбора зависит от ряда факторов: эксплуатационных, экономических критерий надежности и качества электроэнергии [3].

Эксплуатационные факторы включают следующие показатели, при транспортировке электроэнергии потери напряжения, активной и реактивной мощности, и токовая нагрузка должны быть минимальными [3]:

$$k_{\text{РГЭКС}} = f(\Delta U_{\text{min}}; \Delta P_{\text{min}}; \Delta Q_{\text{min}}; k_{n \text{max}}; I_{\text{cm max}}), \quad (1)$$

где ΔU_{min} – минимальные потери напряжения в системе, кВ; ΔP_{min} – минимальные потери активной мощности в электроэнергетической системе, кВт; ΔQ_{min} – минимальные потери реактивной мощности в энергосистеме, кВАр; $I_{\text{cm max}}$ – минимальные токовые нагрузки в максимальном и минимальном режиме, кА; $k_{n \text{max}}$ – коэффициент надежности энергосистемы.

Критерий надежности является комплексным показателем, объединяющим надежность системы электроснабжения при проектировании и эксплуатации при внедрении систем распределенной генерации:

$$k_{n \text{max}} = f(g_1 = P_{\text{проект}}; g_2 = P_{\text{экссп}}). \quad (2)$$

Экономические обхватывают следующие показатели как, минимум затрат на строительство, ремонт и обслуживание объектов РГ, минимальную стоимость выработанной электроэнергии и минимальный ущерб от недоотпуска электроэнергии в случае отказа источников РГ:

$$k_{\text{РГЭКОН}} = f(Z_{\text{рем min}}; Z_{\text{обслуж min}}; C_{\text{экс min}}; E_{\text{экс min}} Y_{\text{ЭЭ min}}), \quad (3)$$

где $Z_{\text{рем min}}; Z_{\text{обслуж min}}$ – минимальные затраты на ремонт и обслуживание объектов РГ, тыс. руб.; $C_{\text{экс min}}$ – минимальная стоимость отпускаемой электрической энергии, тыс. руб. кВт·ч; $E_{\text{экс min}}$ – минимальная эксплуатационная стоимость электрооборудования, тыс. руб./год; $Y_{\text{ЭЭ min}}$ – минимальный ущерб от недоотпуска электроэнергии, тыс. руб.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Поскольку все выше приведенные факторы являются не однородными, целесообразно ввести единый интегральный показатель, который учитывает все показатели включенную в модель:

$$P_{\text{И}} = f(k_{\text{РГ ЭКС}}, k_{\text{н}}, k_{\text{РГ ЭКОН}}). \quad (3)$$

Главная трудность возникает в случае применения и формировании критериев заключается в выявлении весовых коэффициентов, которые отражают степень важности критериев, его размерности. При выборе источника РГ следует учитывать географическое расположение района, особенности систем электроснабжения, природные и климатические характеристики (наличие рек и ручеек с достаточным напором, скорости ветра, солнечной инсоляции, геотермальных вод и т.д.) района, наличие природных месторождений (уголь, газ, торф и т.п.). Целью дальнейшего исследования будет разработка методик расчета интегрального показателя оптимального выбора источников РГ, следовательно, выбор подходящих методик будет зависеть от специфики объекта исследования и требований к системам электроснабжений региона.

Библиографический список

1. Toshkhodzhaeva, M., Gracheva, E., Rahimov, O., Dadabaev, S. Problems of Electric Power System Management taking into account Sources Distributed Generation/ E3S Web of Conferences, 2020, 220, 01034
2. Куликов, А. Л. Проблемы и особенности распределенной электроэнергетики / А. Л. Куликов, В. Л. Осокин, Б. В. Папков // Вестник НГИЭИ. – 2018. – № 11(90). – С. 123 – 136.
3. Тошходжаева, М. И. Математическая модель влияния природных и эксплуатационных факторов на надежность влэп-110 кв в условиях резко континентального климата / М. И. Тошходжаева, А. А. Ходжиев // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2020. – Т. 12, № 1(45). – С. 71 – 81.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНИЗАЦИИ ПЛАМЕНИ В ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В. В. Еремин, Д. С. Баршутина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: vaduha2010@mail.ru,)

Повышение степени ионизации пламени является актуальной задачей в современной энергетике. Ведь благодаря этому пламя становится наиболее управляемым, за счет чего можно повышать скорость горения, а соответственно в более широких пределах регулировать параметры потока пламени, чтобы достичь максимальной эффективности получения энергии при сжигании различных типов топлив.

В общем нейтральное по заряду пламя в своем составе имеет незначительное количество ионов и электронов, которые в структуре пламени распределяются в зависимости от подвижности ионизированного атома или электрона. Как правило, положительно заряженные ионы располагаются по фронту пламени, электроны, обладая большей подвижностью, успевают переместиться от фронта пламени на значительное расстояние.

Исследование характеристик пламени при воздействии электрического поля можно проводить для двух состояний. В первом случае электрическое поле значительно повышает температуру пламени, а соответственно происходит электрический разряд с повышением потребления электрической энергии. Во втором случае за счет поля высокой напряженности увеличивается кинетическая энергия заряженных частиц без повышения интегральной температуры пламени, что приводит к формированию неравновесного состояния системы. Описание физических процессов второго случая возможно осуществить закономерностями процессов тлеющего разряда.

Для изучения пламени в условиях наложения импульсного электрического поля высокой напряженности разрабатывалась экспериментальная установка (рис. 1). Монтаж установки осуществлялся на основании 1, которое разрабатывалось с учетом возможности крепления в изолированном состоянии электродов для генерации импульсного электрического поля 2, и электродов для измерения проводимости пламени 3. В качестве источника пламени в разработанной установке использовалась газовая горелка 4 с бутановой смесью. Генерация импульсного электрического поля осуществлялась при помощи устройства 5 собранного на основе микросхемы генератора импульсов с возможностью изменения длительности импульса, а также скважности сигнала. Для повышения напряжения применялся повышающий трансформатор, который позволяет формировать напряжение до 20 кВ. Для питания генератора импульсов применялся блок питания 6 с возможностью изменять напряжение до 17 В. Измерение проводимости осуществляется между электродами 3, которые помещаются в область пламени осуществляется измерение и между ними с помощью мультиметра.

Таким образом, разработана экспериментальная установка для исследования ионизации пламени в условиях импульсного электрического поля, которая позволяет изучить механизм этого влияния и определить параметры, позволяющие повысить эффективность ионизации пламени за счет ударного механизма ионизации.

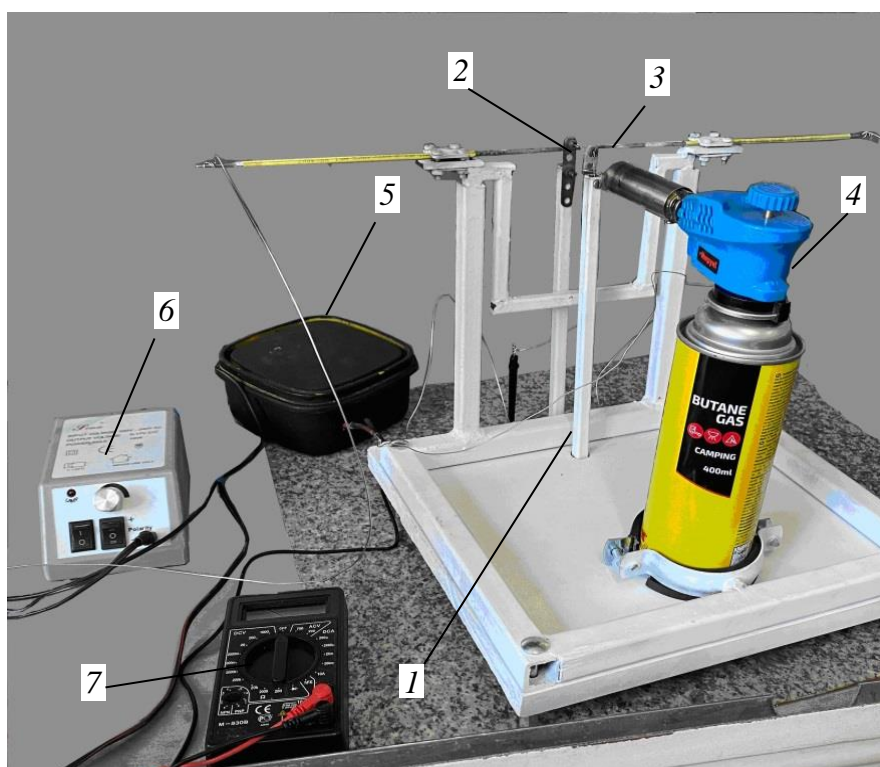


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения ионизации пламени в импульсном электрическом поле высокой напряженности:

- 1 – каркас установки; 2 – электроды для генерации импульсного электрического поля;
3 – электроды для измерения проводимости электрического поля; 4 – газовая горелка;
5 – генератор импульсного электрического поля; 6 – блок питания; 7 – мультиметр

Библиографический список

1. Илясов, А. П. Исследование устройства повышения эффективности сжигания топлива / А. П. Илясов, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 03 – 05 июня 2019 года. – Тамбов : Издательство Першина Р.В., 2019. – С. 191–192.
2. Баршутин, С. Н. Исследование скважности генератора прямоугольных импульсов / С. Н. Баршутин, А. П. Илясов, Э. А. Мешкова // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : Четвертая Всерос. молодежная науч. конф., посвященная дню радио, Тамбов, 06–07 мая 2019 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2019. – С. 7 – 9.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО РЕСУРСА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Т. И. Чернышова, П. И. Карелин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: pavel.karelin.74@yandex.ru)

В современных условиях среди различных типов измерительных средств, все большее распространение находят информационно-измерительные системы (ИИС). Показателем качества ИИС является метрологическая надежность (МН), характеризующая их свойство сохранять во времени метрологические характеристики (МХ) в пределах установленных норм при эксплуатации в заданных режимах, техническом обслуживании. Основным количественным показателем МН является метрологический ресурс (МР).

Как показывают теоретические и практические исследования, МН ИИС определяется, метрологической надежностью входящих в состав: измерительных каналов (ИК), аналоговых блоков (АБ). Так как в АБ протекают основные процессы преобразования измеряемой физической величины, следовательно, для обеспечения высокого уровня МН ИИС необходимо обеспечить высокий уровень метрологической надежности входящий в нее аналоговых блоков.

На этапе эксплуатации ИИС подвергается влиянию внешних дестабилизирующих воздействий окружающей среды (ОС), например, как температура, влажность, давление и радиационный фон, при отклонении которых от нормальных условий ускоряются деградиционные процессы, возникающие в элементной базе (ЭБ) АБ и вызывающие изменения их номиналов, что приводит к изменению метрологических свойств ИИС и сокращению их метрологического ресурса.

Поэтому представляется актуальной оценка МН с учетом внешних дестабилизирующих факторов. Для быстрой и оперативной оценки МН проектируемого АБ ИИС необходимо разработать информационно-аналитическую систему (ИАС), оперативно получать достаточное количество статистических данных о процессах изменения во времени МХ проектируемых АБ ИИС за небольшой промежуток времени. Решение таких задач эффективно может быть реализовано на этапе проектирования как отдельных структурных составляющих, так и ИИС в целом с применением информационных технологий (ИТ). Положенная в основу разрабатываемой ИАС ИТ оценки и прогнозирования МН ИИС использует метод аналитико-вероятностного прогнозирования, основу которого составляет математическое моделирование. ИТ последовательно проводит:

- математическое моделирование процесса функционирования проектируемого блока;
- статистическое моделирование, заключающееся в последовательном расчете характеристик закона распределения значений параметров блоков и моделировании их в различных временных сечениях области предстоящей эксплуатации с учетом температуры, давления, влажности;
- построение многофакторной математической модели изменения во времени исследуемых метрологических характеристик с учетом названных дестабилизирующих параметров окружающей среды.

Полученная модель служит основой для оценки МН проектируемого блока и в конечном итоге, ИИС в целом.

В ИАС имеется возможность решить задачи определения величин межпроверочных интервалов с учетом изменяющихся условий эксплуатации, а также, используя метод параметрической оптимизации, дать рекомендации по условиям эксплуатации для ИИС, которые обеспечивают более высокие показатели МН.

Таким образом, разрабатываемая ИАС позволяет оперативно решать задачи оценки МН ИИС на этапе проектирования с учетом условий эксплуатации без проведения длительных экспериментов по определению долговременной стабильности ИИС.

Библиографический список

4. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 180 – 189.

5. Чернышова, Т. И. Повышение метрологической надежности проектируемых аналоговых блоков информационно-измерительных систем с учетом условий эксплуатации / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке : материалы Междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. ; под общ. ред. А. И. Вострцова. – София ; Нефтекамск, 2017. – С. 42 – 47.

МОДЕРНИЗАЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

А. Г. Дивин, А. А. Балашов, А. А. Дурнов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: balashovalexey@yandex.ru)

Модернизация экспериментальной установки позволят повысить точность определения коэффициента теплопроводности сыпучего материала, что представляет собой практический интерес. Так как песок является одним из самых распространенных строительных материалов, то исследование процесса теплопроводности сыпучего материала, является актуальной задачей.

Метод определения коэффициента теплопроводности сыпучих материалов методом трубы имеет следующий вид [1, 2]:

1. С помощью тарировочной таблицы для термопар ТМК переводим термо-ЭДС в градусы °С. Так как холодные концы термопар находятся при температуре воздуха в лаборатории, то $\Delta t = t_c - t_b$.

2. Определить температуру стенки в каждой точке с учетом поправки на температуру холодных концов термопар $t_c = \Delta t + t_b$ °С.

3. Для исключения систематических погрешностей температура внутренней и наружной трубы измеряются в четырех точках каждой. В расчетах используют среднеарифметические значения.

4. Определить мощность теплового потока, которая равна мощности нагревателя на расчетном участке, $l_p = 0,5$ м, $Q = W_3 = I \cdot U$, Вт.

5. Рассчитать по формуле (1) коэффициент теплопроводности сыпучего материала.

$$\lambda = \frac{W_3 \cdot \ln(d_2/d_1)}{(t_{c1} - t_{c2}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_p}, \quad (1) \text{ где}$$

Таким образом, в результате проведения эксперимента на лабораторной установке среднее значение коэффициента теплопроводности по формуле (1) имеет следующий вид:

$$\bar{\lambda} = \frac{(0,51 \cdot 41,2) \cdot \ln \frac{0,033}{0,025}}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot (65,47 - 63,317)} = 0,86 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

Далее определяли случайные погрешности косвенных измерений [3].

$$\bar{\lambda} = (0,86 \pm 0,02436) \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)} \text{ с } \alpha_d = 0,9.$$

Представим погрешность в виде:

$$E = \frac{\Delta \lambda}{\bar{\lambda}} = \frac{0,02436}{0,86} \cdot 100\% = 2,83 \%$$

Далее определяли систематические погрешности косвенных измерений.

Относительная ошибка систематической погрешности:

$$\Delta E = \frac{|\Delta \lambda|}{\bar{\lambda}} = \frac{0,1067}{0,86} \cdot 100\% = 12,4\%.$$

Таким образом, окончательный ответ будет выглядеть следующим образом:
 $\lambda = (0,86 \pm 0,1067) \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Необходимо ввести поправочный коэффициент в формулу (1). Тогда новая формула имеет следующий вид:

$$\lambda = \frac{W_3 \cdot \ln(d_2/d_1) \cdot K_{\text{п}}}{(t_{c_1} - t_{c_2}) \cdot 2 \cdot \pi \cdot l_p},$$

где $K_{\text{п}}$ – поправочный коэффициент, $K_{\text{п}} = 0,29$.

Библиографический список

1. Дурнов, А. А. Моделирование процесса теплопроводности для определения теплофизических свойств твердых тел / А. А. Дурнов, С. А. Воеводкин, А. А. Балашов // Энерго-сбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – С. 99–100.

2. Дурнов, А. А. Виртуальная модель определения коэффициента теплопроводности твердых тел методом трубы / А. А. Дурнов, С. А. Воеводкин, А. А. Балашов // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 12 – 14 октября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2021. – Вып. 7. – С. 119 – 121.

ИОНИЗАЦИОННО-РЕКОМБИНАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПЛАМЕНИ

А.Н. Никитин, Д.С. Баршутина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: gvaizer333@gmail.com)

Физико-математическое описание процессов ионизации и рекомбинации базируется на квантово-физических законах межуровневых переходов электронов под действием внешних энергетических воздействий. Механизмы возбуждения и ионизации можно подразделить на реакции взаимодействия свободного электрона с нейтральным атомом. При этом возможно возбуждение атома без ионизации $A_k + e \leftrightarrow A_m + e$ и с ионизацией $A_k + e \leftrightarrow A^+ + e + e$. Еще одним механизмом возбуждения и ионизации атомов в газе является воздействие электромагнитным излучением с энергией $E = h\nu$ достаточной для возбуждения или ионизации атома $A_k + h\nu \leftrightarrow A_m$, $A_k + h\nu \leftrightarrow A^+ + e$. В пламени вероятен процесс ассоциативной ионизации $A_k + B \leftrightarrow AB^+ + e$. Все рассмотренные процессы ионизации могут иметь обратное направления, которые приводят к рекомбинационным процессам.

Наряду с ионизационными процессами в пламени с больше степенью вероятности происходят процессы перехода электронов между уровнями, приводящие к возбуждению атомов. Таким образом, происходит интенсивное возбуждение атомов в условиях температур

горения основных типов углеводородных топлив. В этом случае основная часть энергии получаемой от химической реакции идет на возбуждение атомов и переизлучения во внешнюю среду.

Схему возбуждения атома можно рассмотреть на структуре энергетических уровней (рис. 1).

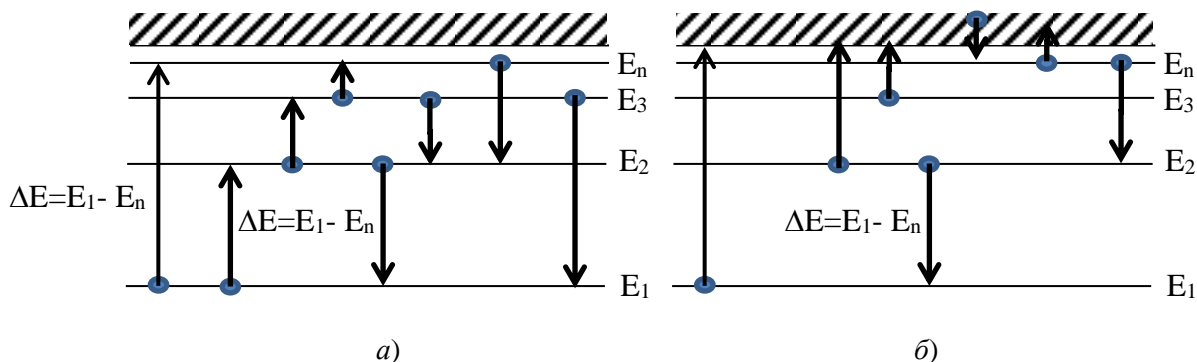


Рис. 1. Возможные переходы электрона в энергетическом пространстве атома при возбуждении (а) и ионизации (б)

Уравнение по уровневой кинетики, определяющее концентрацию возбужденных частиц в k -м состоянии, имеет вид [1]:

$$\frac{\partial n_k}{\partial t} + \left(\frac{\partial n_k V_{(x)k}}{\partial x} + \frac{\partial n_k V_{(y)k}}{\partial y} + \frac{\partial n_k V_{(z)k}}{\partial z} \right) = \sum_m^l \sum_q^r (n_m W_{mk}^q - n_k W_{mk}^q) + F_k - n_k G_k, \quad (1)$$

где n_k – населенность k -ого состояния атома; W_{mk}^q – вероятности перехода атома из m -го в k -е состояние под воздействием рассмотренных выше механизмов возбуждения; F_k – функция описывающая источник формирования k -го состояния атома; G_k – функция описывающая деактивацию возбужденного состояния атомов в k -м состоянии; V_k – скорость атомов с k -м состоянием; l – количество дискретных состояний атомов; r – количество состояний континуума.

Общее решение уравнения (1) содержит объемную процедуру преобразований и выводов поэтому применяют приближенные методы, в которых допускают упрощение параметров рассматриваемой системы атомов.

Дискретность энергетического спектра для простейших атомов можно определить по следующему соотношению:

$$E_k = \frac{13,6 \cdot Z^2}{k^2}, \quad (2)$$

где Z – заряд ядра; k – номер уровня.

Для более сложных атомов энергии уровней определены экспериментально и при решении уравнения (1) возможно использовать из справочных материалов в виде матричных коэффициентов.

Более сложную структуру электронных уровней имеют молекулы. В них за счет вращательных и колебательных движений ядер возрастает количество энергетических уровней.

Таким образом, решение уравнения (1) с минимальным количеством упрощений осуществляется с помощью аналитических и численных методов. Например, разложения в ряд Фурье и дальнейшего решения с применением функции Грина.

Библиографический список

1. Морозов А. И. Введение в плазмодинамику / А. И. Морозов. – М. : Физматлит, 2006. – 676 с.

2. Баршутин, С. Н. Определение вероятности ионизации нейтральной частицы при столкновении с электроном под действием электрического поля / С. Н. Баршутин, А. П. Илясов, Э. А. Мешкова // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Всерос. науч. конф., Тамбов, 17–18 декабря 2019 года. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2020. – С. 48 – 50.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Н. А. Низар

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: Dmitrievtsev978@gmail.com)

Наличие огромного количества различного телекоммуникационного оборудования и других устройств связи в инфокоммуникационной инфраструктуре требует значительных затрат на содержание, техническое обслуживание и замену. В основном, эксплуатация и проведение работ по техническому обслуживанию производятся согласно графикам, построенных с учетом нормативных требований руководящих документов [1]. Таким образом, при проведении мероприятий по обслуживанию устройств телекоммуникаций практически не учитываются условия эксплуатации. При этом, работая в разных условиях, ресурс одинаковых устройств будет расходоваться не одинаково. Это может приводить к тому, что некоторые устройства могут быть списаны только по причине нормативного окончания сроков эксплуатации, обладая при этом еще достаточным ресурсным запасом. Кроме того, учет влияния условий эксплуатации на состояние рабочего ресурса устройств телекоммуникаций позволит выявить те из них, которые в силу сложных эксплуатационных условий могут выйти из строя раньше времени. Таким образом, контроль рабочих параметров телекоммуникационного оборудования позволит гибко реагировать на продолжительность сроков эксплуатации этого оборудования, что даст возможность получить экономию за счет продления сроков эксплуатации отдельных устройств, а также своевременно предотвращать аварийные ситуации с устройствами, работающими в неблагоприятных условиях [2 – 4].

Ключевым моментом является отслеживание в процессе эксплуатации пиковых значений таких параметров, как нагрузка на оборудование, климатические условия, стабильность напряжения питания и т.д. Для реализации сбора показаний датчиков и дальнейшей обработки полученных данных предполагается построение информационной системы, включающей в себя базу данных и программный модуль, реализующий необходимые вычисления [5].

Так как процесс эксплуатации телекоммуникационного оборудования является достаточно длительным, то накопление данных в течение жизненного цикла устройства приведет к появлению огромного массива показаний, обработка которого позволит получить дополнительные возможности, в частности, прогнозирование технического состояния с целью предотвращения аварийных ситуаций.

В случае сбора больших массивов данных с помощью информационной системы появляется возможность использовать для их обработки как статистические методы, так и различные интеллектуальные методы анализа данных. Наиболее распространенными статистическими методами прогнозирования являются такие методы, как экстраполяция по скользящей средней и прогнозирование методом линейной регрессии.

Библиографический список

1. Принципы построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, Н. Ю. Залукаева и др. ; редкол. : В. А. Лихолобов и др. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. – 2020. С. 246–247.

2. Рязанов, И. Г. Техническое диагностирование информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых технологий / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Ю. Наумова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 5. – С. 37 – 46.

3. Раннее обнаружение начала постепенного изменения свойств случайных процессов / В. И. Павлов, С. В. Артемова, А. Н. Грибков и др. // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. – № 5. – С. 237 – 246.

4. Селиванова, З. М. Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан: // Надежность и качество сложных систем. 2016. – № 4. – С. 13 – 19.

5. Чернышова, Т. И. Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. 2017. – № 1(17). – С. 50 – 58.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Прогнозирование технического состояния осуществляется на основе изучения закономерностей изменения технического состояния, приводящих к нарушению работоспособности изделия. Изменение технического состояния можно представить как изменение во времени результатов периодически выполняемых проверок параметров нескольких одинаковых изделий (групповое прогнозирование) или одного изделия (индивидуальное прогнозирование).

Все методы прогнозирования технического состояния радиоэлектронного оборудования можно объединить в две группы:

- инструментальные методы;
- статистические методы [1, 2].

Инструментальные методы применимы к таким элементам, у которых можно проконтролировать изменение физико-химической структуры, т.е. выделить совокупность прогнозирующих параметров. Инструментальное прогнозирование основывается на измерении прогнозирующих параметров элементов или оборудования в целом с помощью контрольно-измерительной и испытательной аппаратуры (КИ и ИА). В зависимости от типа прогнозирующего параметра инструментальное прогнозирование включает в себя методы: прогнозирование по изменению прогнозирующего параметра элемента; прогнозирование по изменению выходных параметров оборудования; прогнозирование по обобщенному параметру оборудования, который состоит из линейного или функционального способов анализа результатов измерения [3, 4].

Достоинства инструментальных методов прогнозирования:

- эффективность и достоверность;
- эффективность и готовность к применению оборудования по назначению;
- меньший расход ЗИП для контролируемого ЭО.

Статистические методы позволяют решать вероятностные задачи о поведении того или иного оборудования в будущем в зависимости от возможных режимов и условий эксплуатации. Статистическое прогнозирование базируется на результатах диагностики технического состояния оборудования и сводится к определению остаточного технического или гарантийного ресурсов безотказной работы элементов, сопряжений, блоков, узлов и оборудования в целом до момента проведения очередного технического обслуживания и ремонта.

Точность и надежность статистического прогнозирования зависит от того, насколько полно учтены общие закономерности изнашивания и изменения параметров контролируемого объекта в условиях эксплуатации [5].

Достоинства статистических методов:

- не требуется проведение измерений на объекте диагностирования;

- не нужно устанавливать прогнозирующий параметр и применять сложную и дорогостоящую контрольно-измерительную и испытательную аппаратуру;
- низкая стоимость прогнозирования.

Библиографический список

1. Принципы построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, Н.Ю. Залукаева и др. ; редкол. : В. А. Лихолобов и др. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. – 2020. С. 246–247.
2. Рязанов, И. Г. Техническое диагностирование информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых технологий / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Ю. Наумова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 5. – С. 37 – 46.
3. Раннее обнаружение начала постепенного изменения свойств случайных процессов / В. И. Павлов, С. В. Артемова, А. Н. Грибков и др. // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. – № 5. – С. 237 – 246.
4. Селиванова, З. М. Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан: // Надежность и качество сложных систем. 2016. – № 4. – С. 13 – 19.
5. Чернышова, Т. И. Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. 2017. – № 1(17). – С. 50 – 58.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Н. А. Низар

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: Dmitrievtsev978@gmail.com)

Посредством анализа выбранной совокупности диагностических параметров радиооборудования можно не только дать заключение о текущем техническом состоянии объекта технического диагностирования, но и предсказать с определенной вероятностью, как долго это состояние может продлиться. То есть, имеется возможность предсказать нахождение радиоаппаратуры в заданном состоянии (например, работоспособности или функционирования) в течение определенного временного интервала.

Эта задача решается методами прогнозирования технического состояния. Для современных систем технического диагностирования прогнозирование технического состояния

объекта является одной из наиболее перспективных задач. Прогнозирование технического состояния позволяет не только предсказать выход из строя радиоэлектронного оборудования, но и определить оптимальную периодичность проведения операций технического диагностирования, а также использовать результаты прогнозирования при создании гибких алгоритмов диагностирования. Например, возможно использовать данные прогнозирования технического состояния при поиске места отказа [1 – 3].

Аналогично, результаты прогнозирования могут быть использованы и при построении алгоритмов определения технического состояния радиоэлектронного оборудования. Применение прогнозирования технического состояния позволяет значительно повысить эффективность системы технической диагностики, что в свою очередь приводит к повышению эффективности эксплуатации радиоэлектронного оборудования.

Важность прогнозирования технического состояния объекта очевидна, так как оно позволяет предотвратить отказ оборудования до его возникновения.

При проведении прогнозирования технического состояния используют не только данные, полученные в текущий момент времени и результаты предыдущих измерений. Знание предыдущих результатов измерения указывает на необходимость применения запоминающих устройств в системах технического диагностирования.

При этом хранение в памяти информации о состоянии радиоэлектронного оборудования за весь период его эксплуатации не актуально по нескольким причинам. Например, использование результатов измерений, сделанных до проведения ремонта (или после проведения восстановления ресурса) совместно с результатами измерений, сделанных после его проведения в целях прогнозирования может привести к неправильному прогнозу и как следствие снизится достоверность результатов диагностики. Это обусловлено, прежде всего, тем, что неисправные ранее элементы могут быть заменены, что приведет к изменению закона изменения контролируемого параметра во времени (новые данные изменяются по одному закону, а предыдущие по-другому) [4, 5].

Библиографический список

6. Принципы построения интеллектуальных информационно-измерительных и управляющих систем на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, Н.Ю. Залукаева и др. ; редкол. : В. А. Лихолобов и др. // Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства : материалы 10-й Междунар. науч.-техн. конф. – 2020. С. 246–247.

7. Рязанов, И. Г. Техническое диагностирование информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых технологий / И. Г. Рязанов, Ю. Т. Зырянов, А. Ю. Наумова // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2019. – № 5. – С. 37 – 46.

8. Раннее обнаружение начала постепенного изменения свойств случайных процессов / В. И. Павлов, С. В. Артемова, А. Н. Грибков и др. // Изв. Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. – № 5. – С. 237 – 246.

9. Селиванова, З. М. Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов /

З. М. Селиванова, Т. А. Хоан: // Надежность и качество сложных систем. 2016. – № 4. – С. 13 – 19.

1. Чернышова, Т. И. Метод повышения метрологической надежности при проектировании аналоговых блоков информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество сложных систем. 2017. – № 1(17). – С. 50 – 58.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

В.С. Лаврентьев (СМ-7-21)

*Научный руководитель – к.т.н., доц. кафедры ЭТиТГСВ Кондауров П.П.
Волгоградский государственный технический университет
Институт архитектуры и строительства, Волгоград, Россия*

Основная часть проектируемых и строящихся газораспределительных сетей находится на территориях с равнинным рельефом, что характерно для центральной полосы России. Атмосферное давление на таких объектах практически не изменяется, поэтому вопрос о его влиянии на гидравлические режимы сетей газораспределения не возникает. При выполнении гидравлического расчета принято не учитывать незначительное изменение высот, а также влияние гидростатического напора, который может возникнуть на наклонных и горизонтальных участках в связи с тем, что расчетные величины будут настолько малы, что целесообразность данных расчетов пропадает.

Уровень высот в горной местности может изменяться на сотни метров относительно Балтийской системы высот, принятой в России [1], при том что газопровод, прокладываемый в траншее, может иметь уклон до 35° и более, что определяется исходя из возможности работы строительной техники согласно СТО Газпром 2-2.1-206-208 «Сооружение газопроводов в горных условиях» и выполнением дополнительных мероприятий против сдвига газопровода и засыпке траншеи. В таких случаях, расчетные величины гидростатического напора и атмосферного давления могут оказать значительное влияние на давление газа в трубопроводе, особенно для сетей низкого давления.

В соответствии с СП 62.13330.2011* п. 4.2 выходное давление из пунктов редуцирования газа для сетей низкого давления, не может превышать 0,005 МПа, а для сетей газораспределения предусмотренных для газоснабжения жилых домов, давление на выходе из ПРГ ограничивается 0,003 МПа. Согласно п. 3.27 СП 42-101-2003 падение давления на участке газовой сети можно определять по приведенным формулам, в которых значение атмосферного давления равно 0,101325 МПа, что является верным для нулевого уровня, а согласно пункту 3.36, относящегося к сетям низкого давления, значение атмосферного давления также учтено в значении гидростатического напора при расчете плотности воздуха. Перепад атмосферного давления при увеличении отметок земли в 500 метров приблизительно равен

0,006 МПа и составляет 0,095464 МПа. Таким образом при установке ПРГ на нулевом уровне и настройке выходного давления равного 0,003 МПа по атмосферному давлению 101,325 кПа, давление на уровне +500 м согласно расчету составит = 3кПа + гидростатический напор–потери на трение и местные сопротивления. На основании приведенных формул расчетным путем можно прийти к выводу, что для сетей низкого давления значение гидростатического напора при разности высот в 500 м и реальном атмосферном давлении будет равно 2,9 кПа. Если же атмосферное давление при расчетах принимать как рекомендуемое 0,101325 МПа, то гидростатический напор будет равен 2,5 кПа в большую или меньшую сторону в зависимости от направления движения газа в вертикальной плоскости. Это значит, что при значительных изменениях высоты давление газа в сети низкого давления может выйти за пределы категории или снизиться до недопустимых значений.

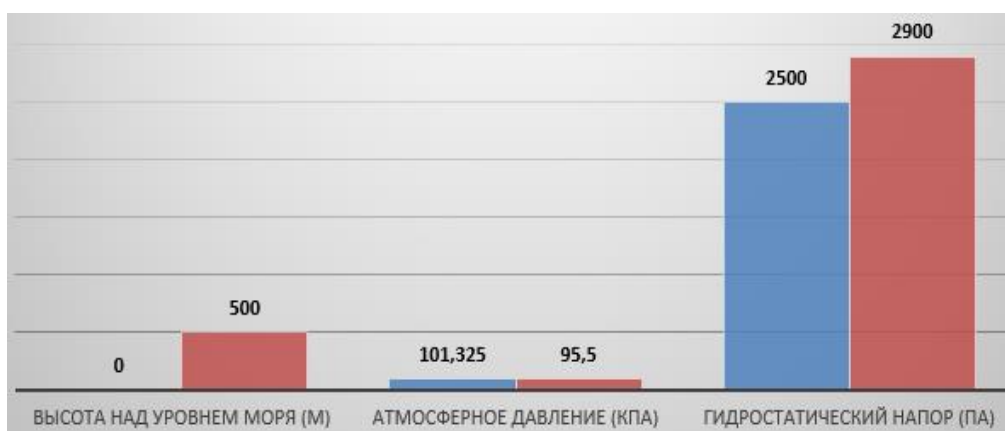


Рис. 1. Диаграмма зависимости гидростатического напора от атмосферного давления и высоты над уровнем моря

Решением этого вопроса должно быть исследование режимов работы газораспределительных сетей, расположенных в горной местности и определение максимального допустимого перепада высот с учетом того, что давление на газоиспользующем оборудовании у потребителя не должно быть ниже 1200 Па = 0,0012 МПа. Такое решение в процессе проектирования может помочь более обоснованно подойти к трассировке газопровода, а также исключить вопрос о том, нужно ли учитывать значительные перепады высот в гидравлическом расчете.

Библиографический список

1. Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы : Постановление правительства РФ от 24 ноября 2016 г. № 1240. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/420383741> (дата обращения: 11.12.2022).

ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ НА ИЗЛУЧЕНИЕ В СИСТЕМАХ МГД-ГЕНЕРАЦИИ

Исследования, связанные с ионизированным состоянием газовых сред, находят все более широкое применение в различных сферах промышленности. Особенно актуальным данное направление находится в области энергетики. Известны плазменные ускорители [1] в которых газ ионизуется между электродами, радиально расположенными относительно друг друга. Между ними протекает ток в осевом направлении, который ускоряет поток газа. В зависимости от геометрии сопла ускорителя скорость потока преодолевает скорость магнитозвуковой волны. Основная проблема в таких плазменных ускорителях является высокое потребление электрической энергии, а соответственно низкая энергетическая эффективность устройства. В связи с этим задача исследования устройств, в которых необходима высокая степень ионизации, на предмет повышения энергетической эффективности ионизации рабочей среды является одной из актуальных задач.

Рассмотрим влияние основных внутренних и внешних факторов на энергетические процессы ионизации и рекомбинации в рабочей среде рассматриваемых устройств. Известно, что излучение и поглощение электромагнитных колебаний являются основными механизмами передачи энергии в газовых средах. И чем больше температура рабочей среды, тем больше становится доля процессов передачи энергии излучением. А так как длина свободного пробега как правило не превышает нескольких микрометров, то можно воспользоваться приближением, в котором лучистая теплопроводность определяется в равновесных условиях. Соответственно в установленном приближении рабочая среда не пропускает излучение. Однако в реальных условиях равновесие нарушается за счет рекомбинационных фотонов, которые имеют возможность покинуть зону реакции.

Для описания процессов взаимодействия ионизированного газа с излучением необходимо решить соответствующие уравнения. Так как скорость электромагнитной волны излучения несоизмеримо больше динамических характеристик потока в ионизированной среде, то определяющими параметрами будут характеристики потока ионизированного газа. Соответственно достаточно будет решить стационарное уравнение передачи электромагнитной волны [1].

$$\Omega \left(\frac{\partial I_{\omega}(r, \Omega)}{\partial r} \bar{e}_r + \frac{I_{\omega}(r, \Omega)}{r \partial \Omega} \bar{e}_{\Omega} \right) = \eta_{\omega}(r) - k_{\omega}(r) I_{\omega}(r, \Omega), \quad (1)$$

где $I_{\omega}(r, \Omega)$ – интенсивность излучения с частотой ω в точке с координатой r , распространяющегося в направлении телесного угла Ω ; $\eta_{\omega}(r)$ – излучательная способность; $k_{\omega}(r)$ – коэффициент поглощения вещества.

Исходное уравнение (1) не учитывает анизотропию излучения. Поэтому определение плотности энергии $E_p(r)$ излучения можно осуществить исходя из уравнения (1), выделив интенсивность излучения ионизированного газа. Интегральная форма будет иметь вид:

$$E(r) = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^n \omega_i \int_0^{4\pi} I_{\omega_i}(r, \Omega) d\Omega, \quad (2)$$

где ω_i – частота излучения i -го перехода; c – скорость света.

Для вычисления по формуле (2) необходимо знать спектр компонентов исследуемой газовой среды, а также населенности состояний компонентов. Не маловажную роль играют процессы перехода электрона из одного энергетического состояния в другое. Например, связанно-связанные переходы, связанно-свободные переходы, свободно-свободные переходы, отвечающие тормозному излучению и поглощению.

Решение поставленных задач позволит оценить потери энергии на излучение в ионизированной среде, полученные соотношения позволят определить оптимальные параметры системы, при которой потери будут минимальными

Библиографический список

1. Морозов, А. И. Введение в плазмодинамику / А. И. Морозов. – М. : Физматлит, 2006. – 676 с.
2. Еремин, В. В. Физико-математическая модель процесса ионизации пламени в импульсном электрическом поле / В. В. Еремин, С. Н. Баршутин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 16–17 ноября 2021 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2021.
3. Курепина, Д. С. Определение степени ионизации пламени по величине ее проводимости / Д. С. Курепина, С. Н. Баршутин // Энергетическая безопасность : сб. науч. ст. III Междунар. конгресса : в 2 т., Курск, 16–17 октября 2020 года. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 426 – 428. – Т. 1.

ВИДЫ ДОГОВОРОВ, ЗАКЛЮЧАЕМЫХ В ОБЛАСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Т. М. Лаврик, М. А. Матвеева

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: lavriktan@mail.ru)*

Необходимость дополнительного правового регулирования договорных отношений в отрасли теплоснабжения возникла давно. Общие нормы гражданского законодательства изначально не в полной мере учитывали особенности отношений в сфере теплоснабжения,

ввиду чего между энергоснабжающими организациями и их потребителями возникало немалое количество вопросов и споров. Ситуация обострилась после проведения реформы электроэнергетики, когда изменился порядок сбыта тепловой энергии.

Такие изменения привели к тому, что законодатель выделил в рамках Федерального закона от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении» отдельную главу, которая посвящена договорным отношениям в сфере теплоснабжения.

На данный момент в научной литературе ведутся споры в отношении правовой природы такого понятия, как тепловая энергия. Можно выделить два мнения: сторонники первого утверждают, что тепловая энергия является товаром (вещью), сторонники второго говорят о тепловой энергии как о результате оказания определенного вида услуг.

Представляется, что нормы статьи 128 ГК РФ вызывают некоторые вопросы в связи с применением их к тепловой энергии, поскольку тепловая энергия ввиду отсутствия материальной формы, не может являться объектом права собственности, так как полномочия по владению существенно ограничены из-за ее свойств.

В свою очередь, услуги представляют собой действия субъектов гражданского оборота, которые либо вообще не заканчиваются каким-либо конкретным результатом, либо имеют такой результат, который не воплощен в материализованной форме. Исходя из норм Правил предоставления коммунальных услуг гражданам, тепловая энергия может представлять собой результат оказания услуг.

С юридической точки зрения энергия как объект хозяйственного оборота характеризуется такими специфическими свойствами, как: бестелесная материальная природа; непрерывность процесса производства энергии и ее неразрывная связь с ее транспортировкой и потреблением; невозможность накопления и хранения.

В силу пункта 5 статьи 454 ГК РФ к договору энергоснабжения, как одному из видов договора купли-продажи, подлежат применению общие положения о купле-продаже. В то же время гражданское законодательство не предусматривает применения норм, регулирующих иные виды договоров купли-продажи, к отношениям, возникающим из договора энергоснабжения. За исключением норм статьи 523 ГК РФ, относящихся к договору поставки, содержащему прямую отсылку к части 1 статьи 546 ГК РФ. Общие положения о договорах применяются с учетом специальных правил, в той части, которая не регулируется и не противоречит им.

Ввиду вышеизложенного, тепловая энергия в зависимости от рода отношений, которые опосредованы договорной конструкцией, может выступать как товар или как результат услуги.

Федеральным законом «О теплоснабжении» предусмотрены особенности регулирования договорных отношений между теплоснабжающими, теплосетевыми организациями и потребителями тепловой энергии, изменяющие сложившиеся отношения.

Основными договорами, на которые распространяется действие закона, являются: договор о подключении к системе теплоснабжения; договор теплоснабжения; договор оказания услуг по поддержанию резервной тепловой мощности; договор поставки тепловой энер-

гии (мощности) и(или) теплоносителя; договор оказания услуг по передаче тепловой энергии, теплоносителя.

В статье 13 № 190-ФЗ определяются случаи, когда эти договоры заключаются, а также их стороны и взаимоотношения с органами государственного регулирования цен (тарифов). Ссылка на эти договоры в законе не означает, что участники отрасли не могут заключать никаких других договоров, свобода договора не отменяется. Но представляется, что закон регулирует подавляющее большинство отношений в сфере теплоснабжения, которые могут потребовать вмешательства государства.

В договорах теплоснабжения конкретизируется товар – это тепловая энергия (мощность) и(или) теплоноситель. В зависимости от потребностей потребителя и возможностей поставщика энергии в договоре могут фигурировать только тепловая энергия (мощность), только теплоноситель или все указанные товары.

Новеллой Федерального закона «О теплоснабжении» стало введение договора оказания услуг по поддержанию резервной тепловой мощности (ст. 16 № 190-ФЗ). Это связано с тем, что в настоящее время большое количество потребителей, особенно промышленных, переключилось на использование собственных источников тепла. Но при этом они не осуществили отключение от центральной системы теплоснабжения, сохранив для себя возможность вернуться к потреблению тепловой энергии извне. Это заставляет поставщиков тепла поддерживать для таких потребителей мощность в системе, содержание которой, фактически оплачивается остальными потребителями. В законе нет строгих предписаний об обязательстве заключить данный договор для потребителей, но представляется, что Правительство РФ вправе установить в подзаконных актах право теплоснабжающих организаций осуществить их отключение от системы теплоснабжения в случае заключения договора оказания услуг по поддержанию резервной тепловой мощности.

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Т. М. Лаврик, М. А. Матвеева

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: lavriktan@mail.ru)

Гражданский кодекс РФ впервые всесторонне регламентировал отношения снабжению электрической и тепловой энергией через присоединенную сеть, определив их порождающий договор энергоснабжения как вид договора купли-продажи (§ 6, Глава 30 Гражданского кодекса РФ).

Наибольшая нагрузка в регулировании общественных отношений в сфере теплоснабжения приходится на нормативные правовые акты. Энергетическое законодательство в сфере теплоснабжения находится в стадии активного формирования и развития, что обусловлено принятием в 2010 году специального Федерального закона от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ

«О теплоснабжении». Анализ специальных нормативных актов показывает, что регулирование обязательств по снабжению через присоединенную сеть иными товарами отходит от правил, установленных ГК РФ.

В настоящее время нормативное регулирование теплоснабжения делится на две группы на основе того, кто является участником – гражданин, использующий тепловую энергию в частных целях или иной субъект гражданского права – абонент, использующий тепловую энергию для производства и других (небытовых) целей.

Федеральный закон от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении» является стержневым нормативным правовым актом, определяющим общественные отношения в сфере теплоснабжения, правовые, экономические и организационные основы отношений в сфере теплоснабжения в Российской Федерации, полномочия органов государственной власти и местных органов власти по регулированию и контролю в сфере теплоснабжения, права и обязанности субъектов теплоснабжения, потребителей тепловой энергии и иных лиц, участвующих в процессах производства, передачи и потребления тепловой энергии.

Помимо указанного федерального закона, общественные отношения в сфере теплоснабжения регулируются значительным количеством подзаконных нормативных правовых актов. К таковым относятся Правила организации теплоснабжения в Российской Федерации, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 08.08.2012 г. № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации», устанавливающие порядок организации теплоснабжения потребителей, в том числе существенные условия договоров теплоснабжения, особенности заключения договоров теплоснабжения, а также порядок ограничения и прекращения подачи тепловой энергии потребителям в случае нарушения ими условий договора.

Способы, порядок ремонта и вывода из эксплуатации источников тепла и тепловых сетей установлены Постановлением Правительства РФ от 06.09.2012 г. № 889 «О выводе в ремонт и из эксплуатации источников тепловой энергии и тепловых сетей».

Порядок разработки, утверждения, требования к составу схем теплоснабжения населенных пунктов утверждены Постановлением Правительства РФ от 22.02.2012 г. № 154 «О требованиях к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения».

Положения о коммерческом учете тепловой энергии, теплоносителя закрепленные в Постановлении Правительства РФ от 18.11.2013 г. № 1034 «О коммерческом учете тепловой энергии, теплоносителя» устанавливают порядок организации коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя.

Необходимо также обратить внимание на активное формирование энергетического законодательства в сфере теплоснабжения в области ценообразования, среди них следует отметить Постановление Правительства РФ от 22.10.2012 г. № 1075 «О ценообразовании в сфере теплоснабжения»; Постановление Правительства РФ от 19.08.2011 г. № 706 «Об утверждении Правил согласования цен (тарифов) в сфере теплоснабжения, устанавливаемых органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области государ-

ственного регулирования цен (тарифов), если теплотребляющая установка и источник тепловой энергии расположены в разных субъектах Российской Федерации».

Так же следует обратить внимание на Постановление Правительства РФ от 06.05.2011 г. № 354 «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (далее – Правила № 354), регулирующее процедурные вопросы взаимоотношений исполнителей услуг с потребителями.

Кроме того, отношения между исполнителями и потребителями коммунальных услуг регулируются Постановлением Правительства РФ от г. № 124 «О правилах, обязательных при заключении договоров снабжения коммунальными ресурсами для целей оказания коммунальных услуг», которое устанавливает обязательные требования при заключении исполнителями коммунальных услуг с ресурсоснабжающими организациями договоров ресурсоснабжения в целях обеспечения предоставления потребителю коммунальной услуги соответствующего вида.

Таким образом, федеральные законы устанавливают общие положения о взаимодействиях сторон при заключении и исполнении договоров теплоснабжения, определяют общую направленность развития данной сферы и закрепляют общие принципы и положения. В то время как, подзаконные акты наиболее детально определяют, регламентируют порядок действий сторон, как при заключении договоров теплоснабжения, так и при их исполнении и применении, предусматривая ответственность за неисполнение или ненадлежащее исполнение обязательств сторонами.

ЭКОНОМИЧЕСКИ ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ МЕТОД ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Н. Н. Лебедева, А. А. Балашов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: natalyai.lebedeva.98@mail.ru, balashovalexei@yandex.ru)

Проектировщики в ряде случаев вообще не выполняют гидравлические расчеты, принимая диаметры на глаз, т.е. опираясь на собственный опыт. Для типовых решений при подключении небольших объектов такой подход может быть обоснованным. Однако при проектировании разветвленных городских сетей пренебрежение в мелочах на стадии расчетов может либо привести к необоснованному росту капиталовложений при строительстве, либо впоследствии владелец (пользователь) тепловой сети и источника теплоты понесут существенные убытки в эксплуатационных расходах. Кроме традиционных методов гидравлического расчета, т.е. на основе оптимальных скоростей или заданных удельных потерь давления, существуют также экономические оптимизационные методы. Характерным примером является метод экономически наивыгоднейших удельных потерь давления.

Гидравлический расчет по этому методу предусматривает нахождение такого значения удельных линейных потерь давления $R_{\text{эк}}$, которое обеспечит минимальные приведенные затраты строительства и последующей эксплуатации тепловой сети. Такой минимум находится в результате сложных расчетов как оптимальное сочетание капиталовложений (трубы, оборудование и арматура, изоляции, земляные и строительно-монтажные работы), а также эксплуатационных затрат (потери теплоты, затраты энергии на прокачку теплоносителя) [1].

Удельные потери давления $R_{\text{эк}}$, ДаПа/м, рассчитывают по выражению

$$R_{\text{эк}} = 34 \left(\varphi \frac{M_0 R_0^{0,19}}{G_p 2L_m} \right)^{0,84}$$

где M_0 – полученная в процессе предварительного расчета материальная характеристика сети со всеми ответвлениями, м²; R_0 – предварительно принятое значение удельных линейных потерь давления, ДаПа/м, при котором была определена суммарная материальная характеристика сети M_0 ; G_p – расчетный расход теплоносителя на головном участке тепловой сети, т/ч; L_m – длина расчетной магистрали тепловой сети без ответвлений, км; φ – интегральный экономический показатель, учитывающий приведенные затраты в энергетическом эквиваленте, кВт/м².

Основы понятия $R_{\text{эк}}$ иллюстрирует рис. 1. при уменьшении $R_{\text{эк}}$ (т.е. при увеличении d) возрастают: капиталовложения в трубопроводы и арматуру $K_{\text{тр}}$; капиталовложения в тепловую и гидроизоляцию $K_{\text{из}}$; эксплуатационные затраты на компенсацию потерь теплоты $S_{\text{п.т.}}$ (из-за растущей вместе с диаметром поверхности теплообмена). Одновременно с этим уменьшаются: капиталовложения в насосные установки $K_{\text{нас}}$; эксплуатационные затраты на электроэнергию для прокачки теплоносителя по трубопроводам теплосети $S_{\text{эл.}}$

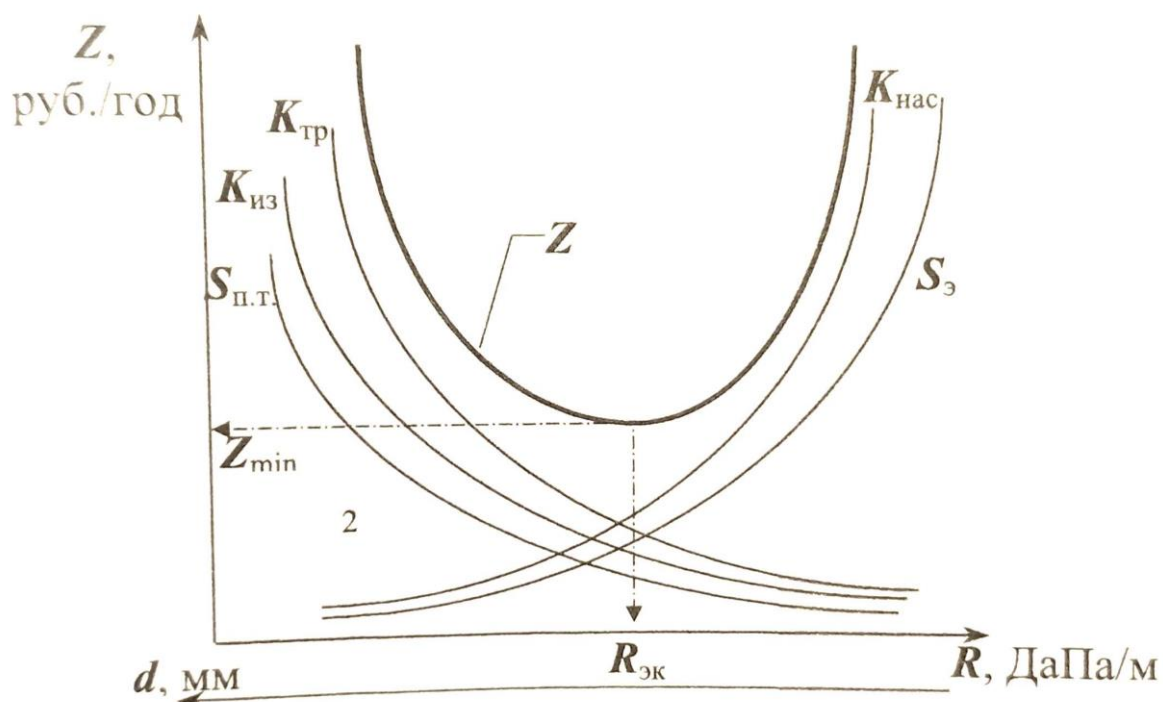


Рис. 1. К понятию экономически наивыгоднейших удельных потерь напора

Сумма статей эксплуатационных расходов S_i (учитываемых непосредственно) и статей капиталовложений K_i (учитываемых с коэффициентами амортизации f и эффективности капиталовложений E_n) представляет собой так называемые приведенные затраты Z (руб./год):

$$Z = \sum S + \sum (f + E_n) K.$$

Таким образом, возникает типичная задача минимизации целевой функции:

$$Z \Rightarrow \min \text{ или } Z' \Rightarrow 0.$$

Библиографический список

1. Шкаровский А. Л. Теплоснабжение : учебник. – СПб. : Лань, 2018. – 392 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УТЕЧЕК В ТЕПЛОЙ КАМЕРЕ ТЕПЛОЙ СЕТИ

Т. А. Листопадская, Н. Н. Кожухов, А. А. Махоренко

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: listopadskayat@bk.ru)

Наши потребители – это ресурсоснабжающие организации (РСО) (Филиал ПАО «Квадра» – «Тамбовская генерация» и МУП «Тамбовтеплосервис», г. Тамбов), которые хотят иметь бесперебойную подачу воды для системы отопления, но возникают часто аварийные ситуации в тепловых камерах с отключением системы отопления, а существующие тепловые камеры имеют недостаточную надежность, таким образом, потребители остаются без тепла и потому необходимо заранее контролировать утечку в тепловой камере тепловой сети для обеспечения более надежной подачи теплоносителя.

Наша система контроля утечек воды в тепловой камере будет подавать сигналы диспетчеру находящимся в РСО, что подразумевает аварийную ситуацию и в отличие от полного отсутствия системы контроля, на сегодняшний момент, в тепловых камерах мы будем контролировать начало образования утечки.

Физическая модель системы контроля утечек воды в тепловой камере с использованием датчика уровня представлена на рис. 1.

В этой системе контроля используется поплавковый датчик (рис. 2). Датчик полностью герметичен и не подвержен коррозии. Основным элементом датчика является геркон, который находится внутри полой трубки. Снаружи этой трубки находится кольцевой поплавок, который может свободно перемещаться вдоль трубки. Внутри кольцевого поплавка имеется кольцевой магнит. При поднятии поплавка, магнитное поле воздействует на геркон, который замыкает электрическую цепь. Стопорное кольцо, в нижней части трубки, препятствует падению поплавка.

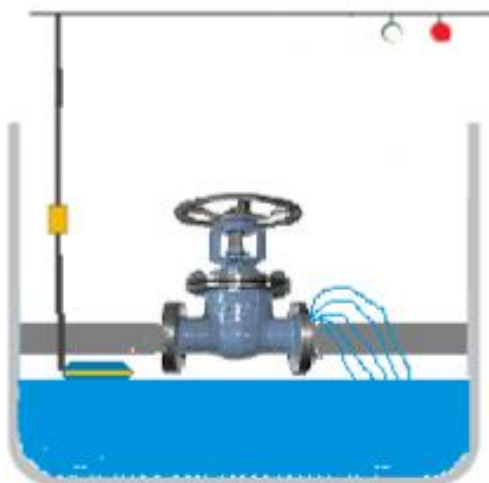


Рис. 1. Физическая модель системы контроля утечек воды в тепловой камере

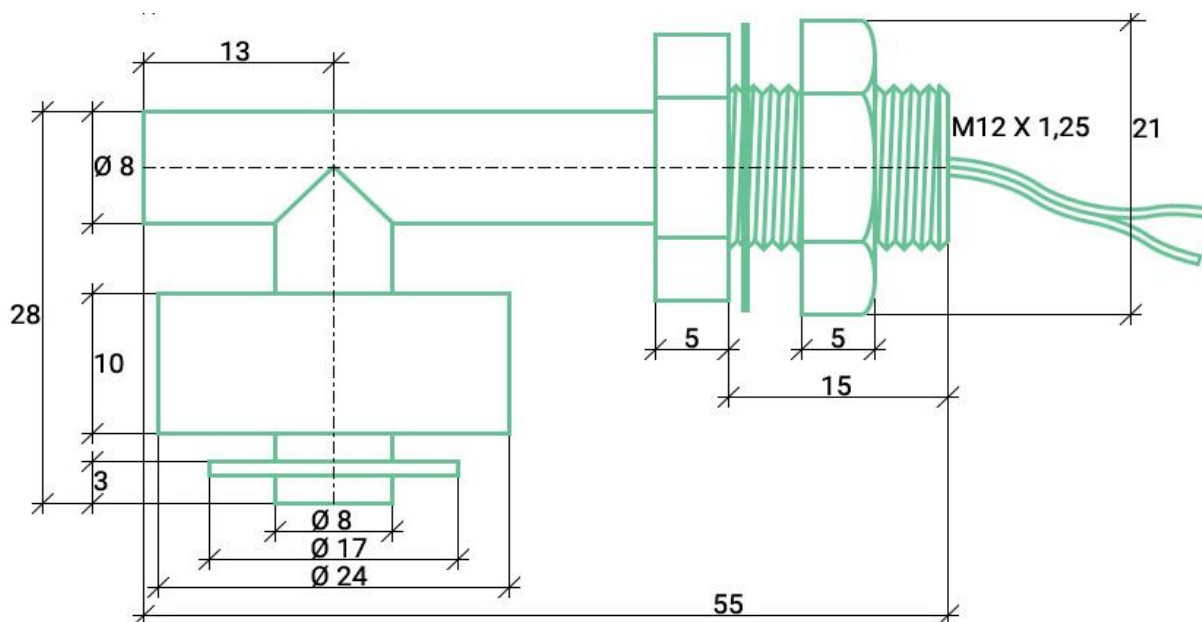


Рис. 2. Поплавковый датчик, используемый в системе контроля утечек воды

Таким образом, система контроля утечек воды в тепловой камере имеет следующие преимущества:

- 1) большая дальность, определяемая сетью базовых станций (в перспективе);
- 2) низкое энергопотребление за счет использования в качестве питания энергию от солнечных панелей;
- 3) оперативное срабатывание датчика уровня в случае утечек и быстрое принятие решения для устранения аварийной ситуации.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ УСТАНОВКИ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

М. В. Мостовской, С. В. Артемова

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

Обеспечение высоких показателей эффективности технологических машин является важным направлением в развитии станкостроения. В станках с числовым программным управлением (ЧПУ) траектория движения режущего инструмента задается в виде ряда последовательностей положений, определяемых числовым значением той или иной координаты.

На производствах среднего и точного машиностроения большое количество технологических операций, связанных со сваркой, упрочнением, резкой, гравировкой, маркировкой, сверлением и др. различных материалов, выполняется с использованием лазерных установок.

При проектировании и производстве лазерных установок наиболее трудоемким и затратным элементом является координатная система, которая состоит из комплекта электроприводов, осуществляющих перемещение лазерного инструмента, кинематической схемы, датчиков и оптической системы.

Перспективным направлением общего повышения эффективности лазерных установок является совершенствование электропривода. Современный электропривод состоит из электродвигателя и информационно-измерительной и управляющей системы (ИИУС).

В статье [1] предложена схема ИИУС ЭП с повышенными показателями эффективности. Разработанная ИИУС ЭП отличается повышенными показателями надежности и низкой себестоимостью. Указанный результат достигается путем изменения совокупности связей в структурной схеме ИИУС электропривода и введением в нее блока перемножения сигналов регулятора тока и регулятора скорости [1].

На основании структурной схемы ИИУС ЭП повышенной эффективности [1] разработана имитационная модель координатной системы лазерной установки в программе Matlab Simulink (рис. 1).

Проведены исследования разработанной имитационной модели (рис. 1) при прямолинейном движении режущего инструмента (рис. 2) и движении по окружности (рис. 3).

Полученные результаты соответствуют требованиям ГОСТ 27803–91, полоса пропускания контура положения равна 10 Гц, отсутствует перерегулирование при прямолинейном движении.

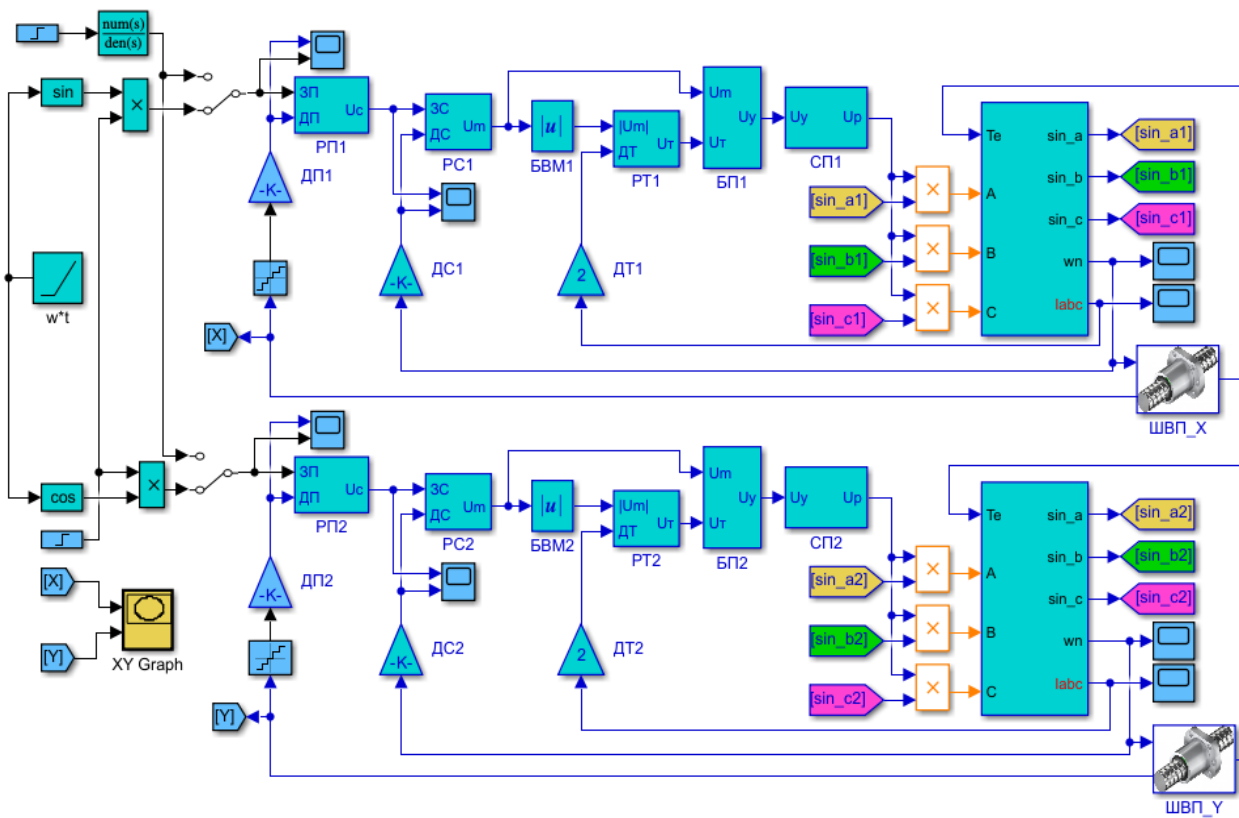
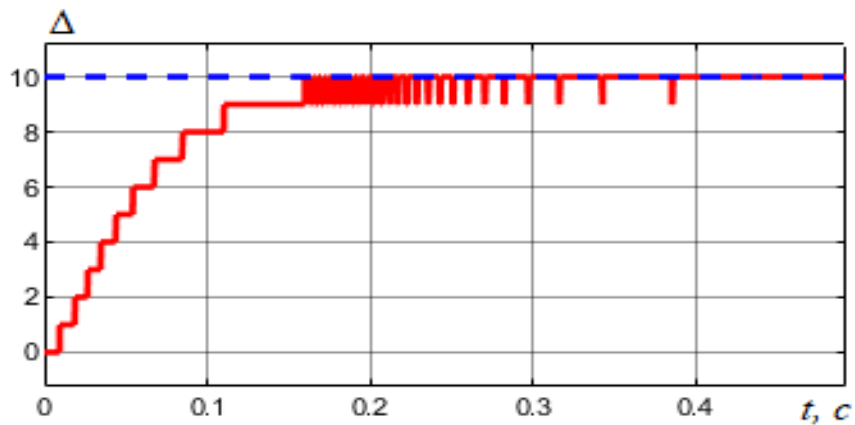
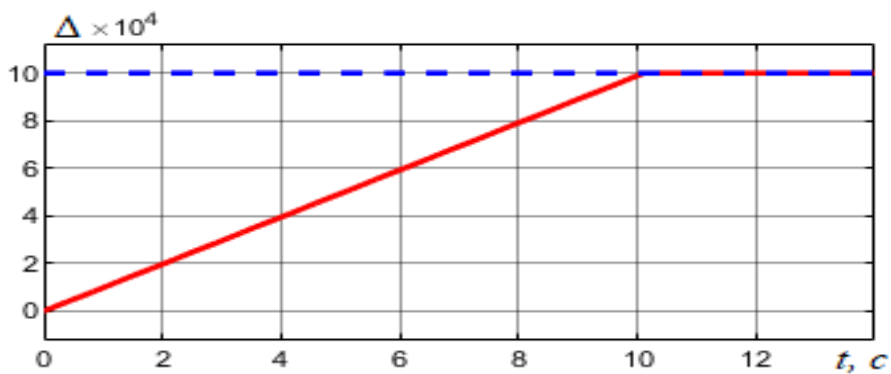


Рис. 1. Имитационная модель координатной системы

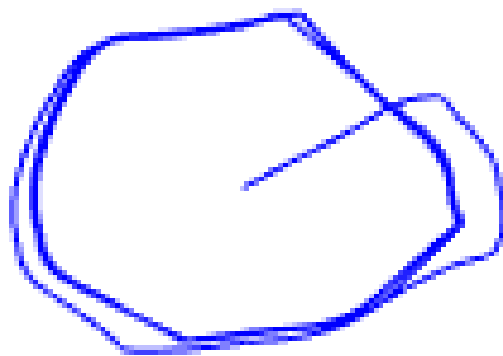


a)

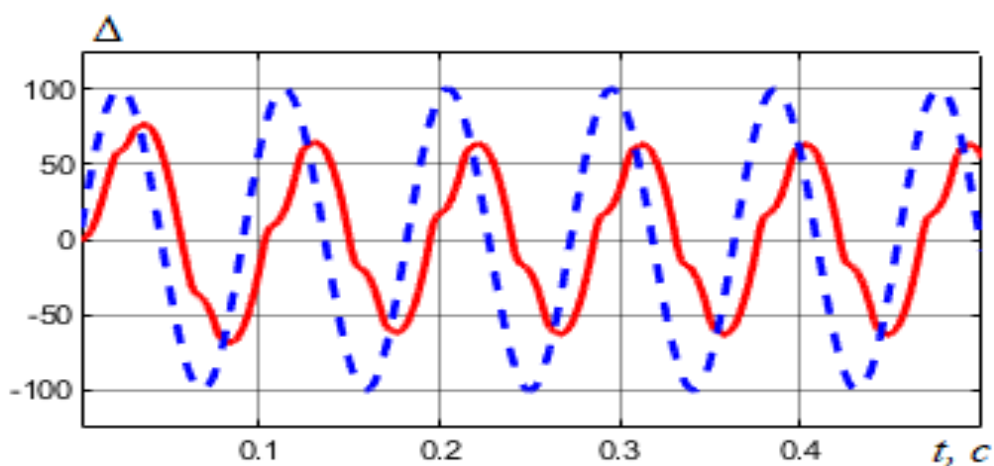


б)

Рис. 2. Переходные процессы при прямолинейном движении



a)



б)

Рис. 3. Траектория движения по окружности:

a – траектория движения лазера; *б* – реакция системы при $\Delta = 100, f = 10$ Гц

Библиографический список

1. Мостовской, М. В. Теоретическая оценка работоспособности регулируемого электропривода координатной системы лазерной установки / М. В. Мостовской, В. В. Слепцов, А. Б. Снедков // Измерительная техника. – 2022. – № 5. – С. 42 – 49.
2. Вакс, Е. Д. Практика прецизионной лазерной обработки / Е. Д. Вакс, М. Н. Миленький, Л. Г. Сапрыкин. – М. : Техносфера, 2013. – 696 с.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЭК

А. П. Мунин, Н. А. Озеров, А. В. Кульбякина

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,
Саратов, Россия*

В широком смысле цифровизация – это преобразование аналитической информации, баз данных и результатов измерений в численный формат для последующей обработки и систематизации в автоматическом режиме и получения информации в электронном виде.

Технологии, которые окажут наибольшее влияние на трансформацию энергетической сферы, включают продвинутую аналитику больших данных, в том числе искусственный интеллект (ИИ), облачные и квантовые вычисления, роботизацию.

Основное направление развития цифровых технологий в области энергетики направлено на обеспечение тесных взаимосвязей между различными энергетическими системами и подсистемами, направлениями цепочек обеспечения потребителей всеми видами энергии. При этом отличительной чертой современных технологий является интеллектуальность, в совокупности с устоявшимся вектором на повышение эффективности производственных процессов и управления ими во всех сферах промышленности РФ. На данном этапе технологического развития внедрение цифровых технологий приводит к повышению производительности, доступности и устойчивости поставок энергии [1].

Предприятиям ТЭК поставлена задача достигнуть максимума автоматизированного «интеллектуального» производства, обеспечивающего бесперебойную работу в режиме реального времени.

Необходимо отметить, что в сложившихся условиях достижение поставленной задачи, возможно лишь при комплексном подходе систем, охватывающем все отрасли и подотрасли ТЭК, таких как: тепло-электроэнергетику, нефтегазовый комплекс (добычу, транспортировку и переработку) и угольную промышленность.

В настоящее время нефтегазовая отрасль столкнулась с целым спектром вызовов, заключающихся в ценовых шоках, существенных изменениях в потребительском спросе, глобальных технологических изменениях, порождающих перестройку подходов к организации управления нефтегазовых предприятий. Потенциал эффективных внедрений заложен в цифровых технологиях, позволяющих существенно сокращать транзакционные издержки и повышать отдачу от вложений в разработку месторождений и добычу нефти, включая использования инновационных технологий в области транспортировки нефти и нефтепродуктов [2].

Анализ международного опыта внедрения цифровых технологий показывает, что внедрение данных технологий на этапах добычи и переработка нефти и газа позволяет повысить эффективность технического обслуживания оборудования на 20...30%, сократить внеплановые простои оборудования на 15...20%, увеличить показатели извлечения и объемы добычи нефти на 10% и снизить удельную себестоимость добычи нефти на 15%.

Библиографический список

1. Салыгин, В. И. Влияние цифровых технологий на развитие мировой энергетики / В. И. Салыгин, И. А. Гулиев, Л. Б. Акиева // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 5. – С. 41 – 44.
2. Хитрых, Д. О цифровой трансформации энергетической отрасли / Д. Хитрых // Энергетическая политика. – 2021.

РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПАРОВОГО КОТЛА ТП-13/В

К. Ю. Сизаев, В. Я. Губарев

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: sigaev.ky@yandex.ru)*

Разработка систем для выполнения автоматизированного теплового расчета парового котла – математических моделей является актуальной ввиду того, что ручной расчет занимает много времени. Целью работы является разработка статической математической модели парового котла, работающего на вторичном топливе металлургического производства – доменный, коксовый газ.

Математическая модель разработана для парового котла ТП-13/В, вертикально-водотрубного, однобарабанного, с естественной циркуляцией и двухступенчатым испарением.

Математические модели паровых котлов позволяют решать многие практические задачи. Некоторые из них предназначены для проведения конструкционного расчета, другие для проведения поверочного расчета. Поверочный расчет требуется, например, при переходе на другой вид топлива, при изменении паропроизводительности. Также математические модели позволяют подбирать оптимальные режимы работы паровых котлов. Тепловой расчет парового котла – основа статических математических моделей.

В качестве основного источника информации при разработке математической модели использовался нормативный метод теплового расчета паровых котлов [1]. Исходной информацией при составлении математической модели парового котла являются: геометрические параметры испарительных и нагревательных поверхностей нагрева котла; состав и расход топлива; качественные параметры питательной воды; качественные параметры перегретого пара; степени загрязненностей поверхностей; присосы холодного воздуха в газовый тракт котла;

В связи с тем, что уравнения для нахождения температуры газов после поверхности записано в неявном виде, то применяется итерационный метод расчета каждой поверхности нагрева.

Результаты расчета парового котла ТП-13/В с помощью статической математической модели указаны в табл. 2, исходные данные в табл. 1.

1. Исходные данные

Параметр	Ед. изм.	Значение
Расход доменного газа	т. нм ³ /ч	100
Расход коксового газа	т. нм ³ /ч	10
Расход природного газа	т. нм ³ /ч	5
Температура холодного воздуха	°С	30
Температура перегретого пара	°С	520
Температура питательной воды	°С	150
Давление перегретого пара	МПа	9,8
Давление питательной воды	МПа	15

2. Результаты расчета

Параметр	Ед. изм.	Значение
Температура газов после КПП 2ст.	°С	748,57
Температура газов после КПП 1ст.	°С	680,23
Температура газов после экономайзера 2ст.	°С	465,12
Температура газов после ВЗП 2ст.	°С	385,08
Температура газов после экономайзера 1ст.	°С	236,61
Температура газов после ВЗП 1ст.	°С	159,93
Температура пара на выходе из КПП 1ст.	°С	475,45
Температура пара на входе в КПП 2ст.	°С	440,94
Температура пара на выходе из КПП 2ст.	°С	519,94
Температура воды на входе в экономайзер 1ст.	°С	150
Температура воды на выходе из экономайзера 1ст.	°С	217,7
Температура воды на выходе из экономайзера 2ст.	°С	307,66
Температура воздуха на входе в ВЗП 1ст.	°С	30
Температура воздуха на выходе из ВЗП 1ст.	°С	180,77
Температура воздуха на выходе из ВЗП 2ст.	°С	329,06

Библиографический список

1. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. – СПб. : НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
2. Липов, Ю. М. Компонировка и тепловой расчет парового котла : учебное пособие / Ю. М. Липов, Ю. Ф. Самойлов, Т. В. Виленский. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.

МЕТОДИКА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: selivanova_zm@mail.ru)

Развитие теплоэнергетической промышленности связано с теплоизоляционными материалами, при производстве которых необходимо осуществлять неразрушающий контроль (НК) теплофизических свойств материалов (ТФС) на соответствие требуемым параметрам согласно нормативным документам, а также обеспечить допустимую погрешность измерения теплофизических свойств объектов исследования и оперативность измерения.

Для неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов применяется разработанная интеллектуальная информационно-измерительная система (ИИИС) [1, 2], отличающаяся структурными компонентами, реализующими методику НК ТФС материалов в условиях неопределенности.

Методика определения ТФС материалов включает несколько этапов:

1. Определение состояния функционирования ИИИС НК ТФС материалов в условиях неопределенности, которое определяется множеством

$$Q = \{Y_i, S_j, I_k, X_c, M_N, U_v\},$$

где $Y = \{Y_i\}$ – множество режимов работы ИИИС, $i = 1, 2, \dots, n$ – число режимов (Y_k – режим контроля, Y_n – режим теплофизического измерения, Y_o – режим обработки результатов измерений); $S = \{S_j\}$ – множество структур ИИИС, $j = 1, 2, \dots, m$ – число структур ИСТИ; $I = \{I_k\}$ – множество информационных ситуаций, $k = 1, 2, \dots, l$ – число информационных ситуаций при функционировании ИИИС; $X = \{X_c\}$ – множество измерительных ситуаций, $c = 1, 2, \dots, p$ – число измерительных ситуаций при функционировании системы; $M = \{M_N\}$ – множество исследуемых материалов, $N = 1, 2, \dots, d$ – количество исследуемых материалов при проведении теплофизических измерений для различных диапазонов теплопроводности материалов (низкий, средний, высокий); $U = \{U_v\}$ – множество управляющих сигналов ИИИС, $v = 1, 2, \dots, q$ – число управляющих сигналов при реализации режимов функционирования ИИИС.

2. Выбор функциональной ситуации ИИИС, определяющей режим работы системы Y_i , для которого выбираются соответствующие структуры ИИИС, информационные и измерительные ситуации, управляющие сигналы U_v , идентифицируется диапазон теплопроводности исследуемого материала.

3. Выбор режима работы ИИИС, исходя из функциональных ситуаций:

$\{y_k, U_v\}$ – режим контроля, $\{y_n, U_v\}$ – режим измерений, $\{y_o, U_v\}$ – режим метрологической обработки измерительных данных. Множество состояний для работы ИИИС при условии неопределенности измерительных ситуаций разделяются на подмножества Q_1, Q_2, Q_3 . Элементы множества Q (Q_1, Q_2, Q_3) $\in (Y \times S \times I \times X \times M \times U)$ включают элементы подмножеств Q_1, Q_2, Q_3 .

4. Проведение тестовых измерений исследуемых материалов для определения диапазона теплопроводности, к которому относится теплоизоляционный материал (низкий, средний, высокий) для диапазона $0,02 \dots 0,2$ Вт/м·К.

5. Идентификация измерительной ситуации в условиях неопределенности с использованием методов искусственного интеллекта, которая предполагает выбор метода и алгоритма теплофизических измерений, структуры ИИИС, определение режимных параметров и мощности нагрева исследуемых теплоизоляционных материалов в соответствии с диапазоном теплопроводности, оптимального временного интервала между теплофизическими измерениями. Если решается задача выбора измерительных ситуаций с близкими показателями сформированных множеств информационной среды функционирования ИИИС, то в этом случае решается оптимизационная задача с учетом вероятности. Критерием оптимальности является суммарные затраты на формирование модулей различных видов измерительных ситуаций с учетом диапазонов теплопроводности материалов.

6. Выполнение неразрушающего контроля ТФС теплоизоляционных материалов в соответствии с выбранной измерительной ситуацией.

7. Метрологический анализ и оценка результатов НК ТФС материалов.

Результаты экспериментальных исследований интеллектуальной информационно-измерительной системы устанавливают повышение оперативности и точности определения теплофизических свойств материалов, что подтверждает практическую значимость данной методики при неразрушающем контроле качественных свойств объектов исследования теплоэнергетической промышленности.

Библиографический список

1. Selivanova, Z. M., Skomorokhov, K. V., Belyaev, M. P., Varepo, L. G., Nagornova, I. V. Modeling measurement situation in intelligent information and measurement system to determine thermo-physical properties of materials // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1901(1), 012023 doi:10.1088/1742-6596/1901/1/012023

2. Чернышов, Н. Г. Построение системы телеметрии энергоемкими объектами с использованием промышленных контроллеров ICP DAS / Н. Г. Чернышов, Р. В. Цыганков, К. В. Чикаев // Вопросы современной науки и практики. – 2015. – № 1. – С. 225 – 230.

Секция 2

ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ПРАВО: ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ

О. А. Пугина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: pugina.olga@mail.ru)

Энергетика для юристов сегодня – одно из наиболее увлекательных и перспективных тенденций. Это обусловлено потребностью государственного и частного энергетического сектора промышленности. И ведущие вузы России помогают работодателям готовить специалистов, обладающих не только правовыми знаниями, но и минимальным пониманием экономической и технической основы энергетической отрасли. Поэтому методика преподавания энергетического права содержит специфические приемы и педагогические технологии.

Прежде всего, для познания ценностей энергетического права, необходимо усвоить содержание особенного понятийного аппарата. Для этого следует расширять гуманитарное мышление юристов в техническом направлении. И начинать надо с преподавателя, который должен активизировать свою вторую половину полушария и обращаться за консультациями к энергетикам. Можно еще реализовать принцип сотрудничества – приступать к поиску содержания понятия совместно со студентами. Совместное творчество, как на лекциях, так и на семинарах оживит занятие, приведет к дискуссии и лучшему усвоению материала. Терминологическая ясность позволит точно исполнять нормативные акты, систематизировать источники энергетического права, чтобы в будущем избегать ошибок правоприменения.

В целях изучения энергетических правовых отношений рекомендуется подробно рассматривать споры и разногласия с участием поставщиков и потребителей. И обращать внимание на роль государства в регулировании интересов публичных и частных субъектов энергетического права. В этих целях на практических занятиях следует анализировать решения арбитражных судов, чтобы на субъективном опыте исследовать юридические последствия исполнения и правоприменения энергетического законодательства. Отбор судебной практики по заданной тематике поручается студентам, потом она разъясняется, систематизируется, и создаются сборники учебных задач.

Немаловажное значение имеет речь, как преподавателя, так и студента. Юрист должен говорить, как говорит народ, и мыслить, как мыслит ученый [2, 12]. Существенным фактором современного юридического образования является акцент на словесность. Поэтому необходимо осмысление норм законодательства и последующее изложение их содержания понятным языком права.

Из сказанного вытекают следующие требования к преподаванию энергетического права в высших учебных заведениях:

– делать акцент на изучение понятийного аппарата энергетического законодательства и учитывать неравнозначное толкование одних и тех же норм в различных источниках права;

– развивать умственные силы. Провоцировать студентов на самостоятельный поиск решений поставленных учебных задач. Без этого университеты будут выпускать рутинеров-ремесленников, которые будут способны повторять только то, что делали и до них [1, 15].

Университеты не могут готовить юристов-практиков, но они не должны готовить и юристов-теоретиков. Задача университета научить студентов тем компетенциям, овладев которыми он сможет стать ученым, судьей, адвокатом, администратором, работать в сфере кооперативной и частной собственности.

Библиографический список

1. Крашенникова, Е. Парадоксы в речи юриста / Е. Крашенникова // Российская юстиция. – 2001. – № 11. – С. 12.

2. Боголепова, Е. А. Николай Павлович Боголепов: записки / Е. А. Боголепова. – М. : печатня С. П. Яковлева. – 1912. – 460 с.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАНАЛА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ С OFDM СИГНАЛАМИ

А. К. Бабаев, И. В. Хорохорин, А. Е. Хрипченко, С. Н. Данилов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: babaiijj@gmail.com, il130964@mail.ru, alekc120268@gmail.com)*

Разработчик алгоритма работы системы должен оценивать последствия своей деятельности. Поэтому необходим инструмент для априорной оценки свойств системы. Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет решить эту проблему с достоверностью, которая определяется компетентностью разработчика и эффективностью применяемых им методов. Применение нужных методов и инструментов моделирования позволяет разработчикам сложных систем получать на основе построенных математических моделей правдоподобные оценки проектируемых систем и прогнозировать возможные эффекты от применения этих систем.

Хороший метод моделирования должен давать исследователю набор правил, выполнение которых неизбежно приведет к построению модели, адекватной заданному процессу. При этом гарантируется вполне определенная степень правдоподобия.

Пусть некоторый сложный объект обладает некоторым интересующим нас свойством (количество битовых ошибок – КБО). Для получения математической модели, описывающей данное свойство необходимо:

1. Определить показатель этого свойства, т.е. определить меру свойства в некоторой системе измерения.

2. Установить перечень свойств, с которыми этот показатель связан некоторыми отношениями. Это могут быть внутренние свойства объекта и свойства внешней среды. В нашем случае это все начальные параметры системы.

3. Описать свойства внешней среды (помеховые сигналы, шумы), влияющие на искомый показатель, внутренние свойства объекта, как параметры амплитудной характеристики обеих частей компандера сигнала, а неучтенные свойства отнести к группе факторов.

4. Выяснить закономерные отношения между КБО и всеми учитываемыми факторами и составить математическую модель.

В настоящее время существует множество систем графической визуализации. Каждая из них имеет свои особенности, но в основном они достаточно эффективны при решении рассматриваемой задачи. Для определенности для моделирования был применен математический пакет Mathcad.

В качестве объекта моделирования рассматривался канал электросвязи, по которому передается цифровая информация с применением OFDM-модуляции и построена его модель. Эта модель и являлась объектом дальнейшего исследования. Структура объекта моделирования показана на рис. 1. При создании имитационной модели учитывалась некоторая исходная информация, структурная схема канала и его частей; уравнения, описывающие моделируемую систему и ее части.

В качестве выходного показателя выбрано, как сказано выше, количество битовых ошибок, которое оценивалось на основе сравнения фазовых созвездий на выходе передатчика и приемника канала.

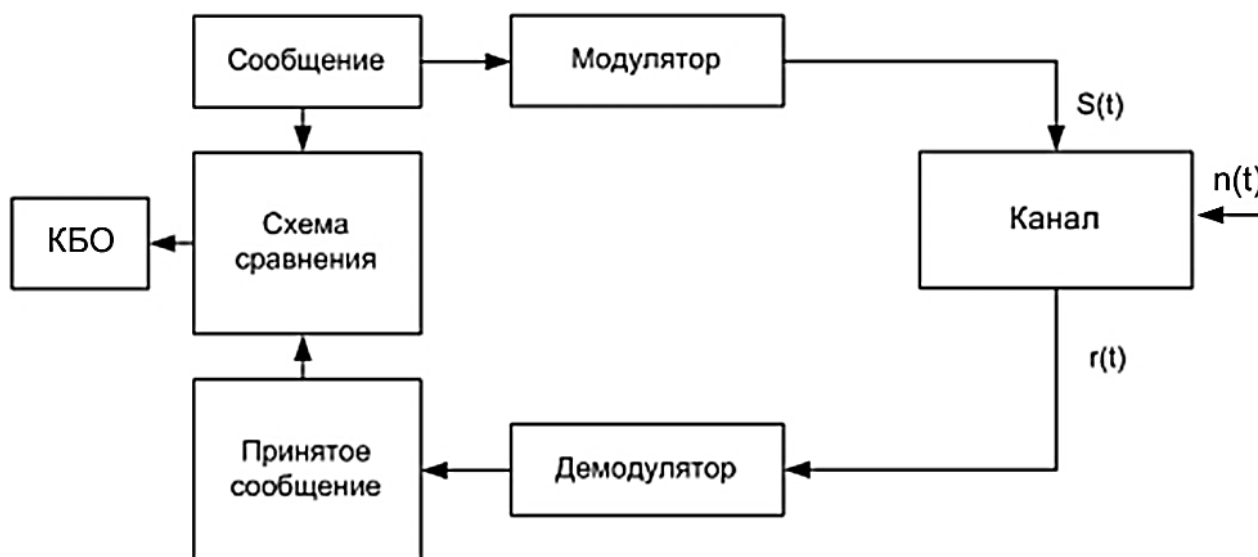


Рис. 1. Структура модели канала электросвязи

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).
2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).
3. Наимов, У. Р. Синтез канала слежения за параметрами случайного процесса в условиях их скачкообразного изменения / У. Р. Наимов, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин // Радиотехника. – 2019. – № 2. – С. 84 – 89.
4. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – М. : Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА OFDM КАНАЛА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

А. К. Бабаев, И. В. Хорохорин, А. Е. Хрипченко

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: babaiijj@gmail.com; il130964@mail.ru; alekc120268@gmail.com)*

Математические методы моделирования – это способ получения новых знаний об исследуемом объекте. Математическое моделирование – построение формальными методами абстрактного объекта, по своим функциям соответствующего исследуемому объекту для дальнейшего применения математических методов количественного и качественного анализа. При построении модели необходимо хорошо представлять цель моделирования, понимать особенности функционирования моделируемого устройства. Математическое моделирование есть метод решения новых сложных проблем, поэтому оно должно предшествовать разработке устройства.

Математическая модель строится с некоторым упрощением. Она лишь приближенно описывает реальный объект исследования, и результаты исследования носят приближенный характер. Точность исследования зависит от степени сходства модели и объекта и от точности применяемых методов вычислительной математики.

В данной работе была построена и исследована модель передатчика цифровой информации с применением OFDM-модуляции. Структура объекта моделирования показана на рис. 1. При создании имитационной модели учитывалась некоторая исходная информация, структурная схема передатчика и его частей; уравнения, описывающие моделируемую систему и ее части. Для получения математической модели передатчика было необходимо:

задать амплитудно-фазовое созвездие, соответствующее типу модуляции сигнала; задать точки фазового созвездия в комплексной форме записи; сформировать передаваемое сообщение в виде символов; получить квадратуры OFDM сигнала, выполнив обратное преобразование Фурье; рассчитать отношение максимальной амплитуды сигнала к его среднеквадратичному значению (пик-фактор – ПФ).

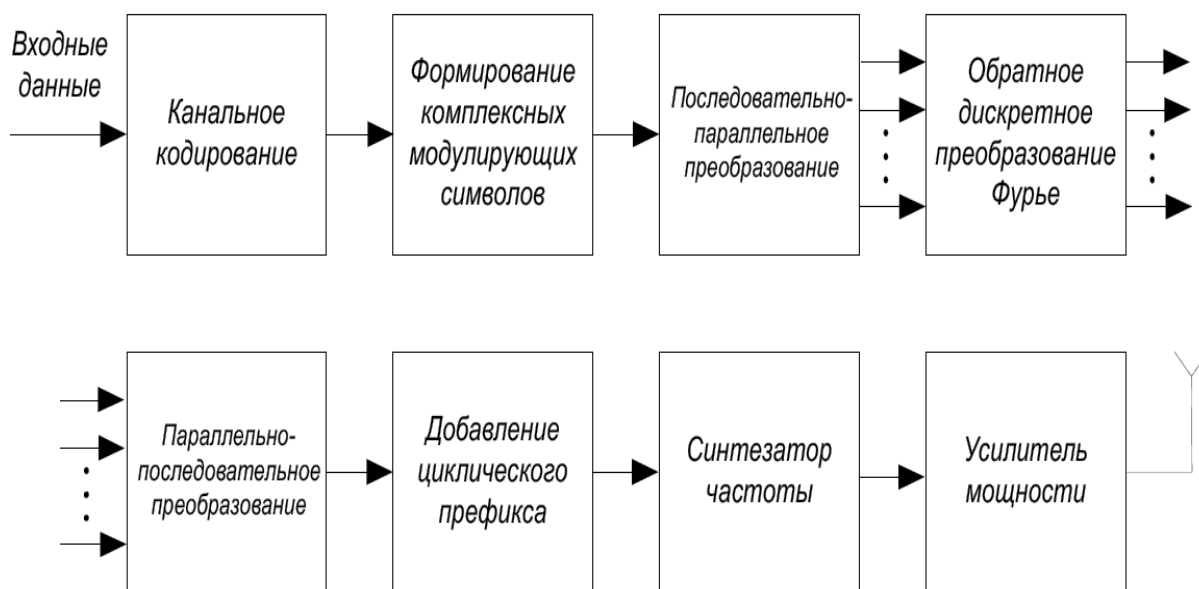


Рис. 1. Структура передатчика

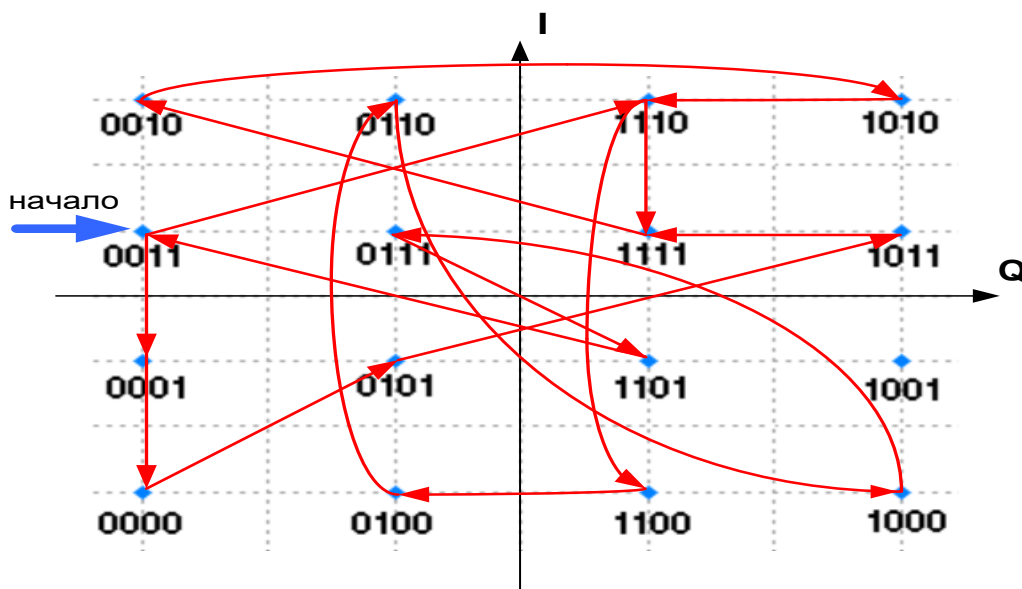


Рис. 2. Передаваемое сообщение на амплитудно-фазовом созвездии

В качестве инструмента для решения этой задачи использовался математический пакет Mathcad. В качестве выходного показателя выбран, как сказано выше, пик-фактор, который рассчитывался на основе квадратур моделированного сигнала. Для уменьшения высокого значения пик-фактора в модели был предусмотрен модуль компрессии по логариф-

мическому закону. В зависимости от степени сжатия менялось значение ПФ и также менялось значение количества битовых ошибок на выходе приемной части модели. Это позволило находить наилучшее значение коэффициента сжатия. Полученная модель допускает модификации и включение дополнительных модулей при необходимости, например модуля канального кодирования.

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – М. : Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

КОМСОМОЛЬСКИЙ И МОЛОДЕЖНЫЙ ПОЧИН В ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ (1946 – 1950 гг.)

С. А. Фролов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: seif.saf@rambler.ru)*

По мнению современных ученых, электроэнергетика занимает в энергетическом секторе особое положение. Это обусловлено и техническими особенностями самого феномена – электричество и его значением в экономике всего мира. Роль электричества в жизнедеятельности людей и экономики переоценить невозможно, именно фактор доступности электрической энергии в конечном итоге предопределяет важнейшую функцию государства по обеспечению необходимого качества жизни населения. Электроэнергетика является «в полном смысле слова общественным достоянием России» поскольку электрические сети «создавались трудом многих поколений граждан страны» [1, с. 209].

Отсюда, целью исследования является изучение наследия развития электроэнергетики в послевоенные годы СССР и выявление роли молодежи, комсомольцев в становление сельской электрификации Тамбовской области.

На наш взгляд, для реализации поставленной цели особого внимания заслуживает исследование энтузиазма молодежи и комсомольцев в выполнении плана восстановления и развития народного хозяйства СССР на 1946 – 1950 гг. и в частности электрификации села. Постановлением ЦК ВЛКСМ «Об участии комсомольских организаций в развитии сельской электрификации» предусматривалось вовлечение молодежи в стройку в 20 районах Тамбовской области на малых реках [2, Д. 685, Л. 42]. Так, например, комсомольцы Мичуринского района принимали участие в строительстве Устьянской ГЭС. Было проведено восемнадцать субботников и воскресников, в каждом участвовало по 60 – 70 человек, вырыт котлован и отнесено земли более 2400 кв. м. земли, подвезен лесоматериал и хворост, завершена плотина. К участию в субботниках комсомольцы привлекали, и население ближайших сел. В результате, к концу июня 1946 г. одиннадцать рядом расположенных колхозов получили электроэнергию [2, Д. 715, Л. 19]. В Сампурском и Знаменском районах, помощь в строительстве электростанций осуществлял завод № 204. Силами завода были выполнены проекты для постройки четырех электростанций, произведены монтажные работы, изготовлены распределительные щиты, залито 800 изоляторов и т.д. Дополнительно заводом для строительства электростанций отпускались различные материалы: уголь, железо, битум, предохранительные колодки. При этом на выполнении заказов по изготовлению распределительных щитов и других заказов были задействованы комсомольцы электроотдела завода. Два комсомольца работали в бригаде по монтажу электрических станций, оборудованию электропроводкой домов колхозников, установкой изоляторов и других мелких работ. Также на заводе осуществлялась подготовка кадров для сельских электростанций [2, Д. 917, Л. 37]. Активно участвовали сельские комсомольцы в строительстве электростанций Тамбовской области и в последующие годы. В области было построено в 1948 г. 37 электростанций, в 1949 г. построили 47 сельских электростанций и электрифицировали 361 колхоз [2, Д. 944, Л. 2]. В результате решением бюро ЦК ВЛКСМ от 11 августа 1949 г. Тамбовская областная комсомольская организация была награждена почетной грамотой за активное участие в строительстве сельских электростанций [2, Д. 886, Л. 5]. Комсомольцы и молодежь Мутасьевого, Корельского, Устьянского сельских советов Моршанского района после постройки важного по значению Мутасьевого шлюза на реке Цне, активно переключились на завоз материала и оборудования для строительства самой большой электростанции в области, которую планировали начать строить с первого апреля 1950 г. [2, Д. 944, Л. 3]. В результате, днем электричество активно использовалось в колхозном производстве, вечером «лампочка Ильича» ярко светила в домах колхозников, в избах – читальнях, библиотеках и клубах, на складах и фермах.

Таким образом, благодаря вовлечению в строительство сельских электростанций в 1946 – 1950 гг. молодых, инициативных и активных комсомольцев удалось не только обеспечить развитие электрификации в колхозном производстве, но и обеспечить необходимое качество жизни населения Тамбовской области.

Библиографический список

1. Акимов Л. Ю. Актуальные вопросы обеспечения законности в сфере электроэнергетики в периоды кризисных явлений в экономике / Л. Ю. Акимов ; под. ред. А. В. Габова // Энергетическое право: модели и тенденции развития : сб. материалов III Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород : ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2022. – 300 с.

2. Государственный архив социально-политической истории Тамбовской области (ГАСПИТО). Ф. 1184. Оп. 1. Д.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПЕРЕХОДА НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Н. С. Храмцов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

Потребление человеком энергоресурсов постоянно возрастает, однако, природные ресурсы не могут восстанавливаться с той же скоростью. Человек уже истратил большую часть запасов нефти, газа и угля, которые используются в качестве топлива. Поэтому на данный момент встает вопрос о замене привычных топливных энергоресурсов на альтернативные источники энергии.

В последние десятилетия обеспеченность запасами нефти в мире растет. Так, например, общие доказанные запасы нефти возросли с 10,2 млрд. т в 1950 г. до 141,7 – в 1998. При существующем уровне добычи (3,3 млрд. т) обеспеченность запасами составляет чуть более 40 лет. В структуре запасов нефти доля развивающихся стран 86%, ОПЕК – 77%, стран Ближнего и Среднего Востока – 66%, группа промышленно развитых стран ОЭСР располагает 12%.

Добыча энергоресурсов сопровождается огромными энергозатратами. Во-первых, из-за географических особенностей местности многие заводы по переработке энергоресурсов не могут располагаться рядом с местом добычи. Во-вторых, чтобы доставить и переработать ресурсы приходится затрачивать огромное количество энергии. Для наглядности представлено сравнение блок-схем «добыча ресурсов – получение энергии» для электростанций.

Эти схемы наглядно показывают преимущество альтернативных источников энергии над топливными.

Проблема экологии является важнейшим аспектом всей энергодобычи. Было не мало случаев утечки нефти в океан по причинам механических повреждений судов или контейнеров. Одна капля нефти может загрязнить 1 м³ воды, исходя из загруженности судна, загрязнение может нести непоправимые последствия для целых морей, если позволить нефти растечься.

Все топливные энергоресурсы невозобновляемые, поэтому вопрос о переходе на альтернативные источники энергии в настоящее время как никогда актуален. Нефть и уголь имеют крайне большой срок восстановления от 50 до 350 млн лет (отсюда и название

«невосстанавливаемые источники энергии»), поэтому нефть, которую сейчас добывают, образовывалась буквально с конца Палеозойского периода (приблизительно 300 млн лет). По приблизительным оценкам, активно используемые топливные ресурсы (нефть и уголь), могут иссякнуть уже к XXII веку.

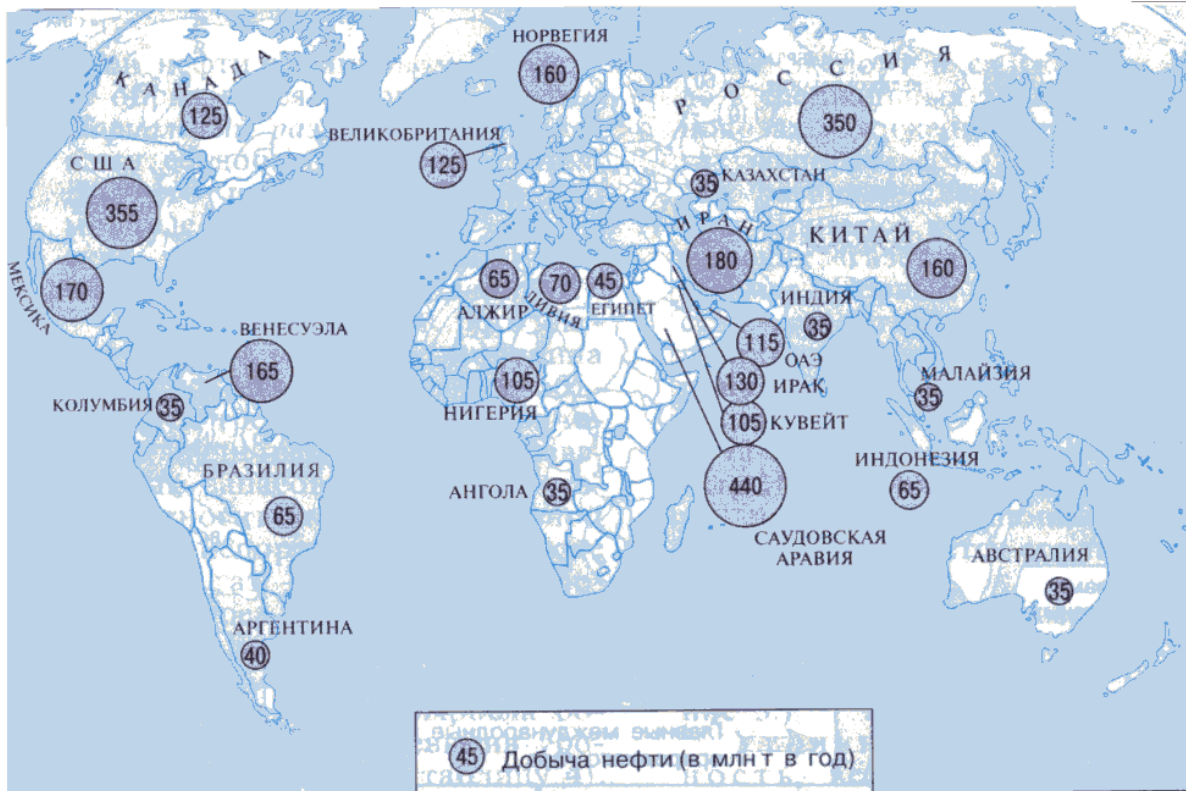


Рис. 1. Мировая добыча нефти

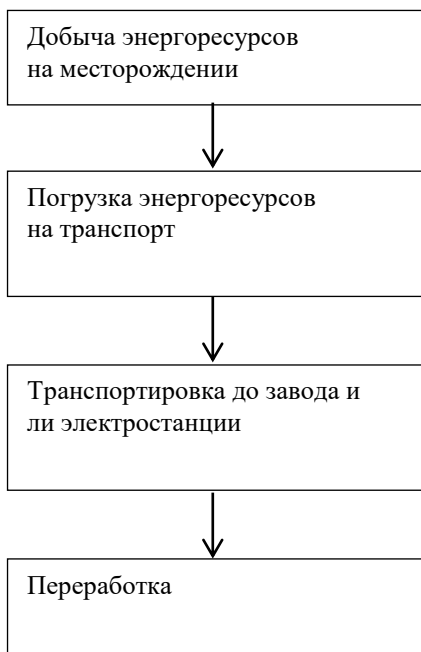


Схема 1. Переработка топливных энергоресурсов

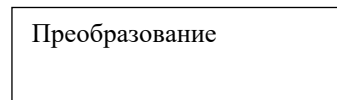


Схема 2. Преобразование энергии на альтернативной электростанции

Библиографический список

1. Голицын, М. В. «Альтернативные энергоносители» / М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Проница. – М. : Наука, 2004.
2. Уделл, Свен. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии / Свен Уделл. – М. : Знание, 1980.
3. Volker Quaschnig. «Understanding Renewable Energy Systems». – Изд. Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, 2005.

ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ В НЕБОСКРЕБАХ

Н. С. Храмов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

В современном мире технологичность зданий постоянно развивается, и встает вопрос об автономном энергообеспечении самих зданий. Солнечные панели, особенно в мегаполисах, не могут вырабатывать достаточно энергии для отдельных зданий, особенно для небоскребов, по причине малой площади размещения, поэтому инженерные решения обращаются в сторону ветровых генераторов. Однако, такое инженерное решение встречается с рядом проблем во время конструирования.

Главной причиной невозможности использования ветрогенераторов являются вибрации, которые вызывают турбины во время вращения. Поскольку ветровая турбина (особенно лопастная) является механическим устройством, то во время работы она передает импульс в места крепления. Схема 1 демонстрирует это явление наглядно.

Подобные импульсы отражаются на целостности каркаса здания, что приводит к появлению трещин и разрушению конструкций. Куда опаснее внутренние повреждения, так как их нельзя определить визуально (Схема 2).

Из физики известно, что механические вибрации усиливаются с ростом скорости, поэтому одним из способов решения проблемы является уменьшение скорости вращения лопастей генератора. Как же добиться такого эффекта, не снижая уровня вырабатываемой энергии? Здесь стоит затронуть конструктивные особенности генератора, а именно передаточное соотношение.

Увеличивая число зубцов спура и(или) уменьшая число зубцов на пиньйоне скорость вращения вала генератора возрастает, однако и прикладываемая сила должна быть больше. Тут стоит учитывать силу ветра и энергозатраты здания, чтобы рассчитать оптимальное соотношение шестерней.

Также необходимо использовать виброгасители в местах крепления турбин и учитывать размер лопастей генератора. В совокупности виброгасители и правильный расчет передаточного соотношения и размера лопастей могут свести силу механические вибрации практически к нулю ($F_v = 0$).

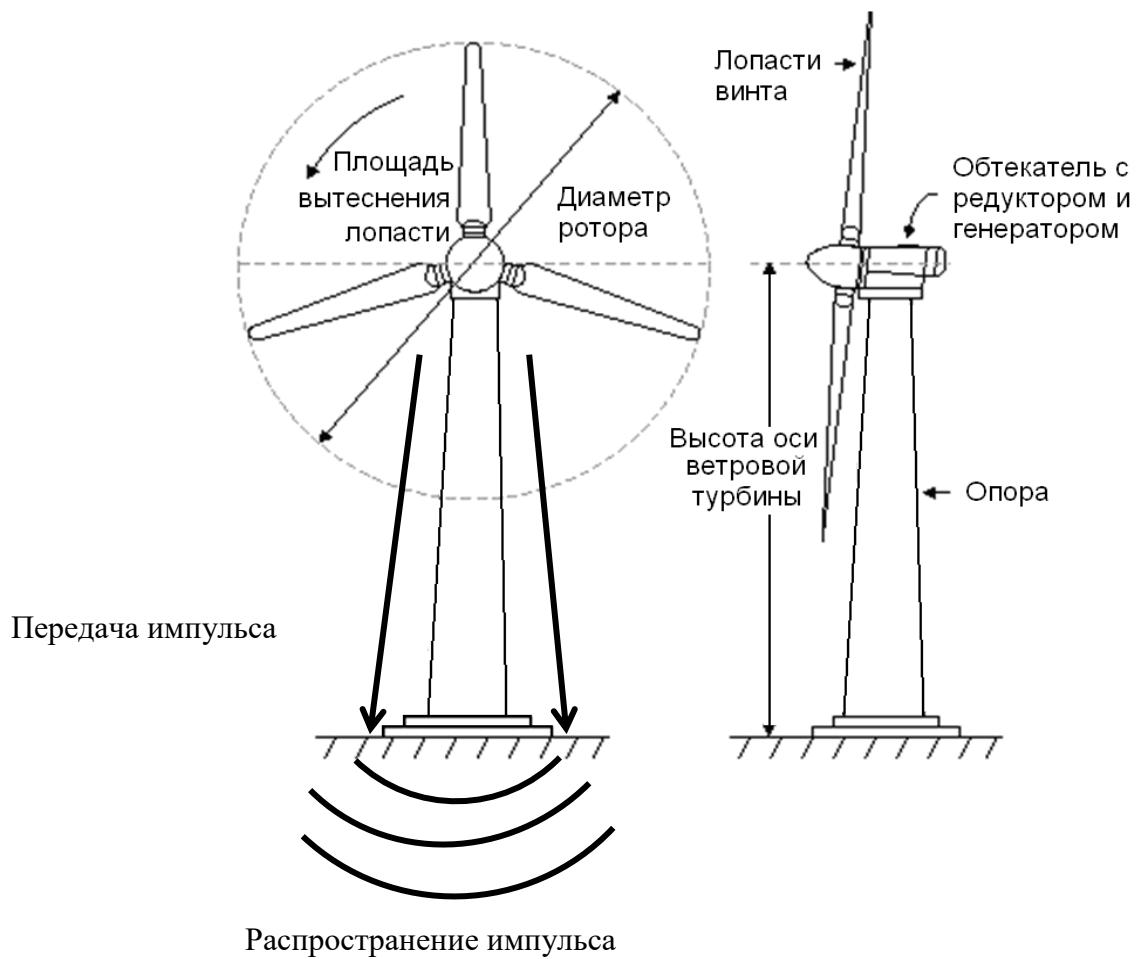


Схема 1. Распространение вибраций ветрогенератора

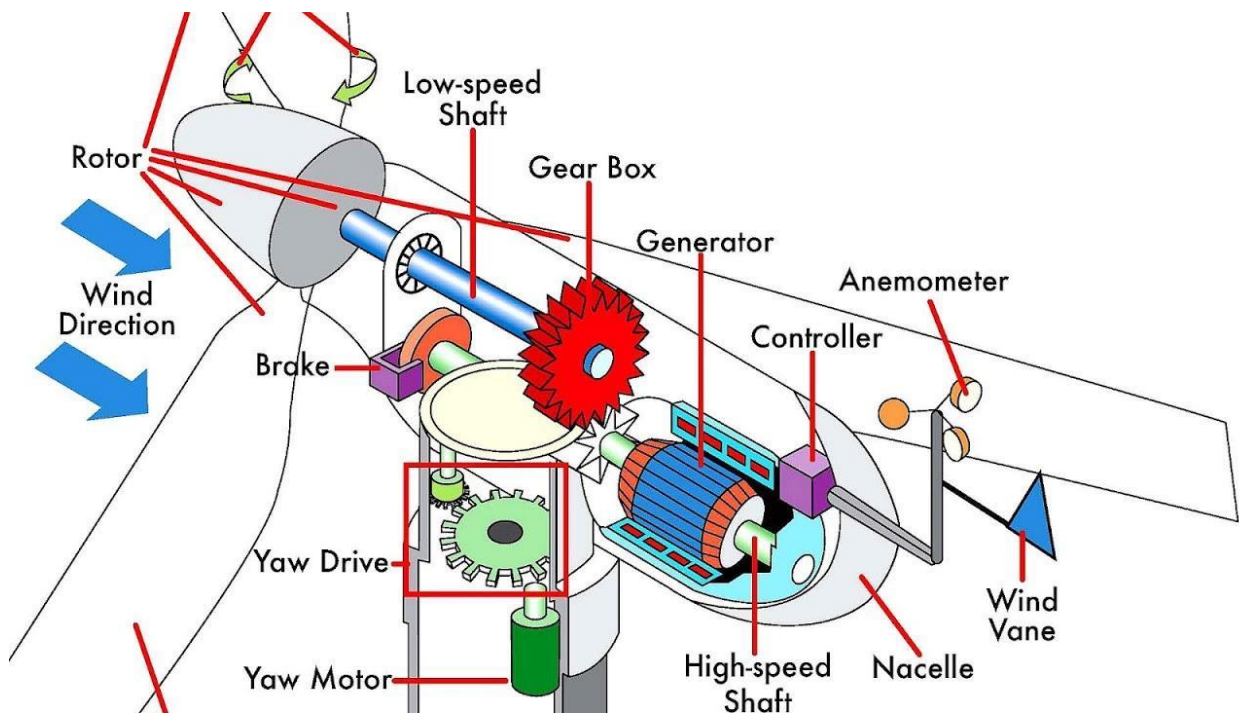


Схема 2. Внутренне строение ветрогенератора

Библиографический список

1. Голицын, М. В. «Альтернативные энергоносители» / М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Проница. – М. : Наука, 2004.
2. Уделл, Свен. Солнечная энергия и другие альтернативные источники энергии / Свен Уделл. – М. : Знание, 1980.
3. Volker Quaschnig. «Understanding Renewable Energy Systems». – Изд. Carl Hanser Verlag GmbH & Co KG, 2005.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А. А. Уютнов¹, М. А. Каменская¹, С. В. Артемова²

¹Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

²МИРЭА – Российский технологический университет

(e-mail: art_mari@bk.ru)

Ежедневный контроль объема и качества поставляемых ресурсов возможен только при использовании автоматизированных информационно измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ).

С развитием и увеличением набора требуемых функций информационно-измерительных систем (ИИС) появился запрос на повышение точности снимаемых показаний, необходимых в ходе работы этих систем. Метрологической надежностью называется способность системы измерения сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение заданного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации. Прогнозирование метрологической надежности ИИС является важным условием их развития, для этого применяются методы по математическому моделированию и анализу вероятностей. Рассмотрим ИИС на примере автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии.

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

Структурная схема АИИС КУЭ (рис. 1) состоит из трех уровней: информационно-вычислительного комплекса, информационно-вычислительного комплекса электроустановки, включающего в себя устройства сбора и передачи данных и измерительно-информационного комплекса точек измерений интеллектуальных счетчиков электроэнергии.

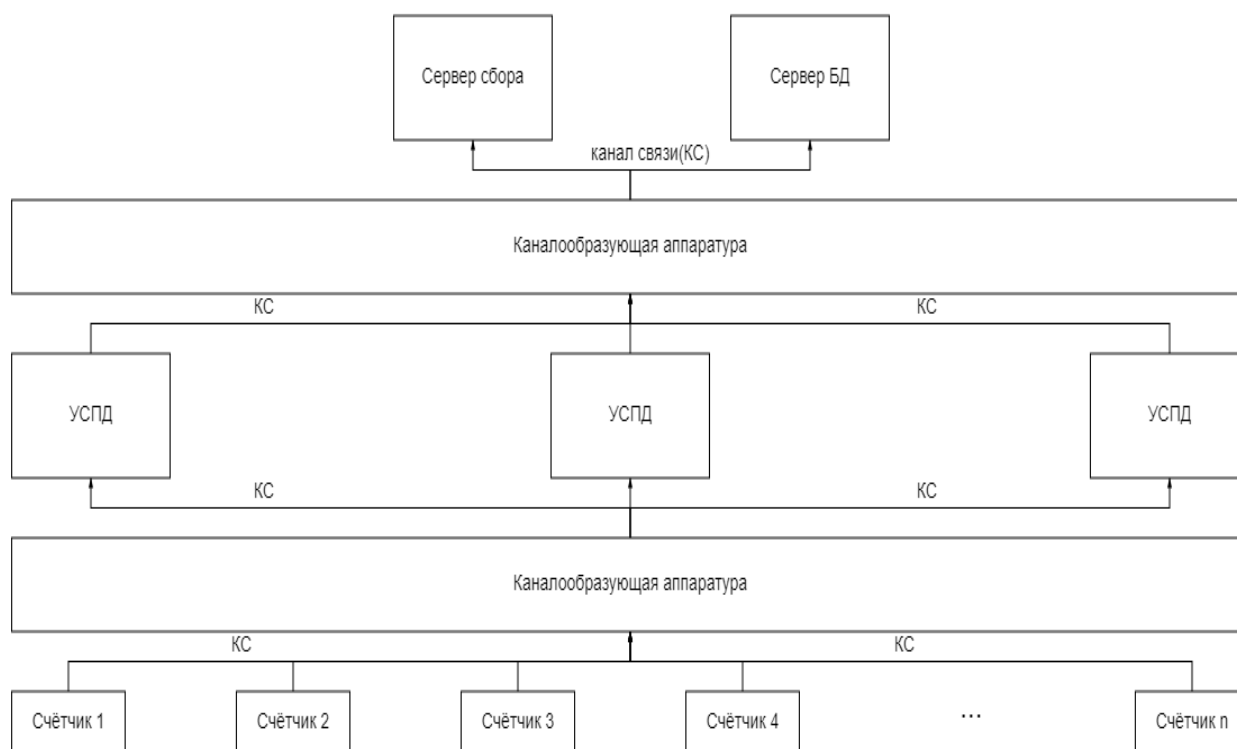


Рисунок 1. Структурная схема автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии

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

Применение автоматизированных информационно-измерительных систем в системах коммерческого учета электроэнергии оптимизирует затраты и повышает эффективность их работы.

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.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Н. П. Моторина¹, Е. В. Тетеревлева²

¹Старооскольский технологический институт

им. А. А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСиС», Старый Оскол, Россия

(e-mail: motorina_np@mail.ru)

²Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Республика Коми

Перечень и нормативные (допустимые) значения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) были установлены ГОСТ 13109–97 «Электрическая энергия. Требования к качеству электроэнергии в электрических сетях общего назначения». С 2014 года введен межгосударственный стандарт ГОСТ 32144–2013, в котором определены соответствующие ПКЭ, их уровни, методы оценки. Снижение качества электроэнергии (ЭЭ) обуславливает: увеличение потерь ЭЭ; перегрев машин, ускоренное старение изоляции, сокращение срока службы; рост потребления ЭЭ и требуемой мощности электрооборудования; нарушение работы и ложные срабатывания релейной защиты и автоматики (РЗА); сбои в работе электронных систем управления, вычислительной и микропроцессорной техники, специфического оборудования; вероятность возникновения однофазных и многофазных КЗ из-за ускоренного старения изоляции машин и кабелей; появление опасных наведенных напряжений в проводах и тросах ремонтируемых ЛЭП; помехи в теле- и радиоаппаратуре, ошибочная работа точного оборудования; неправильная работа счетчиков ЭЭ; угрозы здоровью и жизни работников.

Недавно появилось понятие «качество электроснабжения», подразумевающее общую характеристику надежности, качества ЭЭ, энергоэффективности. Качество ЭЭ входит в характеристику электромагнитной совместимости. Прогресс полупроводниковых технологий и внедрение силовых быстродействующих выпрямителей, инверторов на МОП биполярных транзисторах, управляемых электрическим полем (MOSFET) и полностью управляемых биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) «создали проблему» наложения высокочастотных гармонических колебаний на основной сигнал частотой 50 Гц. Выпрямитель, стоящий в современных инверторах напряжения, имеет сигналы, представленные на рисунке 1. В зависимости от региона к этому добавляются те или иные источники несинусоидальных сигналов. В Белгородской области, на Курской магнитной аномалии (КМА) есть такие крупные потребители преимущественно реактивной мощности в виде дуговых сталеплавильных печей, относящиеся к резкопеременным несимметричным нагрузкам. Горение дуги ДСП возможно при наличии достаточного угла сдвига фаз между первыми гармониками тока и напряжения φ_n : $\operatorname{tg}\varphi_n \geq 2/\pi = 0,637$; $\varphi_n \geq 32,5^\circ$.

Оценивать значения реактивной мощности, потребляемой ДСП, на основании чисто теоретических предпосылок весьма затруднительно из-за влияния конструктивных параметров ДСП, материала электродов, состава скрапа, несимметрии и несинусоидальности режима и ряда других параметров.

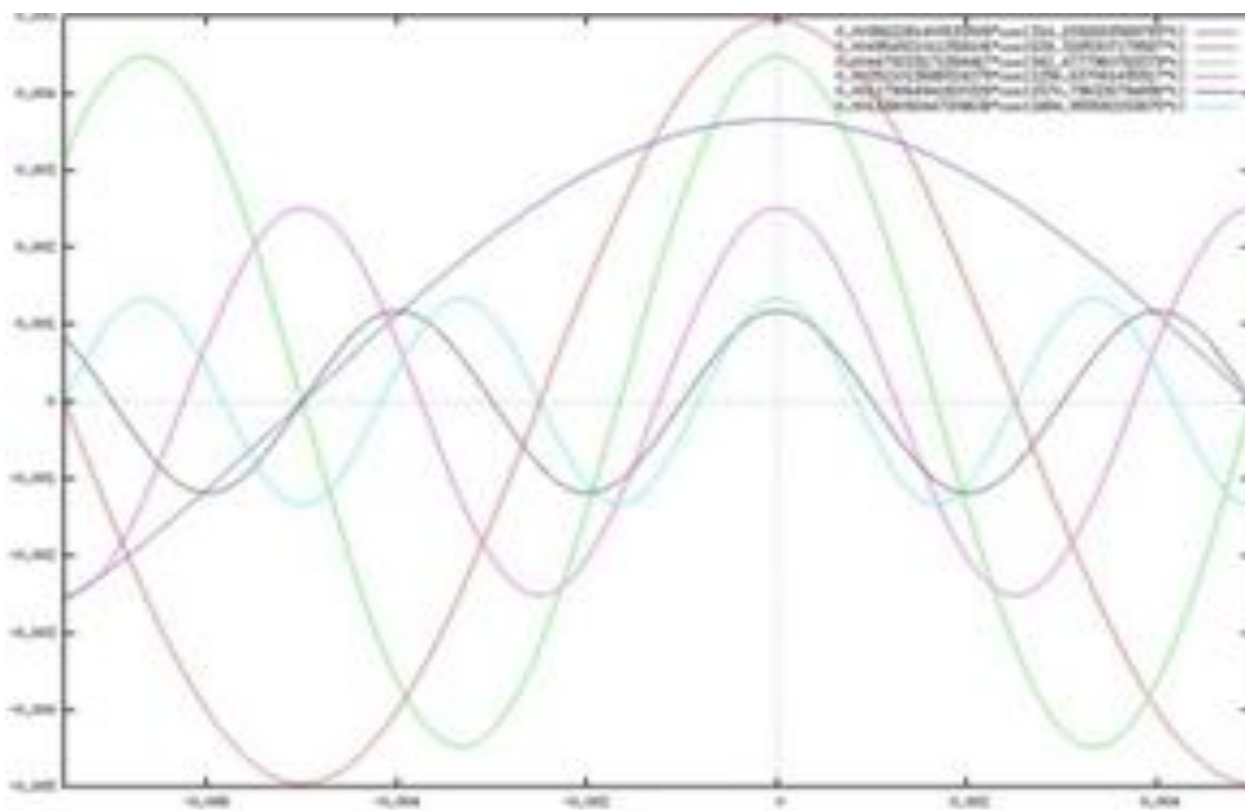


Рис. 1. Наложение гармоник тока на основной сигнал сети

Поэтому на практике используют усредненные данные, полученные в результате многочисленных измерений на действующих ДСП. Средние значения $\text{tg}\varphi_n$ за весь период плавки для печей различной емкости составляют (табл. 1) до 0,97.

Таблица 1

Тип печи	ДСП-12–ДСП-25	ДСП-100	ДСП-200
$\text{tg}\varphi_n$	0,65	0,9	0,97

Напряжение в узле электроэнергетической системы определяется балансом мощности по системе в целом и балансом реактивной мощности в узле электрической сети. При возникновении дефицита активной мощности в системе происходит снижение частоты до значения, при котором устанавливается новый баланс вырабатываемой и потребляемой электроэнергии. Частота в системе меняется сравнительно медленно, вызывая при скоростях изменения 0,2 Гц/с «колебания частоты», а быстрые «лавины частоты» вызывают мгновенное изменение частоты при дефиците активной мощности более 30%.

Таким образом, рассмотрены некоторые из показателей качества ЭЭ. Основным источником нелинейных искажений в распределительных сетях являются частотные преобразователи, выпрямители основных производств. Металлургии характерны ДСП.

Библиографический список

1. ГОСТ 32144–2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.
2. Артюхов, И. И. Влияние частотно-регулируемого электропривода на питающую сеть / И. И. Артюхов, И. И. Бочкарева, С. В. Молот // Научное обозрение. – 2015. – № 4. – С. 29 – 34.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ НА КАЧЕСТВО ТЕСТИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

А. А. Карпунин, К. В. Селиванов

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
(e-mail: AlexK811@yandex.ru)*

Включение компонентов цифровой трансформации в производственные процессы электроэнергетики требует предварительной оценки влияния внедрения на надежность энергосистемы. Необходимо оценить новшество на стабильность, предупредить и выявить предполагаемые проблемы и возможность быстрого восстановления системы в случае сбоев. В общем случае решение задачи по обеспечению надежности включает в себя: анализ проблемной области, выявление и предупреждение отрицательных ситуаций, а также определение факторов проблем [1].

Одной из ключевых задач в процессе тестирования компонентов энергосистем является определение момента, когда следует остановить тестирование. Используя методы предиктивной аналитики необходимо оценить потенциальное количество найденных ошибок. Оценить, как они повлияют на качество работы системы, сколько ресурсов надо затратить на их нахождение в дальнейшем и т.п.

Момент окончания тестирования определяется исходя из следующих начальных требований: жесткое ограничение по времени и необходимость определения перечня тестов, которые можно за это время выполнить, а также необходимость обеспечения некоторого уровня надежности системы в процессе тестирования.

К критериям завершения тестирования можно отнести [1] – удовлетворительную устойчивость работы системы, время и(или) другие ресурсы системы, успешность прохождения всех тестов, предусмотренных планом, отсутствие ошибок при регрессионном тестировании, число найденных ошибок не выходит за ожидаемое значение.

Среди основных методов тестирования можно выделить: «Белый ящик» – низкий уровень детализации, основанный на структуре программы, «Серый ящик»– промежуточный

уровень, на котором определен интерфейс между компонентами и «Черный ящик» – глобальное представление, основанное на спецификации.

Метод «Белый ящик» предполагает: анализ структуры программы, покрытие операторов, покрытие ветвей и статическое тестирование. Метод «Серый ящик» включает анализ архитектуры, проверку навигации, проверку интерфейсов, анализ модели событий. Метод «Черный ящик» включает анализ потоков, анализ таблицы решений, функциональный анализ, анализ граничных условий, анализ истории ошибок, оценку целостности данных, анализ переходов состояний.

При тестировании сложных энергосистем важен накопленный предшествующий опыт, дата сетов допущенных ранее ошибок тестирования, которые проявились на этапах тестирования и сопровождения. На основании данной статистической информации возможно строить прогнозы по количеству не выявленных ошибок, проводить их предиктивный анализ и регрессионное тестирование.

Для эффективного планирования тестирования необходимо сформировать достаточные по функциональности и объему тестовые наборы, которые можно выполнить, не превышая лимиты на имеющиеся ресурсы (аппаратные, временные, персонал и т.д.). Необходимо определить, каким объемом тестов разумно ограничиться, т.е. необходимо оценить объем покрытия исходного кода. План тестирования можно рассматривать как совокупность методик тестирования, каждая из которых в свою очередь состоит из сценариев тестирования. После прохождения системой каждого теста формируется результат, который необходимо сравнить на эквивалентность с ожидаемым (требуемым) результатом. Эффективный план тестирования определяет: общие цели тестирования, задачи тестирования, стратегию тестирования, подходы к тестированию, среду (аппаратную, программную) тестирования, тестовые процедуры.

Отдельные результаты получены в проекте «ПРИОР/СН/НУ/22/СП2/5» по Программе развития МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Библиографический список

1. Карпунин, А. А. Методы обеспечения качества при проектировании сложных программных систем / А. А. Карпунин, Ю. М. Ганев, М. М. Чернов // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 2(10). – С. 78 – 84.
2. Власов, А. И. Визуальные модели управления качеством на предприятиях электроники / А. И. Власов, А. М. Иванов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2011. – № 11. – С. 34.

ПРОБЛЕМАТИКА ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

В. В. Леонидов

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
(e-mail: vladimir@leonidov.su)*

Ввод в эксплуатацию объектов энергетики в условиях цифровой трансформации предполагает проведение различного рода контрольных испытаний и тестирований [1]. Проблемы минимизации затрат на тестирование цифровых компонентов управляющих систем, а также проблемы измерения и обеспечения качества цифрового продукта являются актуальными. Проблема эффективности тестирования существенно влияет на время и затраты на ввод в эксплуатацию, а также на само качество цифрового продукта.

Процессы тестирования и контроля качества цифровых систем регламентируются рядом международных стандартов (IEEE 1008-1986, IEEE 1012-1986), NASA-STD-8739.8, SWEBOOK. Однако стоит отметить сложность адаптации изложенных в стандартах методик для тестирования специализированных систем, в том числе в энергетике.

Анализ затрат на исправление ошибок показывает, что стоимость исправления ошибки на этапе сопровождения (эксплуатации) дороже более, чем в 5 раз исправления ошибок на этапе составления требований, проектирования, кодирования и тестирования (рис. 1) [2].

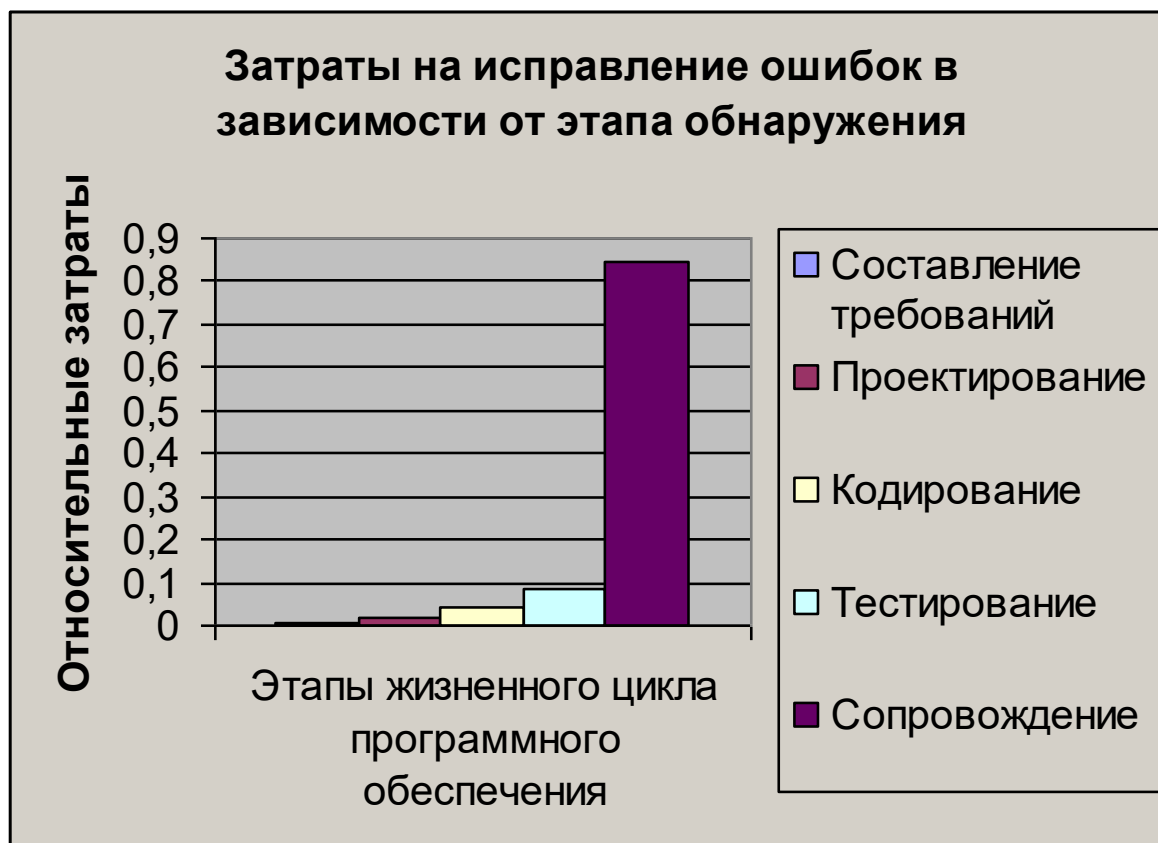


Рис. 1. Доля затрат на исправление ошибок в зависимости от этапа их обнаружения

Анализируя диаграммы на рис. 1 можно сделать вывод о том, что необходимо минимизировать количество возможных ошибок на этапе эксплуатации. Для этого необходимо применять эффективную модель тестирования, которая имеет высокую степень завершенности тестирования, оцениваемую по показателям качества [3]. Выбор эффективной модели тестирования призван учитывать наиболее существенные критерии объекта.

Регрессионное тестирование предполагает существенное количество проводимых тестов. В условиях, когда автоматизация тестов не возможна регрессионное тестирование становится существенной частью затрат на тестирование. В связи с этим уменьшение тестов при сохранении заданного уровня качества является важной частью обеспечения эффективности процесса тестирования.

Другой крупной проблемой является определение степени готовности цифровой системы (рис. 2) к вводу в эксплуатацию. Обычно для этих целей проводят специальное внутреннее приемочное тестирование, за которым следует клиентское приемочное тестирование (внешнее). Наличие промежуточных вспомогательных этапов удорожает процесс тестирования в целом. Выбор эффективной методики тестирования предполагает уменьшение промежуточных этапов и обеспечение принятия решения о готовности к эксплуатации на основе рассчитываемых показателей качества.

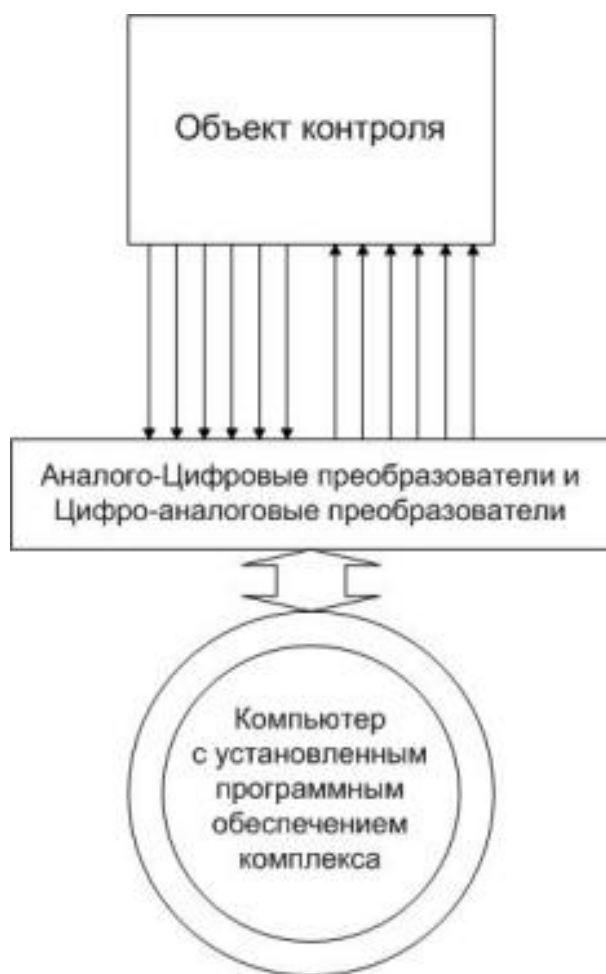


Рис. 2. Концептуальная схема сбора первичных данных в цифровой системе управления

В модели тестирования важным является оценка доступности компонентов цифровизации, так как в случае ввода комплекса в эксплуатацию при несоответствующих заявленных системных требованиях заказчик вынужден будет использовать новое системное обеспечение, что может составить существенную долю затрат. Кроме того, крайне важным является применение экономически обоснованной методики тестирования, так как это позволяет прогнозировать общие затраты на тестирование.

Библиографический список

1. Нестеров, Ю. И. Виртуальный измерительный комплекс / Ю. И. Нестеров, А. И. Власов, Б. Н. Першин // Датчики и системы. – 2000. – № 4. – С. 12 – 22.
2. Zhalnin V. P., Zakharova A. S., Uzenkov D. A., Vlasov A. I., Krivoshein A. I., Filin S. S. Configuration-making algorithm for the smart machine controller based on the internet of things concept // International Review of Electrical Engineering. – 2019. – Т. 14, № 5. – Р. 375 – 384.
3. Современные методы и средства обеспечения качества в условиях комплексной автоматизации / В. Г. Дудко, К. Д. Верейнов, А. И. Власов, А. Г. Тимошкин // Вопросы радиоэлектроники. – 1994. – № 1. – С. 71 – 89.

МЕТОДИКА ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ОТКАЗОВ КОМПОНЕНТОВ «ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ» В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

К. А. Муравьев, О. В. Косьянов

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
(e-mail: kostiktakaya@gmail.com)*

Системы предиктивного анализа отказов оборудования в условиях цифровой трансформации промышленности, в том числе и энергосектора, обеспечивает возможность на основе существующей информации формировать гипотезы о предполагаемом выходе из строя оборудования. В качестве математических моделей предиктивного анализа наибольшее распространение получили методы: скользящего среднего, регрессии и авторегрессия [1].

Метод простого скользящего среднего (SMA) – является одним из наиболее широко используемых индикаторов в предиктивном анализе. Он не только используется в качестве самостоятельной методики, но и лежит в основе многих других характеристик. При осуществлении сглаживания всем наблюдениям случайной величины из интервала сглаживания присваивается одинаковый удельный вес. С математической точки зрения простое скользящее среднее представляет собой среднее арифметическое значение.

Метод простого скользящего среднего широко распространен, однако применимость SMA ограничена, так как каждая точка в серии данных имеет одинаковый вес, независимо

от того, где она встречается в последовательности. Для решения данной проблемы, когда старые данные так же ценны, как и новые был предложен метод экспоненциального скользящего среднего.

Регрессионный анализ – метод моделирования измеряемых данных и исследования их свойств. Данные состоят из пар значений зависимой переменной (переменной отклика) и независимой переменной (объясняющей переменной). Регрессионная модель является функцией независимой переменной и параметров с добавленной случайной переменной. Параметры модели настраиваются таким образом, что модель наилучшим образом приближает данные. Критерием качества приближения (целевой функцией) обычно является среднеквадратичная ошибка: сумма квадратов разности значений модели и зависимой переменной для всех значений независимой переменной в качестве аргумента. Предполагается, что зависимая переменная есть сумма значений некоторой модели и случайной величины. Относительно характера распределения этой величины делаются предположения, называемые гипотезой порождения данных. Для подтверждения или опровержения этой гипотезы выполняются статистические тесты, называемые анализом остатков. При этом предполагается, что независимая переменная не содержит ошибок. Регрессионный анализ используется для прогноза, анализа временных рядов, тестирования гипотез и выявления скрытых взаимосвязей в данных. Авто регрессионный анализ представляет собой объединение регрессионного анализа и метода экспоненциального среднего.

В общем виде предиктивный анализ компонентов «Интернета вещей» [2] сводится к систематизированному сбору данных, их последующей обработке и хранению. На начальном этапе производится анализ и агрегация имеющихся характеристик компонентов «Интернета вещей», для сбора тестового объема данных. На основании агрегированного набора данных производится обучение компонента принятия решения (например, нейронной сети). В результате получаем систему, способную предсказывать будущие состояние рассматриваемых компонентов «Интернета вещей».

В обобщенной форме методика предиктивного анализа отказов компонентов «Интернета вещей» может быть представлена следующим образом: подготовка первичных данных (удаляется вся не релевантная информация), структурирование данных (сбор статистики и объединение повторяющихся данных, построение семантических связей), генерирование новых данных (сопоставление новых данных с последними загруженными и формирование отличающихся датасетов для оценки их важности нейронной сетью), проверка наборов условий экспертной системы (формирует шаблон для параметрической модели компонента интернета вещей, т.е. дата сет идеальных параметров системы с учетом их отклонений от данного). В итоге задача предиктивного анализа отказов компонентов интернета вещей представляет собой выявление на некоторых паттернах поведения системы диапазона допустимых параметров.

Библиографический список

1. Власов, А. И. Методы упреждающего прогнозирования состояния широкополосной сети связи / А. И. Власов, В. В. Иванов, И. А. Косолапов // Программные продукты и системы. – 2011. – № 1. – С. 3 – 6.
2. Berdyugina O. N., Krivoshein A. I., Vlasov A. I. Technological platform for innovative social infrastructure development on basis of smart machines and principles of internet of things // Proceedings – 2018 Global Smart Industry Conference, GloSIC 2018. – 2018. – No. 8570062.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЕМА И ОБРАБОТКИ СИГНАЛА OFDM КАНАЛА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

А. Е. Хрипченко, А. К. Бабаев, И. В. Хорохорин

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: alekc120268@gmail.com, babaiiijj@gmail.com, il130964@mail.ru)*

Математическое моделирование – это научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики. Абстрактная модель, полученная в ходе моделирования, нужна для того, чтобы понять, как устроен конкретный объект, какова его структура, внутренние связи, основные свойства. Математическая модель дает возможность научиться управлять объектом или процессом, определять наилучшие способы управления при заданных целях и критериях.

При построении модели требуется четко определить цель моделирования, понимать особенности функционирования моделируемого устройства.

Часто моделирование позволяет сформулировать новые гипотезы и получить новые знания об объекте, которые при его исследовании были недоступны, поэтому оно должно предшествовать разработке устройства.

Математическое моделирование позволяет выделить для исследования наиболее важные свойства объекта, абстрагируясь от несущественных его характеристик, поэтому математическая модель строится с некоторым упрощением. Точность исследования зависит от степени сходства модели и объекта и от точности применяемых методов вычислительной математики.

В данной работе была воспроизведена модель приемника цифровой информации OFDM-модулированного сигнала. Структура объекта моделирования показана на рис. 1.

При создании имитационной модели учитывалась некоторая исходная информация, структурная схема приемника и его частей; уравнения, описывающие моделируемую систему и ее части. Для получения математической модели приемника требовалось: воспроизвести восстановление амплитуд полученного сигнала (рис. 2).

Осуществить прямое преобразование Фурье; записать принятое сообщение в комплексной форме; сравнить фазовое созвездие принятого, и отправленного сигнала (рис. 3), рассчитать коэффициент битовых ошибок принятого сигнала.

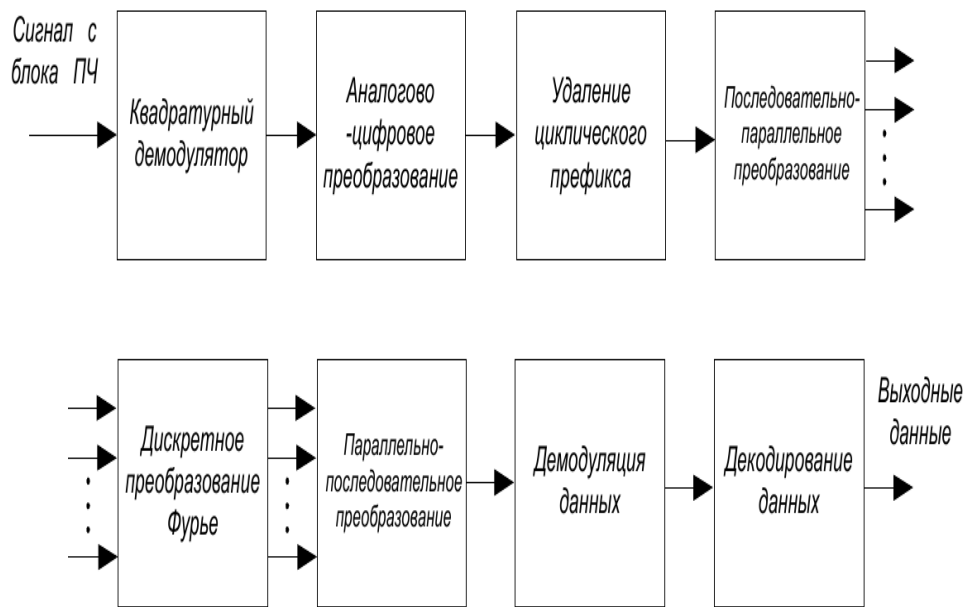


Рис. 1. Структура передатчика

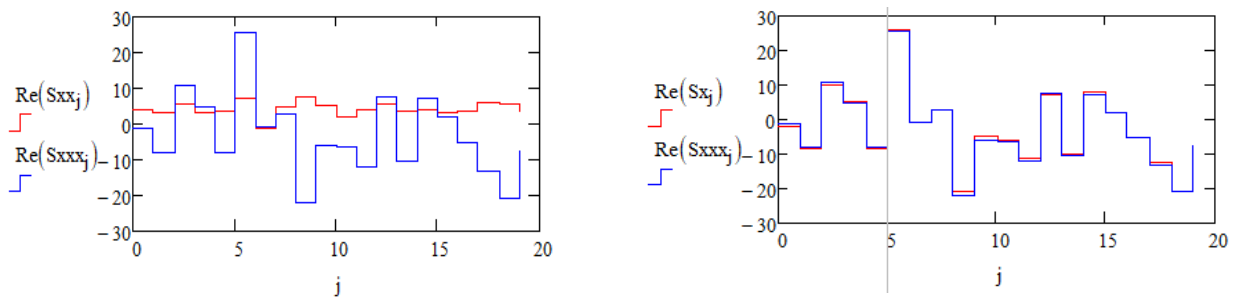


Рис. 2. Восстановление амплитуд полученного сигнала

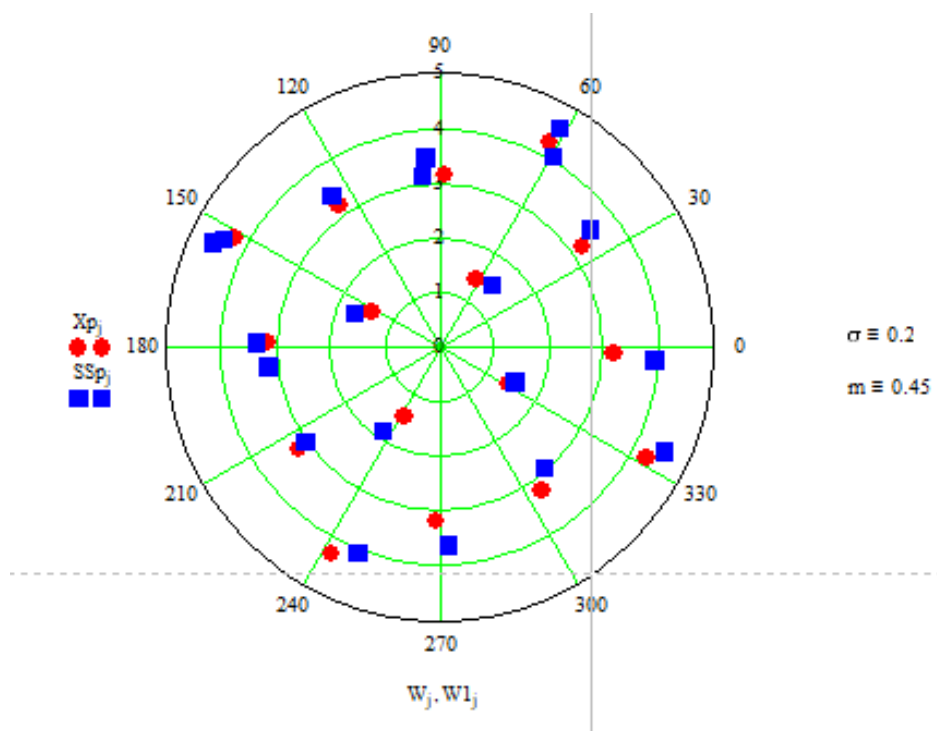


Рис. 3. Передаваемое сообщение на амплитудно-фазовом созвездии

Для выполнения данной задачи применялся математический пакет Mathcad. В качестве итогового показателя использован, коэффициент битовых ошибок, рассчитанный при помощи сравнения фазовых созвездий сигналов.

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics : Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics : Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – М. : Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.

О ПРОБЛЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СЛОЖНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО В РЕЖИМЕ ПЕРЕМЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Д. Ю. Муромцев, П. А. Титова, В. Н. Шамкин

Тамбовский государственный технический университет. Тамбов, Россия

(e-mail: polina.titova.2014@mail.ru, shamkin-v@mail.ru)

События, происходящие в последнее время в мировой экономике и политике, приводят к бурному росту цен на природный газ и нефть, что превращают задачу минимизации энергопотребления в различных сферах жизни и деятельности человека из актуальной в первоочередную [1]. Поскольку в рыночной экономике выпуск промышленной продукции обусловлен потребительским спросом, который в таких условиях часто изменяется, то возникает задача ведения конкретного технологического процесса в режиме переменного потребления, когда производительность на определенном интервале времени работы объекта меняется неоднократно.

Метод дестабилизационной оптимизации [2], по сравнению с традиционной статической оптимизацией, создает дополнительные возможности для определения оптимальных технологических режимов объекта, соответствующих новым производительностям. Происходит это за счет расширения области допустимых управлений объекта, благодаря чему возможна «коррекция» отдельных оптимальных статических режимов и появление на всем интервале времени работы дополнительного выигрыша. Рассматриваются сложные

технологические энергоемкие объекты большой производительности, для которых этот выигрыш наиболее значителен.

Статическая и дестабилизационная оптимизация режимов работы такого объекта, работающего при переменной производительности, предполагает его перевод из одних состояний, соответствующего некоторым производительностям, в другие – с иными производительностями. Вследствие инерционности рассматриваемых объектов этот перевод происходит в течение определенного времени τ . При этом, очевидно, должно соблюдаться требование сохранения качества получаемых продуктов не хуже заданного за все время перевода объекта с одного режима на другой.

Обозначим в объекте (рис. 1) входные воздействия: возмущающие вектором \mathbf{f} , стабилизирующие управления вектором \mathbf{z} и дестабилизирующие управления вектором ω . Выходными являются: вектор \mathbf{y} стабилизируемых параметров и вектор μ параметров состояния дестабилизированного объекта.

Взаимосвязь между этими параметрами в дестабилизационной системе иллюстрируется рис. 2. В этом режиме выходные параметры $\bar{\mathbf{y}}$ объекта 1 поддерживаются системой автоматической стабилизации 2, вырабатывающей управляющие воздействия \mathbf{z} в соответствии с алгоритмом стабилизации А. При этом вектор $\bar{\mathbf{y}}$ поддерживается равным оптимальному вектору $\bar{\mathbf{y}}^*$, определенному системой дестабилизационного управления 3. Система 3 вырабатывает также оптимальные управления $\mathbf{u}^* = \mathbf{u}^0 + \omega^*$, где \mathbf{u}^0 – оптимальные статические (стабилизационные) управления, ω^* – оптимальные отклонения управлений \mathbf{u}^* от \mathbf{u}^0 . При изменении возмущений \mathbf{f} меняются как \mathbf{u}^* , так и оптимальные стабилизационные состояния \mathbf{y}^* . Таким образом $\mathbf{u}_1^* = \Phi(\mathbf{f})$, $\mathbf{y}^* = \Psi(\mathbf{f})$, где Φ и Ψ задаются алгоритмически системой дестабилизационного управления 3.

Система управления переводом объекта с режима на режим представлена на рис. 3. В переходном режиме при переводе объекта оператор А системы автоматической стабилизации 2 может измениться (стать оператором \bar{A}) таким образом, что некоторые из составляющих вектора \mathbf{y}^* перестают быть стабилизированными и изменяются в соответствии с алгоритмом, вырабатываемым системой управления 3 переводом (см.рис.3).

На практике могут иметь место две ситуации. Первая ситуация характеризуется тем, что возмущение \mathbf{f} является контролируемым (например, производительность объекта изменяется производителем независимо от потребителя). В этом случае появляется возможность им управлять, т.е. изменять $\mathbf{f}(t)$ во времени от \mathbf{f}_1 до \mathbf{f}_2 по некоторому закону, определяемому системой управления (пунктирная линия на рис. 2.3). При этом, очевидно, $\mathbf{f}(t)$ достигает значения \mathbf{f}_2 не в момент t_1 , а в некоторый момент $t_1 + \tau$ и управление должно быть таким, чтобы минимизировать время τ .

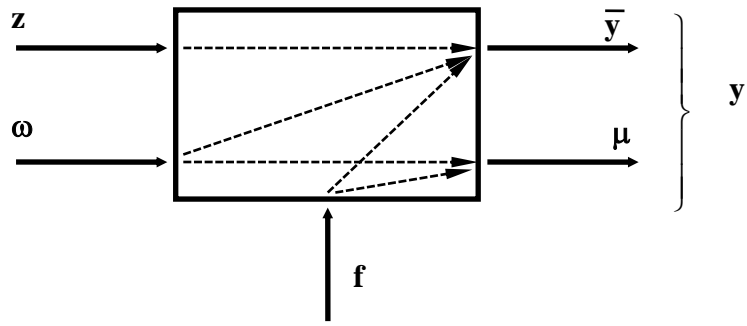


Рис. 1. Блок-схема объекта оптимизации

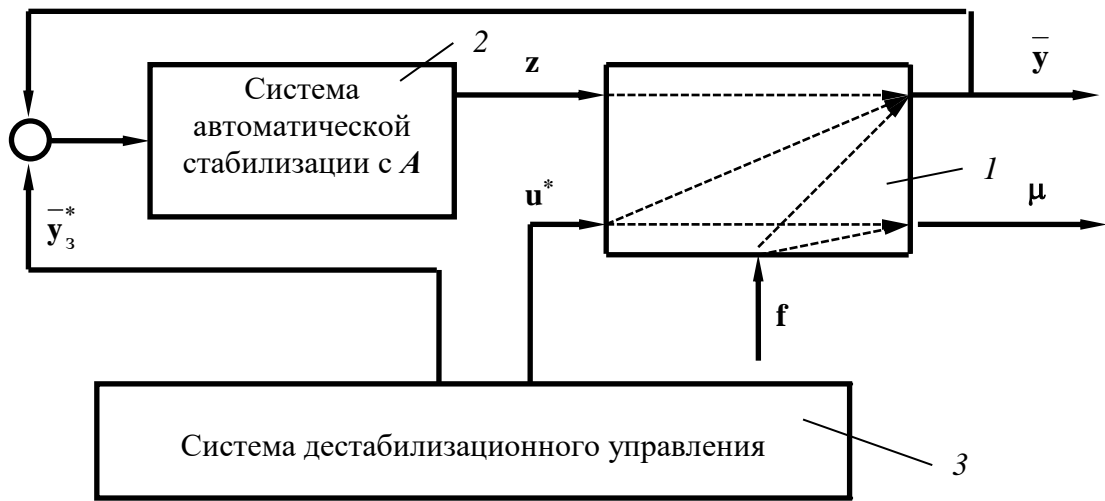


Рис. 2. Система управления объектом в дестабилизационном режиме

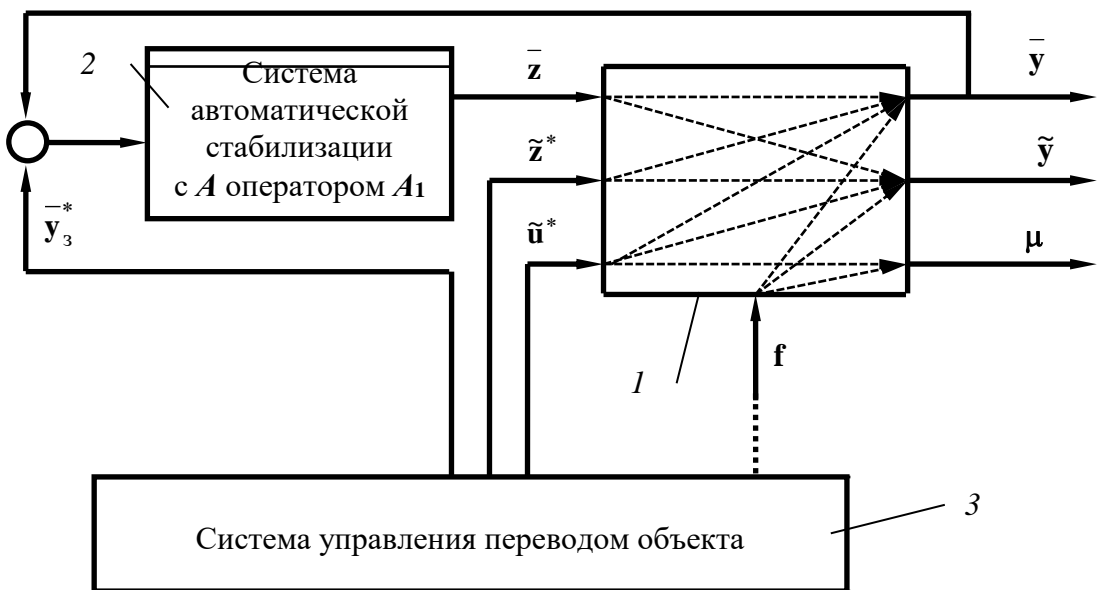


Рис. 3. Система управления переводом объекта с режима на режим

Вторая ситуация характеризуется тем, что $f(t)$ не управляемо (производительность объекта задается потребителем независимо от производителя), т.е. в момент t_1 значение $f(t)$ должно быть строго равно f_2 (здесь $f(t)$ на рис. 3 не связано с системой управления 3 пунктирной линией).

Соответственно этим ситуациям можно рассматривать две задачи управления переводом объекта с режима на режим.

Библиографический список

1. Титова, П. А. Минимизация энергопотребления в условиях быстрого роста стоимости ресурсов / П. А. Титова, В. Н. Шамкин // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. Тамбов, 19 октября 2022 г. [Электронный ресурс]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. – С. 53 – 55.

2. Shamkin, V. N. Using destabilization control to improve the functioning of complex multidimensional technological objects on the time interval / Shamkin V. N., Muromtsev D. Y., Gribkov A. N. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. – No. 12(24). – P. 7198 – 7217.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МНОГОПОЗИЦИОННОЙ РАДИОЛОКАЦИИ ПРИ ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Д. О. Понкратов, В. С. Аустов, А. А. Иванков

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: drododoto@mail.ru, aistov.volk-vovan@mail.ru, ivankov.a.a@bk.ru)*

Опыт проведения специальной военной операции на территории Украины показал высокую эффективность использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в военных целях. Малые линейные размеры и малая высота полета, определяющие низкую радиолокационную заметность, делают БПЛА малоуязвимыми и позволяют осуществлять поражение цели с высокой вероятностью, что наносит значительный урон объектам электроэнергетики не только в прифронтовой полосе, но и в тылу. По этой причине возникает задача раннего обнаружения, сопровождения на траектории полета и выдача целеуказания системам поражения БПЛА.

Наиболее эффективно решение этой задачи можно осуществить с использованием метода многопозиционной радиолокации путем объединения в единую систему радиолокационных станций противовоздушной и противоракетной обороны, наблюдения за полем боя и траекторных измерений движения летательных аппаратов [1].

Если однопозиционная РЛС извлекает информацию о цели только из малого участка облучаемого пространства, определяемого параметрами апертуры ее антенны, то в многопозиционных системах информация извлекается из нескольких участков пространства, облучаемых и совместно обрабатываемых разными, в том числе разнотипными РЛС с различными техническими характеристиками (рис. 1). Это позволяет существенно повысить информативность и эффективность сопровождения малозаметных целей.

В рассматриваемой ситуации возникает задача обработки информации от пространственно-разнесенных РЛС, одновременно сопровождающих одну или несколько целей.

Измеренные координаты целей дискретно в некоторые опорные моменты времени поступают на РЛС, производящую обработку информации и выдачу целеуказания на цель.

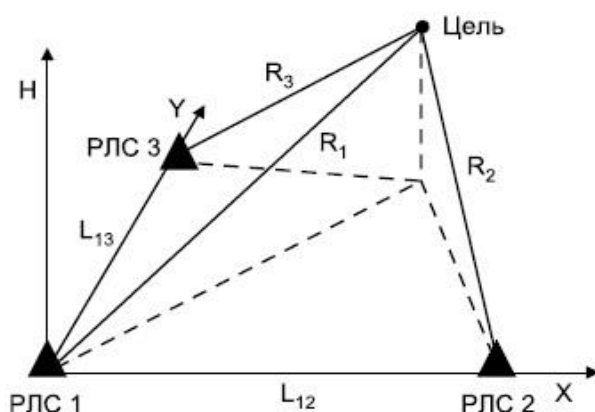


Рис. 1. Вариант структуры МПРЛС

Данные измерения в общем случае не идентифицированы по принадлежности к наблюдаемому объекту, поэтому решается задача оптимальной дискретной фильтрации с идентификацией измерений [2]:

$$\mathbf{x}_{sk} = \Phi_{sk} \mathbf{x}_{s,k-1} + \mathbf{G}_{sk} \boldsymbol{\eta}_{sk}, \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\xi}_k = \boldsymbol{\theta}[\boldsymbol{\Lambda}_k + \mathbf{n}_k], \quad (2)$$

$$P(\mathbf{x}_k | \boldsymbol{\xi}_1^k) = \sum_{\nu=1}^N P(\mathbf{x}_k, \boldsymbol{\theta}^\nu | \boldsymbol{\xi}_1^k) = \sum_{\nu=1}^N P(\mathbf{x}_k | \boldsymbol{\xi}_1^k, \boldsymbol{\theta}^\nu) P(\boldsymbol{\theta}^\nu | \boldsymbol{\xi}_1^k), \quad (3)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{sk} = \sum_{\nu=1}^N \hat{\mathbf{x}}_{sk}(\boldsymbol{\theta}^\nu) P(\boldsymbol{\theta}^\nu | \boldsymbol{\xi}_1^k), \quad (4)$$

$$P(\boldsymbol{\xi}_k | \boldsymbol{\xi}_1^{k-1}, \boldsymbol{\theta}^\nu) = \prod_{j=1}^q P(\xi_{jk} | \xi_{j1}^{k-1}, \boldsymbol{\theta}^\nu). \quad (5)$$

В выражениях (1) – (5) обозначены: \mathbf{x}_{sk} – n -мерный вектор состояний, $s = \overline{1, q}$ – порядковый номер цели, k – временной индекс, Φ_{sk} , \mathbf{G}_{sk} – матрицы соответствующих размерностей, $\boldsymbol{\eta}_{sk}$ – независимые векторные белые гауссовские шумы, $\boldsymbol{\xi}_{sk}$ – вектор наблюдений,

θ случайная матрица размером $q \times q$, где q – количество сопровождаемых целей, Λ – вектор координат, $P(\theta^v | \xi_1^k)$ $v = \overline{1, N}$, – апостериорные вероятности значений случайной матрицы θ .

В (4) входит взвешенное суммирование $N = q!$ условных оценок $\hat{x}_{sk}(\theta^v)$ при всех возможных значениях θ^v матричного параметра.

Для каждой плотности вероятности $P(\xi_{jk} | \xi_{j1}^{k-1}, \theta^v)$, $j = \overline{1, q}$, в (5) заданное условие реализации вектора $\theta = \theta^v$ означает, что известно, какое измерение какой цели соответствует, т.е. идентифицируется принадлежность каждого измерения соответствующей цели, которое в дальнейшем используется в процессе ее сопровождения.

Библиографический список

1. Панасюк, Ю. Н. Обработка радиолокационной информации в радиотехнических системах : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2016. – 84 с.
2. Перов А. И. Оптимальный алгоритм дискретного сопровождения многих целей с идентификацией измерений / А. И. Перов // Радиотехника. – 2003. – № 1. – С. 59 – 66.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Н. А. Лежнева, А. А. Иванов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: natali6889@icloud.com, andreyivanov6898@yandex.ru)*

Введение. Важной задачей для беспилотных транспортных средств (БТС) является оптимизация маршрута движения. Решение этой задачи обеспечивает экономию энергетических ресурсов БТС. Движение БТС по заданной оптимальной траектории обеспечивается системой автоматического управления, составной частью которой является навигационная система. Основная задача, возлагаемая на навигационную систему (НС), заключается в оценивании координат и параметров движения БТС. Для оценивания координат и параметров движения БТС широкое применение получили методы марковской теории оптимального оценивания [1, 2]. Применение данных методов предполагает разработку математических моделей информационных параметров, входящих в сигналы, применяемые для определения координат и параметров подвижного объекта. Основу современных навигационных систем составляет аппаратура приема сигналов спутниковых радионавигационных систем. Информационными параметрами в выходных сигналах этой аппаратуры являются координаты

местоположения подвижного наземного объекта. Необходимо разработать математическую модель изменения координат местоположения объекта.

Разработка математической модели. Математическая модель БТС предполагает описание изменения его координат и параметров движения во времени. Изменение координат во времени можно задать системой дифференциальных уравнений вида:

$$\begin{aligned} \frac{dx(t)}{dt} &= V_X(t), \quad \frac{dy(t)}{dt} = V_Y(t), \quad \frac{dH_{ОТН}(t)}{dt} = V_Z(t); \\ \frac{dV_X(t)}{dt} &= a_X(t), \quad \frac{dV_Y(t)}{dt} = a_Y(t), \quad \frac{dV_Z(t)}{dt} = a_Z(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Дальнейшее задание модели требует задания модели изменения во времени ускорения БТС. Данная задача является довольно сложной, так как зависит от типа объекта, вида совершаемого им движения, и может быть решена только для отдельных случаев движения БТС, например движения с постоянным ускорением $a_X(t) = \text{const}$, $a_Y(t) = \text{const}$, $a_Z(t) = \text{const}$. Поэтому для задания модели БТС применим принцип распределения информации между векторами наблюдения и управления. Согласно этому принципу значения составляющих ускорения объекта в математической модели (1) заменим на измеренные ИНС, т.е. выходные сигналы ИНС используем в качестве компонент вектора управления. Сигналы на выходе ИНС имеют вид [1, 2]:

$$\begin{aligned} a_X^{ИНС}(t_{k+1}) &= a_X(t_{k+1}) + \Delta_{aX}(t_{k+1}) + \sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aX}(t_{k+1}); \\ a_Y^{ИНС}(t_{k+1}) &= a_Y(t_{k+1}) + \Delta_{aY}(t_{k+1}) + \sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aY}(t_{k+1}); \\ a_Z^{ИНС}(t_{k+1}) &= a_Z(t_{k+1}) + \Delta_{aZ}(t_{k+1}) + g + \sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aZ}(t_{k+1}), \end{aligned} \quad (2)$$

где $a_X^{ИНС}(t_{k+1})$, $a_Y^{ИНС}(t_{k+1})$ и $a_Z^{ИНС}(t_{k+1})$ – измеренные значения составляющих вектора ускорения; g – ускорение свободного падения; α_a и σ_a^2 – коэффициент, характеризующий ширину спектра погрешности, и дисперсия флуктуационной погрешности, соответственно; $t_{k+1} - t_k = T$ – интервал дискретизации; $n_{aX}(t_{k+1})$, $n_{aY}(t_{k+1})$, $n_{aZ}(t_{k+1})$ – взаимонезависимые выборки гауссовских процессов с нулевыми математическими ожиданиями и единичными дисперсиями; $\Delta_{aX}(t_{k+1})$, $\Delta_{aY}(t_{k+1})$, $\Delta_{aZ}(t_{k+1})$ – постоянные составляющие погрешностей измерения ускорений $\Delta_{aX}(t_{k+1}) = \Delta_{aX}(t_k)$; $\Delta_{aY}(t_{k+1}) = \Delta_{aY}(t_k)$; $\Delta_{aZ}(t_{k+1}) = \Delta_{aZ}(t_k)$.

В результате для дискретных моментов времени получим:

$$x(t_{k+1}) = x(t_k) + TV_X(t_k) + 0,5T^2 a_X^{ИНС}(t_k) - 0,5T^2 \Delta_{aX}(t_k) - 0,5T^2 \sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aX}(t_k);$$

$$y(t_{k+1}) = y(t_k) + TV_Y(t_k) + 0,5T^2 a_Y^{ИНС}(t_k) - 0,5T^2 \Delta_{aY}(t_k) - 0,5T^2 \sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aY}(t_k);$$

$$V_X(t_{k+1}) = V_X(t_k) + Ta_X^{ИНС}(t_k) - T\Delta_{aX}(t_k) - T\sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5} n_{aX}(t_k);$$

$$\begin{aligned}
V_Y(t_{k+1}) &= V_Y(t_k) + Ta_Y^{IHC}(t_k) - T\Delta_{aY}(t_k) - T\sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5}n_{aY}(t_k); \\
H_{OTH}(t_{k+1}) &= H_{OTH}(t_k) + TV_Z(t_k) + 0,5T^2a_Z^{IHC}(t_k) - 0,5T^2\Delta_{aZ}(t_k) - \\
&\quad - 0,5T^2g - 0,5T^2\sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5}n_{aZ}(t_k); \\
V_Z(t_{k+1}) &= V_Z(t_k) + Ta_Z^{IHC}(t_k) - T\Delta_{aZ}(t_k) - Tg - T\sigma_a(2T/\alpha_a)^{0,5}n_{aZ}(t_k); \\
\Delta_{aX}(t_{k+1}) &= \Delta_{aX}(t_k); \quad \Delta_{aY}(t_{k+1}) = \Delta_{aY}(t_k); \quad \Delta_{aZ}(t_{k+1}) = \Delta_{aZ}(t_k). \quad (3)
\end{aligned}$$

Выводы. Система разностных уравнений, описывающих математическая модель изменения координат БТС, имеет девятый порядок. Для уменьшения вычислительных затрат и распараллеливания обработки информации в НС нужно провести декомпозицию системы, представив систему разностных уравнений (3) в виде двух систем: системы, описывающей изменение координат БТС в горизонтальной плоскости и системы, описывающей изменение координат БТС в вертикальной плоскости. Это возможно в виду независимости разностных уравнений между собой в системе (3).

Библиографический список

1. Ivanov, A. V. Quasi-Optimal Algorithms for Detection, Identification, and Adaptive Estimation for Information Processing in Navigation Systems of Mobile Ground Objects Based on Satellite Radio Navigation Systems. Journal of Communications Technology and Electronics – 2020. – No. 6(65). – P. 609 – 618.
2. Ivanov, A. V. Adaptive Algorithms for Information Processing in Navigation Complexes of Mobile Ground Objects. Journal of Communications Technology and Electronics – 2021. – No. 8(66). – P. 926 – 937.

СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТНОСТИ ТС ПРИ ПОМОЩИ КОРРЕКТИРОВКИ ЕГО ДВИЖЕНИЯ РЛ ДАТЧИКАМИ КООРДИНАТ

В. С. Аустов, И. А. Некрылов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: aistov.volk-vovan@mail.ru, nekrylov.ilya@mail.ru)

Анализ методов измерения координат транспортного средства (ТС) является первым важным шагом в процессе создания систем контроля движения ТС. Главная его цель – понимание свойств имеющихся в наличии средств и точности измерения, которую они обеспечивают [1 – 4]. Благодаря отслеживанию координат ТС можно обеспечить не только безопасность и регулирование дорожного движения, но и обеспечить экономию ресурсов за счет подбора оптимальной скорости при корректировке движения. За счет сопровождения ТС,

предложенной в данной статье системой можно достаточно точно оценивать скорость ТС, расстояние между автомобилями, а также получать данные, по которым можно сказать, насколько опасны маневры водителя данного ТС.

Рассмотрим вариант определения координат ТС в случае, когда система состоит из радиолокационных датчиков, разнесенных в пространстве с учетом того, что оба радиолокационных датчика установлены на высоте H и их расположение точно привязано к участку местности, на котором ведется наблюдение (рис. 1) [5, 6].

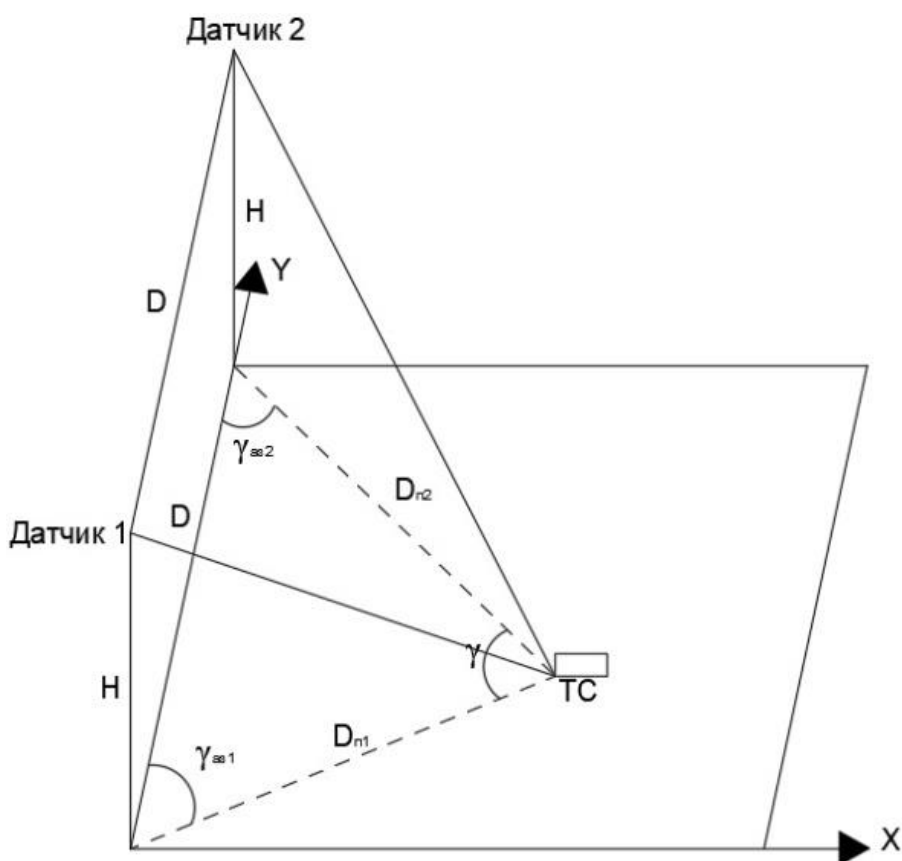


Рис. 1. Расположение датчика

Из рисунка 1 видно, что угол γ равен:

$$\gamma = 180 - \gamma_{аз1} - \gamma_{аз2}.$$

Тогда можно определить дальность до ТС от каждого из датчиков по теореме синусов:

$$\frac{D_{n1}}{\sin(\gamma_{аз2})} = \frac{D_{n2}}{\sin(\gamma_{аз1})} = \frac{D}{\sin(\gamma)}.$$

Отсюда

$$D_{n1} = \frac{D \cdot \sin(\gamma_{аз2})}{\sin(\gamma)}, D_{n2} = \frac{D \cdot \sin(\gamma_{аз1})}{\sin(\gamma)}.$$

Используя первый датчик как основу для привязки координат в пространстве, есть возможность получить линейные координаты ТС по осям X и Y без измерения расстояний «датчик-ТС», так как дальномер будет работать в сложных условия, из-за необходимости кодировать посылку индивидуальным кодом ТС и неопределенности времени обработки

сигнала в приемопередатчике ответчика (транспондере) [7]. Однако из-за погрешности измерения угла азимута обоих датчиков истинное положение ТС может отличаться от данных, полученных с измерителей. Чтобы минимизировать погрешность измерения, а также иметь возможность получать данные от нескольких ТС в условиях многолучевости распространения радиосигнала и отражений от местности предлагается устанавливать на ТС транспондер с активным ответом. Данная система имеет возможность предоставлять не только данные о нарушениях ПДД, но и информировать участников дорожного движения об оптимальном скоростном режиме для снижения энергозатратности ТС.

Библиографический список

1. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированной на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк. – М. : Радиотехника. – 2013. – № 9. – С. 55 – 59.
2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).
3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. 2018 Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112
4. Danilov S. N., Naimov U. R., Belyaev M. P., Pudovkin A. P., Varepo L. G., Panasyuk Yu. N. and Belyaev P. S. 2020 Journal of Physics: Conference Series, Volume 1441, XIII International Scientific and Technical Conference «Applied Mechanics and Systems Dynamics», Omsk, Russian Federation Citation S N Danilov et al 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1441 012054
5. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).
6. Наимов, У. Р. Синтез канала слежения за параметрами случайного процесса в условиях их скачкообразного изменения / У. Р. Наимов, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин // Радиотехника. – 2019. – № 2. – С. 84 – 89.
7. Наимов, У. Р. Алгоритм функционирования информационно-измерительной системы оценки координат беспилотных летательных аппаратов / У. Р. Наимов, С. Н. Данилов // Научный вестник НГТУ. – 2019. – № 4(77). – С. 121 – 134.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ ДАЛЬНОСТИ ДО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Е. А. Антонов, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: e.a-nov98@mail.ru)

Современный мир трудно представить без авиации. Это неотъемлемая часть общемировой логистики, а соответственно и экономики. В связи с этим количество воздушных транспортных средств растет с каждым днем.

Чтобы обеспечивать экономию энергоресурсов, эффективность и безопасность использования воздушного пространства, существует структура управления воздушными судами. Для ее корректной работы необходимо обеспечить высокую точность получаемых данных с измерителей скорости, дальности, угла и т.д.

В программной среде Mathcad была разработана модель системы вторичной обработки данных, на основе которой было исследовано влияние матрицы дисперсии возмущения на точность оценки дальности до объекта. В модели используется фильтр оценки данных, построенный на основе алгоритмов марковской линейной фильтрации, использующий информацию с первичного измерителя дальности.

В качестве входных данных генерировался сигнал в дискретной форме следующего вида (рис. 1, сплошная красная кривая). На выходе фильтра получается оценка дальности до объекта (синяя пунктирная линия).

Учитывая, что траектории большинства летательных аппаратов содержат существенную гармоническую составляющую, была выбрана модель в виде уравнений 2-го порядка, что позволило существенно повысить точность оценки дальности до объекта:

$$F_k = \begin{bmatrix} 1 - \alpha \cdot dt & (1 - \alpha \cdot dt)^2 \\ -b^2 \cdot (1 - \alpha \cdot dt)^2 & 1 - \alpha \cdot dt \end{bmatrix}$$

где α – величина обратная средней длительности маневра; b – постоянный коэффициент.

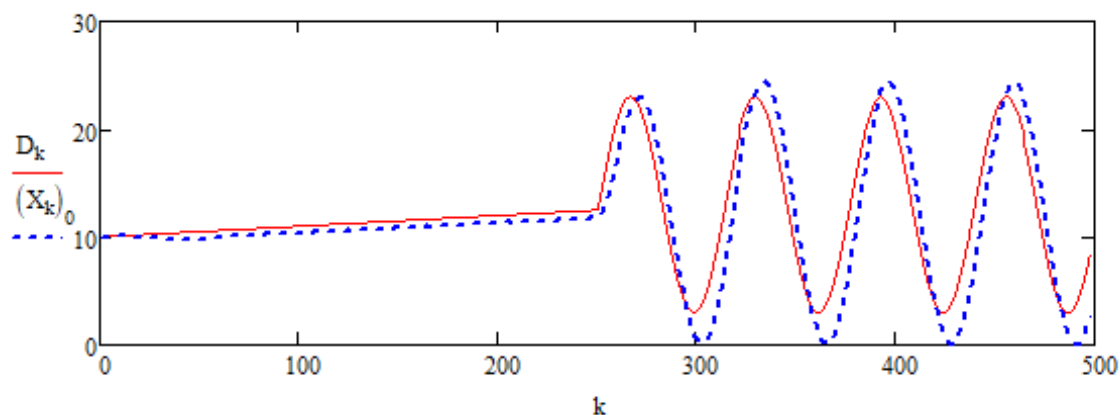


Рис. 1. Сигналы на входе и выходе фильтра

Для определения точности оценки вводится переменная ΔD , которая является разностью оценки дальности до объекта и ее истинного значения, а затем находится ее среднеквадратическое отклонение.

Исходя из этого, было проведено исследование изменения точности оценки дальности до объекта в зависимости от α и средней интенсивности маневра σ . График зависимости среднеквадратической величины погрешности (рис. 2, вертикальная ось, метры) от величин α и σ (горизонтальные оси) представлен ниже.

На основе полученных данных можно сделать вывод, что применение в качестве модели звена 2-го порядка, а также подбор соответствующих значений α и σ позволяют добиться высокой точности оценки дальности до объекта.

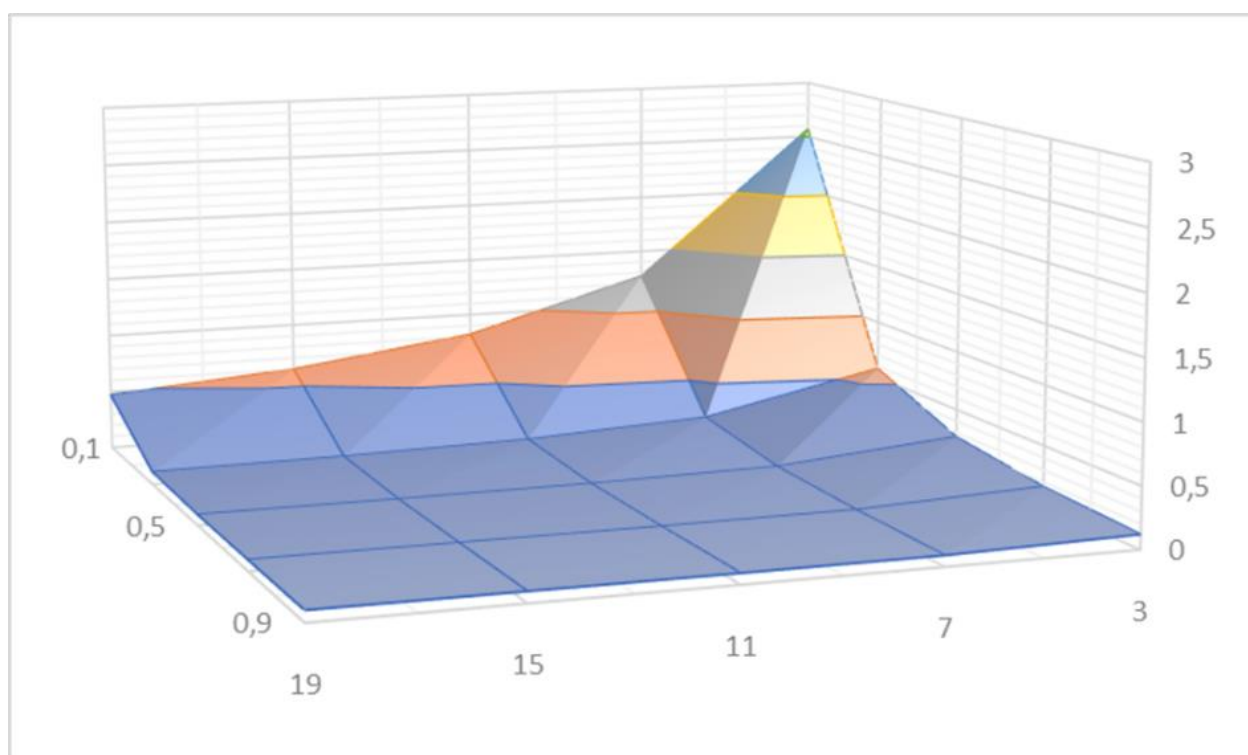


Рис. 2. График зависимости среднеквадратической величины погрешности от величин α и σ

Библиографический список

1. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).

2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu. N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).

3. Indication of relative motion intensity of aerodynamic object and meters with different physical nature / S. N. Danilov, S. P. Moskvitin, Y. N. Panasyuk [et al.] // Journal of Physics:

Conference Series : 5, Omsk, 16–17 марта 2021 года. – Omsk, 2021. – P. 012004. – DOI 10.1088/1742-6596/1901/1/012004. – EDN HDMGAO.

4. Development and research of the rangefinder of the information and measurement system of air traffic control based on data from on-board sensors of the aircraft / A. P. Pudovkin, Y. N. Panasyuk, S. N. Danilov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series : 5, Omsk, 16–17 марта 2021 года. – Omsk, 2021. – P. 012020. – DOI 10.1088/1742-6596/1901/1/012020. – EDN SDNSKZ.

ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ

Р. В. Горшков, В. О. Михайлов, А. Ю. Кудинов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: jonesloker@yandex.ru)*

Электроэнергетические сети имеют магистральные и распределительные участки с различными рабочими напряжениями и структурой «звезда» или «кольцо». В качестве сетевых узлов выступают подстанции, в которых происходит преобразование напряжения передаваемой электроэнергии. Важнейшая особенность любой электроэнергетической системы заключается в том, что производство электроэнергии, ее распределение и преобразование в другие виды энергии осуществляются практически в один и тот же момент времени. Еще одна особенность тесно связана с гигантской совокупностью разнообразнейших потребителей в единой сети, что резко повышает актуальность обеспечения надежности работы энергосистемы и требует создания в энергетических системах достаточного резерва мощности во всех ее элементах.

Относительная быстрота протекания переходных процессов требует применения автоматических устройств. Подобные устройства, часто весьма быстродействующие, должны обеспечить надлежащую корректировку переходных процессов в системе. Все это способствует широчайшему внедрению автоматики в энергетических системах и полной автоматизации отдельных электростанций и подстанций.

В итоге создается автоматизированная системы управления технологическим процессом (АСУ ТП). В ее рамках собирается первичная информация по всем параметрам технологических процессов, решаются задачи метрологического обеспечения, выполняются процедуры прямого регулирования и дистанционного управления оборудованием. Данная система является источником информации для верхних уровней управленческой структуры (диспетчерский пункт, центр управления) и во многом определяет эффективность управления всей энергетической системой.

В целом АСУ ТП подстанции интегрирует в себе подсистему релейной защиты и автоматики (РЗА), противоаварийной автоматики (ПА), автоматизированную информационно-измерительную систему коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), регистраторы

аварийных событий (РАС), систему мониторинга и диагностики силового оборудования, систему определения места повреждения (ОМП) кабеля, системы сбора и передачи оперативной и неоперативной технологической информации, системы контроля качества электроэнергии, инженерных и вспомогательных систем и др.

Инновационное развитие электроэнергетики сегодня характеризуется объединением электросетевой и информационной инфраструктур в узлах сети – цифровых подстанциях. Цифровая подстанция (ЦПС) – элемент активно-адаптивной (интеллектуальной) электросети с системой контроля, защиты и управления, основанной на передаче информации в цифровом формате.

С появлением первых микропроцессорных релейных устройств защиты информация от них стала также интегрироваться и в системы АСУ ТП. Постепенно количество устройств с цифровыми интерфейсами увеличивалось. Вся эта информация от устройств нижнего уровня интегрировалась в АСУ ТП по цифровым интерфейсам. Однако, подобные подстанции не являются в полной мере цифровыми, так как вся исходная информация, включая состояния блок-контактов, напряжения и токи, передается в виде аналоговых сигналов от распределительного устройства в оперативный пункт управления, где оцифровывается отдельно каждым устройством нижнего уровня.

Все информационные связи на ЦПС являются цифровыми и образуют единую шину процесса. Это открывает возможности быстрого и прямого обмена информацией между устройствами, что в конечном итоге позволяет отказаться от массы медных кабельных связей, отдельных устройств, а также добиться более компактного их расположения. Итак, главная особенность ЦПС состоит в том, что все ее вторичные цепи – это цифровые каналы передачи данных, образующие единую информационную сеть (сеть передачи данных).

В итоге основой ЦПС является единая телекоммуникационная инфраструктура. Основная задача ЦПС – осуществлять мониторинг всех процессов как можно ближе к источникам информации, передавать полученные данные во все подсистемы посредством волоконно-оптических линий связи и виртуализировать большинство функций, выполняемых на подстанции. Таким образом, все измерительные устройства становятся источниками информации, а все встроенные интеллектуальные электронные устройства – ее потребителями.

Библиографический список

1. Цифровая электроэнергетика [Электронный ресурс] – URL : <https://habr.com/ru/company/T1Holding/blog/342268/>
2. Макаров, А. Ю. Цифровизация электрических сетей. Практический опыт / А. Ю. Макаров. – М. : Экономика, 2019. – 128 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М. А. Каменская¹, Т. И. Чернышова¹, С. В. Артемова²

¹Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

²МИРЭА – Российский технологический университет

(e-mail: art_mari@bk.ru)

Широкое внедрение полупроводниковой техники позволило перейти на новый уровень развития электроэнергетических систем, а именно внедрить цифровизацию в энергосетевой комплекс Российской Федерации. В рамках цифровизации в настоящее время уже внедрены цифровые многофункциональные измерительные приборы учета электроэнергии (ЦМИП). Такие приборы позволяют в режиме реального времени проводить обработку, запись, хранение измерительной информации, кроме того, ЦМИП оценивают показатели качества электрической энергии, оповещают о потерях в электросетевом комплексе и позволяют передавать данные по беспроводным каналам связи на сервер баз данных.

Модернизация средств измерений на объектах электроэнергетики выдвигает на первый план задачу обоснованного метрологического обеспечения цифровых электроэнергетических систем.

Метрологическая надежность (МН) – свойство цифровых электроэнергетических систем на протяжении всего интервала времени измерения сохранять метрологические характеристики ЦМИП в установленных пределах при требуемых режимах эксплуатации, обслуживания, хранения и транспортирования. Оценка метрологической надежности цифровых многофункциональных измерительных приборов может быть проведена с помощью информационно-аналитической системы (ИАС) оценки МН ЦМИП.

Разработанная ИАС оценки метрологической надежности ЦМИП базируется на методе оценки метрологической надежности при проектировании ИИС НК ТФС объектов, который основан на математическом моделировании нестационарных случайных процессов изменения во времени МХ исследуемых ЦМИП с использованием аппарата аналитико-вероятностного прогнозирования.

Информационно-аналитическая система позволяет оперативно получать статистические данные о процессах изменения во времени метрологических характеристик цифровых многофункциональных измерительных приборов за небольшие промежутки времени, обеспечивая, таким образом, возможность получить информацию о метрологической надежности ЦМИП и цифровых электроэнергетических системах в целом. На основании полученных данных об изменении во времени метрологических характеристик исследуемых цифровых электроэнергетических систем может быть решена задача определения научно обоснованных межповерочных интервалов (МПИ). Назначение МПИ с учетом характера изменения метрологических свойств ЦМИП позволит сократить число проверок и профилактических работ на объектах электроэнергетического комплекса.

Информационно-аналитическая система позволяет провести оценку эффективности и достоверности проведенного прогнозирования метрологической надежности по построенной математической модели изменения во времени метрологических характеристик ЦМИП. Информационно-аналитическая система проводит проверку адекватности построенной математической модели и цифрового измерительного средства. Оператор наглядно видит все результаты проводимых расчетов при реализации положений разработанного метода так, как полученные данные приводятся в формах отображения, что способствует наибольшей наглядности.

Использование информационно-аналитической системы для обоснованного проведения метрологического обслуживания цифровых электроэнергетических систем даст возможность снизить материальные и трудовые затраты на организацию и проведение поверочных мероприятий.

Цифровизация электроэнергетических систем способствует развитию новых технологий для эффективного планирования и управления производством. Процессы внедрения цифровизации позволят существенно экономить электроэнергию за счет минимизации ее потерь.

Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Применение математического моделирования при проектировании информационно-измерительных систем / Т. И. Чернышова, В. В. Третьяков // Надежность и качество : тр. Междунар. симпозиума. – 2018. – Т. 1. – С. 83 – 85.
2. Чернышова, Т. И. оценка метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительной системы на этапе проектирования / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, М. А. Каменская // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 180 – 189.

РАСЧЕТ ТРАНСФОРМАТОРА С ЭФФЕКТОМ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ПАКЕТЕ ПРОГРАММЫ ELCUT

К. К. Ким, А. А. Ткачук, Г. Н. Анисимов

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия*

Увеличение пропускной и провозной способности электрифицированных железнодорожных линий неразрывно связано с поддержанием значения 3,3 кВ выпрямленного напряжения на выходе питающей подстанции, а также с совершенствованием объектов ее инфраструктуры, одним из которых является силовой трансформатор, подключаемый к трехфазному выпрямителю.

Для решения проблемы обеспечения заданного напряжения подстанции при резко переменном характере тяговой нагрузки разработан трансформатор с эффектом стабилизации напряжения [1, 2], на рис. 1 представлена конструктивная схема фазы «А».

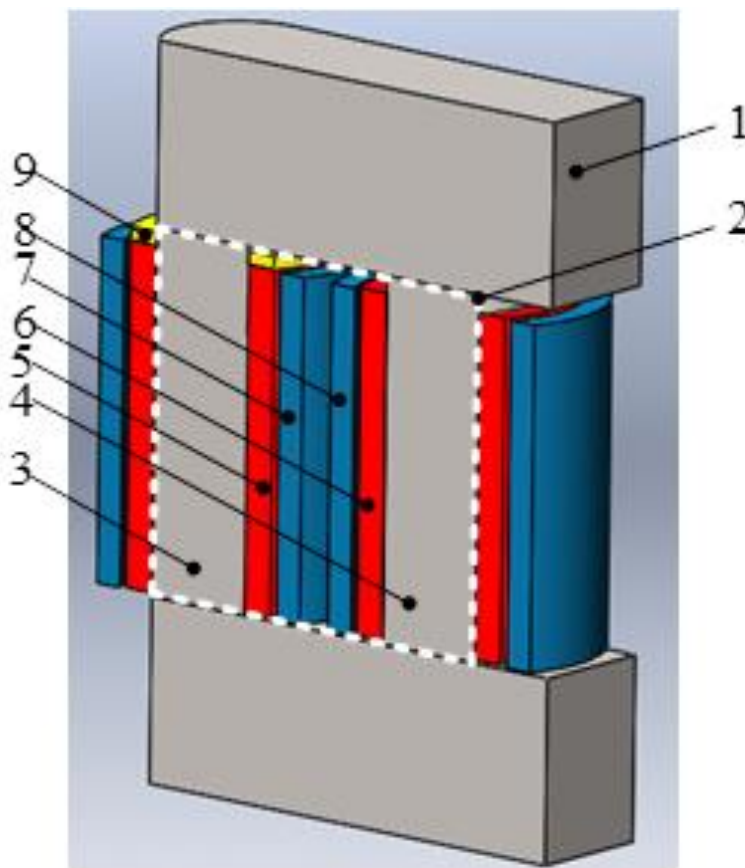
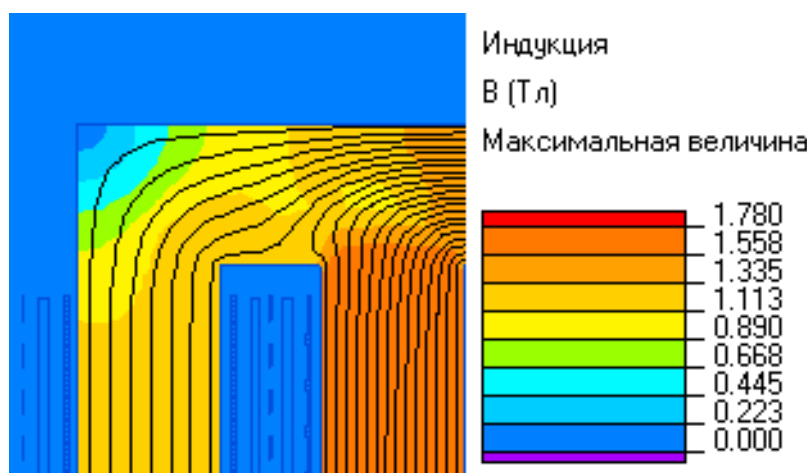


Рис. 1. Конструктивная схема фазы «А» трансформатора

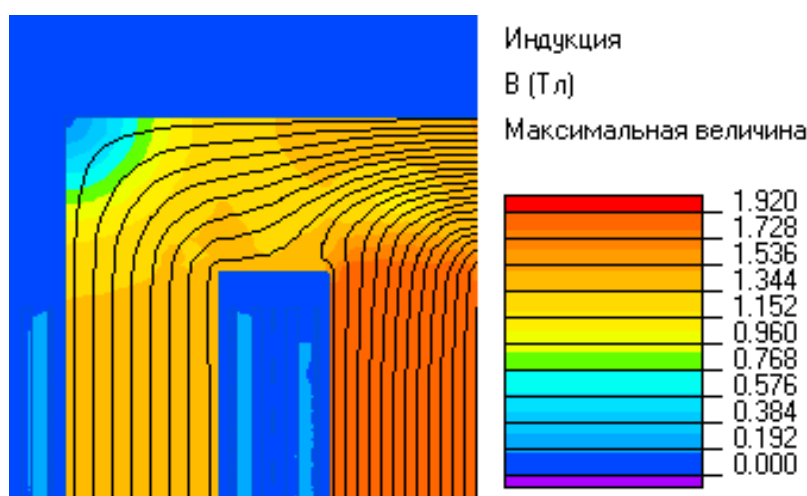
В конструктивную схему магнитной цепи каждой фазы трансформатора, например «А», входят ярма 1 и стержни 2. Отличительная черта заключается в исполнении и размещении вторичной обмотки, а именно, на участках 3 и 4 стержней намотаны ее последовательно соединенные секции 5 и 6 и последовательно соединенные секции 7 и 8. Обмотка 9 охвачена короткозамкнутыми витками. Для первичных обмоток используется фазное соединение по типу «звезда», а для вторичных – «треугольник».

Электромагнитный расчет фазы «А» конструктивной схемы трансформатора выполнен в пакете программы ELCUT для первичного напряжения фазы «А» $U_A = 20\,206$ В. Результаты расчета магнитных полей при различных значениях тока вторичной обмотки представлены на рис. 2.

В результате численных исследований установлено, что в номинальном режиме напряжение вторичной обмотки $U_a = 2668$ В, в критическом режиме $U_a = 2694$ В. При переходе трансформатора из номинального режима работы в критический напряжение вторичной обмотки изменилось на 0,97% от номинального значения, что доказывает проявление эффекта стабилизации напряжения.



а)



б)

Рис. 2. Распределение магнитной индукции фазы «А» трансформатора:
a – номинальный режим при $I_a = 1334$ А; *б* – критический режим при $I_a = 2073$ А

Рассчитанное устройство может быть использовано совместно с выпрямительной установкой на тяговой подстанции для стабилизации ее выходного напряжения на уровне 3300 В.

Библиографический список

1. Ткачук, А. А. Трансформатор-стабилизатор напряжения / А. А. Ткачук // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы. Неделя науки – 2012 : материалы LXXII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб., 2012. – С. 106–107.
2. Пат. 172859 Российская Федерация, МПК Н01F 20/12. Трехфазный трансформатор тяговых подстанций постоянного тока / Ким К. К., Ткачук А. А., Титова Т. С. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО ПГУПС. – № 2017104981 ; заявл.15.02.2017 ; опубл. 28.07.2017, Бюл. № 22. – 2 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

В. Е. Кожевников, В. И. Зацепина

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

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

Как известно, в линиях с изолированной нейтралью найти повреждение дистанционным способом не так и просто, особенно если есть множество ответвлений. Определению места повреждения (ОМП) мешают емкостные токи. Поэтому до сих пор чаще всего повреждения ищет выездной ремонтный персонал. Поэтому упрощение поиска повреждений на данных линиях является актуальной проблемой. Целью работы является создание программы и алгоритма движения беспилотного летательного аппарата. Для этого необходимо решить задачу установки дополнительного оборудования.

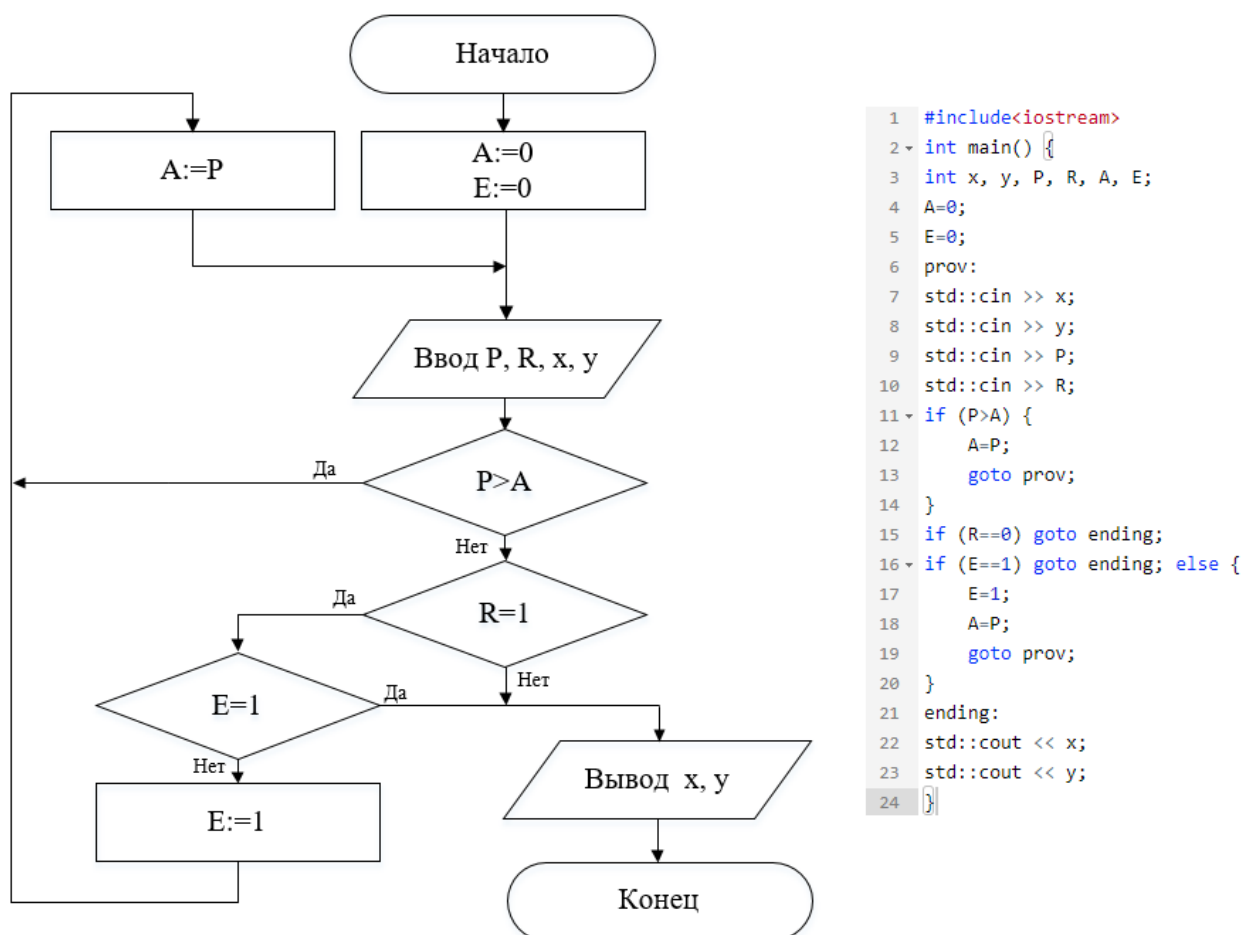


Рис. 1. Алгоритм и код для движения БПЛА

Дистанционные способы для определения повреждений на магистральных линиях 6...35 кВ существуют. Однако, они достаточно сложны и требуют непростых расчетов [1, 2]. Кроме того, их точность не очень и высока. Для мониторинга состояния линий применимы

беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [3]. Но их использование ограничивается лишь визуальным осмотром. Существуют специальные переносные приборы, реагирующие на токи в линии при повреждении, такие как «Зонд» или «Волна». Если взять и установить такой прибор на летательный аппарат и подавать данные по измерениям в навигационную систему беспилотника, то можно получить автоматическое устройство для поиска повреждений.

Как известно [4], при использовании БПЛА для каждой линии проектируется своя система движения. Необходимо доработка этой системы. С учетом этого был спроектирован алгоритм движения БПЛА по показаниям прибора. Далее был написан код для этого алгоритма на языке C++. Алгоритм и код программы представлены на рис. 1. Входные данные программы – это местоположение БПЛА x и y ; P – измерения прибора «Зонд»; R – показание датчика положения БПЛА над столбом с ответвлением; A и E – вспомогательные переменные программы.

Данный алгоритм и программа являются упрощенной версией по доработка навигационной системы БПЛА. Вариант аппарата с дополнительным оборудованием применим на линиях с изолированной нейтралью. Также, возможно применение и там, где нейтраль заземлена.

Предложенный вариант улучшения беспилотного летательного аппарата позволит уменьшить временные затраты на ремонт повреждений линий. Недостатками данного способа являются недостатки БПЛА, например, невозможность его применения во время сильных ветров или при наличии сильного дождя.

Библиографический список

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

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

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

4. Виноградов, А. В. Компьютерная программа по выбору системы мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи / А. В. Виноградов, А. Н. Синяков, А. Е. Семенов // Агротехника и энергообеспечение. – 2016. – № 3(12). – С. 52 – 61.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Р. П. Коханов, Б. С. Основин

*Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия»
имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж, Россия
(e-mail: osnovin72@mail.ru)*

Одной из преобладающих целей внедрения интегрированной логистической поддержки (ИЛП) энергетических систем (ЭС) является повышение уровня безопасности, надежности и эффективности эксплуатации.

Системообразующим процессом в рамках ИЛП является разработка методического и информационного обеспечения системы сбора и обмена информацией об эксплуатационной надежности, предусматривающим установление обратной связи между эксплуатантом и разработчиком в части сбора данных об особенностях и проблемах, выявленных в процессе опытной эксплуатации ЭС, для использования в новых разработках, в интересах снижения рисков и последствий, связанных с отказами, а также оптимизации стоимости жизненного цикла эксплуатируемого энергетического оборудования.

Для проведения работ в области ИЛП в части контроля надежности ЭС предлагается концептуальная модель, основанная на знаниях и отражающая структурированное описание режимов и условий эксплуатации, сведения о конфигурации ЭС и реализуемых ею функциях, данные об обнаруженных и устраненных отказах, их последствиях и влиянии на безопасность, нормативные значения показателей безотказности и ремонтпригодности, устанавливаемые с учетом распределения общих требований к ЭС между отдельными подсистемами (элементами) и возможными видами их отказов.

Для построения концептуальной модели в части контроля требуемой эксплуатационной надежности ЭС, основанной на знаниях, требуется извлечь максимум информации о структуре и концептах (объектах), предметной области, установить их взаимосвязь, иерархию, основные характеристики, закономерности и процессы, протекающие в ней, а также о способах решения возникающих задач [1].

На представленном на рис. 1 фрагменте ARIS-диаграммы дерева функциональных целей отображена *иерархическая совокупность декомпозированных целей и задач, позволяющая определить взаимосвязи между ними на всех уровнях управления в соответствии с экономической и организационной моделью предприятия*. Структура сформированного дерева целей является *ключевым инструментом для определения и визуализации механизмов повышения эффективности деятельности предприятия (операций, ресурсов, исполнителей и т.д.) в текущем периоде и в долгосрочной перспективе в области обеспечения контроля эксплуатационной надежности*.

Благодаря обеспечению эффективного контроля эксплуатационной надежности появляется возможность формировать рекомендации по корректировке различных аспектов поддержки эксплуатации ЭС [2].

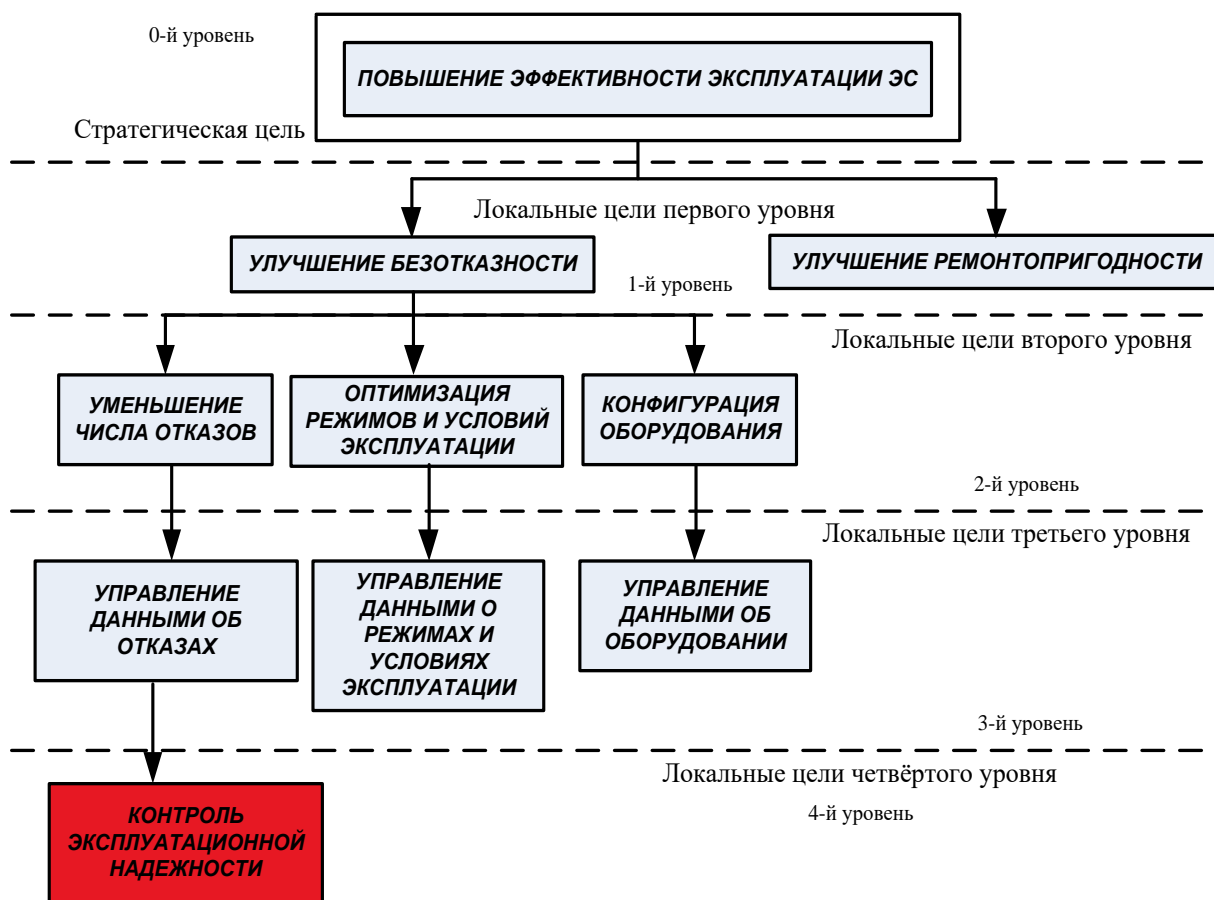


Рис. 1. Фрагмент ARIS-диаграммы целей

Библиографический список

1. Основина, О. Н. Моделирование базы знаний для поддержки эксплуатации технологического оборудования / О. Н. Основина, П. И. Жуков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2019. – Т. 15, № 6. – С. 30 – 37.
2. Основина, О. Н. Оценка эффективности автоматизированных систем управления с учетом показателей эксплуатационной надежности / О. Н. Основина, Л. М. Боева, А. Г. Симонина // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 1(55). – С. 56 – 60.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Д. С. Кочергин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: kxchergin@yandex.ru)

Одним из главных решений проблем автоматизации в электроэнергетике последних лет стала роботизация. В последнее время роботам передается все больше рутинных операций и функций по обеспечению мониторинга оборудования, расположенного в труднодоступных для человека местах, а также на объектах где «ручное» обслуживание представляет опасность жизни человека и занимает много времени. Высокоинтеллектуальный роботизированные системы экономят предприятиям затраты на обслуживание объектов промышленной энергетики. По данным Центра стратегических разработок РФ (ЦСР) в ближайшие несколько лет роботизация станет необходимой мерой решения проблем надежности, доступности и высокого качества энергоснабжения.

Для проведения профилактических работ высоковольтных ЛЭП, высотой в десятки метров над землей, для диагностики атомных реакторов, определение уровня радиации или мест утечки и нахождения радиоактивного топлива, сборки электрооборудования, где основным требованием является точность – применение роботов наиболее целесообразно. Именно это и задает тренд на внедрение роботов в работу энергетических систем.

Широкое применение в электроэнергетике роботы получают при диагностике и обслуживании ЛЭП. Наиболее инновационным в данной сфере применения является робот LineScout, разработанный институтом Hydro-Québec в 2009 году. Данная модель имеет схожий принцип работы с прочими роботами, предназначенными для диагностики ЛЭП, заключающимся в том, что робот подвешивается к проводам, в то время как оператор удаленно, с компьютера, управляет им. Осуществляя движение вдоль линии, используя лазерные датчики выявляет места коррозии и прочих повреждений на проводах. С помощью GPS робот передает данные оператору. LineScout как и его аналоги оснащен 8 камерами, что позволяет оператору более детально изучить механическое повреждение. Таким образом ремонтные службы конкретно знают где, и какая неисправность находится. Помимо прочего LineScout оснащен дополнительным оборудованием, позволяющим выполнять такие функции как очистка снега на линиях, затяжка болтовых соединений. Благодаря наличию тепловизоров, робот способен оценивать температуру проводов.

Роботизация производится и в альтернативных направлениях энергетики. Например, в ветряной энергетике. Поскольку промышленные ветрогенераторы большие по размеру и очень высокие сооружения их диагностика является опасным процессом для человека. В свою очередь роботы способны проводить диагностику лопастей и турбин на высоте до 198 метров.

Также роботы широко используются в солнечной энергетике. Машины используют для решения проблемы загрязнения солнечных панелей, из-за чего СЭС теряет около 60%

своей эффективности. Всего один робот, не используя воду, может очистить от 182 до 274 метров солнечных панелей.

Однако, в настоящий момент уровень роботизации в России достаточно низкий. Например, в 2018 году плотность роботизации в России составила 5 роботов к 10 000 рабочих мест, что значительно отстает от среднего мирового показателя в 99 к 10 000.

Проблема заключается в том, что все Российское производство основано на использовании большой доли иностранных компонентов. На сегодняшний день остро ощущается нехватка собственного производства комплектующих для роботов.

В настоящее время общая протяженность воздушных ЛЭП России составляет почти 2650 тыс. км. Необходимо также учитывать особые условия (гористая местность, заболоченная, непроходимая тайга и т.д.), что затрудняет обслуживание ЛЭП

Анализ технологии использования роботов показывает, что их использование повышает эффективность обслуживания воздушных ЛЭП, а также снижает трудозатраты и затраты на оплату труда персонала предприятиям.

Таким образом исследования в области применения роботов в электроэнергетике являются актуальной научно-технической задачей.

Библиографический список

1. Применение роботов в электроэнергетике [Электронный ресурс] – URL : <https://powercoup.by/novyye-tehnologii/primenenie-robotov-v-energetike>
2. Роботизация в электроэнергетике [Электронный ресурс] – URL : <https://ruzkabel.ru/robotizacziya-v-elektroenergetike/>

ИМИТАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. Е. Кудрявцев, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: tembich001@mail.ru)*

Источник питания постоянного тока в микросети может не только эффективно решить проблему чрезмерных потерь в протяженной линии электросети, но и повысить надежность электроснабжения. Это экономично и экологично, а также помогает повысить эффективность использования энергии. В данной работе анализируются рабочие характеристики системы с фотоэлектрическими панелями и батареями.

Микросеть постоянного тока, как следует из ее названия, представляет собой тип распределения питания постоянного тока, который объединяет распределенные источники питания через шины постоянного тока и определенную систему управления для координации работы каждого модуля [1]. В то же время он также может напрямую передавать энер-

гию постоянного тока на нагрузки постоянного тока, такие как компьютеры, которым требуется высокая надежность передачи электроэнергии. Структура микросети включает в себя распределение, тип и интерфейс подключения к сети распределенных источников питания и нагрузок.

Принципиальная схема микросети постоянного тока показана на рис. 1. Один конец шины подключен к сети через трансформатор и преобразователь переменного тока в постоянный, в то время как другой конец подключен к распределенной мощности, модулю накопления энергии аккумулятора, модулю выработки фотоэлектрической энергии или модулю выработки энергии ветра [2]. Также неотъемлемой частью данной схемы является наличие DC/DC преобразователей. Стоит отметить, что данная микросеть может работать независимо от основной электросети. Гибкость сетевого взаимодействия выгодна для координации и управления каждым модулем, нет проблем с балансом реактивной мощности из-за распределения мощности постоянного тока, что повышает его эксплуатационную надежность. Все виды источников питания должны быть подключены к системе microgrid через электронный преобразователь мощности. В режиме подключения к сети распределенные генераторные установки будут предоставлять вспомогательные услуги в виде локальной поддержки напряжения. Находясь в режиме изолированной работы, система будет управлять напряжением и частотой сети и накапливать или отдавать электроэнергию и мгновенную разницу в мощности между нагрузками для защиты микросети.

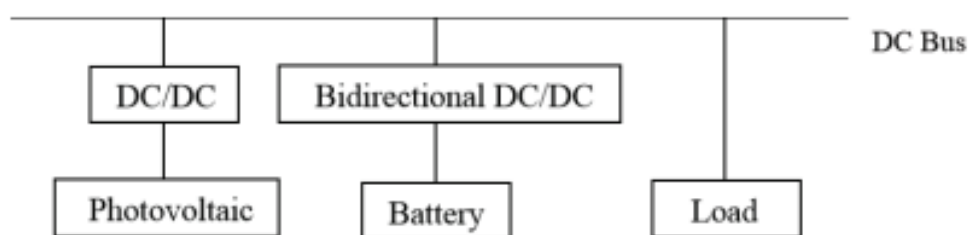


Рис. 1. Концепция DC микросети

Прототип системы состоит из источников распределенной генерации, литиевой батареи и нагрузок постоянного тока. Напряжение шины постоянного тока составляет 375 В. Также в состав входит восемь фотоэлектрических панелей мощностью 255 Вт, максимальная выходная мощность которых составляет 2041 Вт, а отслеживание мощности (MPPT) достигается за счет скоординированного управления цепью усиления и модулем MPPT. Емкость литиевой батареи составляет 125 В/12 Ач, а ее функции зарядки и разрядки реализуются двунаправленным преобразователем постоянного тока и стратегией управления с двойным замкнутым контуром [3]. Когда напряжение на шине ниже 375 В, аккумулятор подает питание на шину, в противном случае, когда напряжение на шине превышает 375 В, литиевая батарея находится в режиме зарядки. Она взаимодействует с шиной постоянного тока для поддержания напряжения около 375 В, а общая нагрузка составляет 2000 Вт.

Микросеть постоянного тока проста по структуре, легко совместима с существующим оборудованием переменного тока и гибка в применении.

Библиографический список

1. Yongqiang Zhu, Lihu Jia and Yinshun Wang, "Basic design principles for micro-grid architecture," *Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy*, vol. 34, no. 9, pp. 44-49, 63, 2015.
2. Chengshan Wang, Zhen Wu and Peng Li, "Research on key technologies of microgrid," *Transactions of China Electrotechnical Society*, vol. 29, no. 2, pp. 1-12, 2014.
3. Jie Shi, Zhanghua Zheng and Qian Ai, "Modeling of DC microgrid and stability analysis," *Electric Power Automation Equipment*, vol. 30, no. 2, pp. 86-90, 2010.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «УМНЫМ ДОМОМ» НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

А. Е. Кудрявцев, В. И. Зацепина

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: tembich001@mail.ru)*

Принимая во внимание современный комфорт «умного дома», взаимодействие человека и компьютера, стоимость, энергопотребление и другие аспекты, становится ясно, что для передачи данных из домашней сети и управления удобно использовать технологию беспроводной связи с датчиками ZigBee. В сочетании с сетевой технологией 3G/4G система удаленного мониторинга intelligent home обладает полным набором функций, низкой ценой, комфортным управлением.

С быстрым развитием мобильного интернета, интернета вещей, облачных вычислений и сенсорных технологий строительство зданий движется навстречу интеллектуальным идеям. Для решения проблемы высокой цены, сложной установки системы управления умным домом предлагается новая структура мобильного клиента Android, встроенный терминал, платформа интернета вещей и облачных вычислений, система управления умным домом с низкой стоимостью, простой установкой, удобной настройкой. Система использует множество способов управления. Используя Android в качестве операционной системы мобильного клиента, пользователи могут управлять домашними объектами через приложение, терминал, в то время как используя облачный сервер Tencent Linux для создания сервисного сайта вместо встроенного сервера компании, пользователи всегда могут удаленно управлять устройствами через веб-интерфейс в любое время [1]. Это значительно снижает затраты на оборудование «умного дома».

Умный дом, основанный на интернете вещей и платформе облачных вычислений, может быть многоуровневым в соответствии с архитектурой интернета вещей. Сетевой уровень в основном состоит из облачной серверной платформы Linux, которая анализирует и обрабатывает домашние данные пользователя [2]. Уровень восприятия полагается на бес-

проводную сенсорную сеть ZigBee в доме для сбора информации. Встроенный домашний шлюз является связующим звеном между уровнем восприятия и сетевым уровнем. Он отвечает за сбор и обработку данных уровня восприятия, затем данные передаются на сетевой уровень.

Система в полной мере использует преимущества интернета вещей, облачных вычислений и встраиваемых технологий и обладает 5 функциональными характеристиками:

– управление бытовой техникой: пользователи используют телефоны Android или планшеты на Android для удаленного управления всеми типами электрооборудования в доме, такими как светильники, шторы, кондиционеры, телевизоры, воздухоочистители и т.д.;

– мониторинг окружающей среды: данные об окружающей среде «умного дома» собираются датчиками температуры и влажности, газовыми датчиками и инфракрасными датчиками человека;

– видеонаблюдение: с помощью системы видеокамер пользователь может просматривать обстановку в доме через мобильный телефон или веб-страницу.

– мультисервисный способ доступа: пользователи могут использовать мобильный телефон Android, планшет для подключения к облачному серверу Linux, для удаленного мониторинга и управления умным домом [3];

– регулирование комфорта: пользователь может самостоятельно регулировать температуру и влажность в помещении с помощью программы на мобильном телефоне.

Таким образом технологии умного дома позволяют управлять практически всеми системами, могут обеспечить удаленный мониторинг и предоставляют возможность регулировать температуру и влажность в помещении в соответствии с наиболее комфортными условиями для человека.

Библиографический список

1. Chan M., Campo E., Estève D. “Smart Homes-Current Features and Future Perspectives,” *Maturitas*, 2009, vol.64 (2), pp. 90-97.
2. Perumal T., Sulaiman M. N., Sharif K. Y. “Development of an Embedded Smart Home Management Scheme,” *International Journal of Smart Home*, 2013, vol. 7 (2), pp. 15-26.
3. Perera C., Zaslavsky A., Chrisiten P. “Sensing as a service model for smart cities supported by internet of things,” *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 2014, vol. 25 (1), pp. 81-93.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДСЧЕТА ДИАМЕТРА РУЛОНА МОТАЛКИ В «TIA PORTAL»

М. А. Леликов

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

(e-mail: lelikov760@gmail.com)

Данная работа посвящена разработке и симулированию автоматической системы подсчета диаметра рулона моталки. С помощью данной программы осуществляется подсчет диаметра при помощи энкодера, счетного модуля и математического блока подсчета диаметра. В программной среде TIA Portal с применением микропроцессорного контроллера CPU S7 1518-4 PN/DP.

Моделирование системы будет сделано следующим образом.

1. При нажатии кнопки подача рулона на моталку проверяются условие готовности насоса. Если все шесть датчиков в норме моталка начинает свою работу.

2. При намотке работает энкодер реализованный с помощью мультивибратора. Импульсы передаются на счетный модуль, который считает угловое и линейное количество импульсов и передает данные в следующий блок.

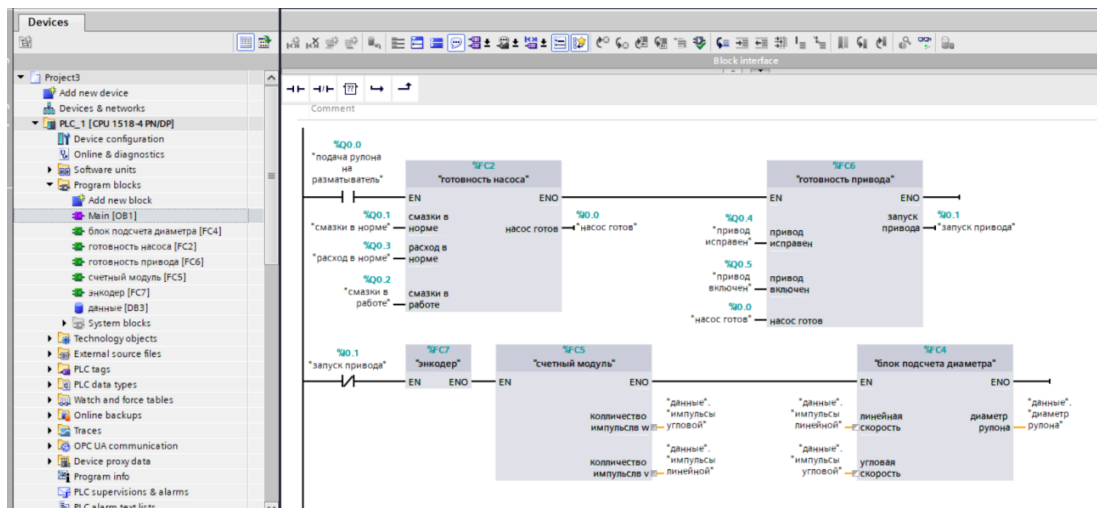
3. В математическом модуле с помощью деления количества линейных и угловых импульсов и умножения на константу получается диаметр.

$$\omega_{нач} = \frac{v \cdot i}{\pi \cdot D_{бар}} \quad (1)$$

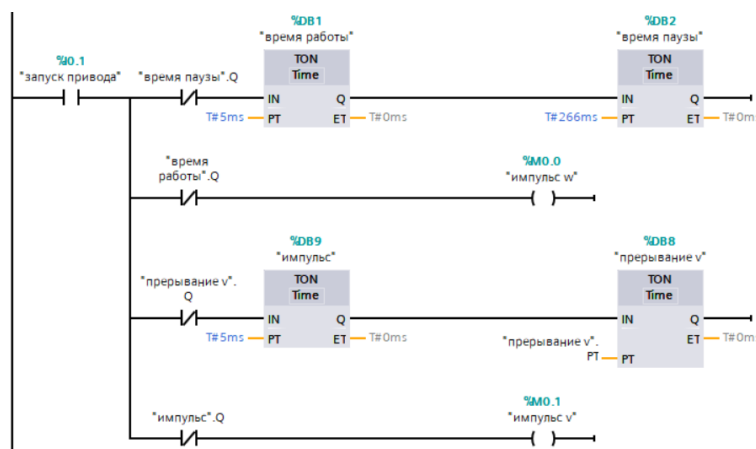
$$D_{тек} = \frac{v \cdot i}{\pi \cdot \omega_{тек}} \quad (2)$$

4. Линейная скорость нам известна, угловая считается по формуле (1), в начальный момент времени и угловые и линейные импульсы исходные. После каждого цикла подсчета диаметра угловая скорость уменьшается программно, так как диаметр растет в следствии намотки, а линейная скорость должна поддерживаться постоянной, чтобы процесс всего агрегата не затормаживался. Каждый цикл математически считается диаметр по формуле (2). В итоге диаметр в начале работы равен 2 м, в течение времени он становится больше.

В ходе данной работе разработали и симулировали программу подсчета диаметра моталки для ПЛК Siemens серии S-1500 в программной оболочке «Tia Portal».



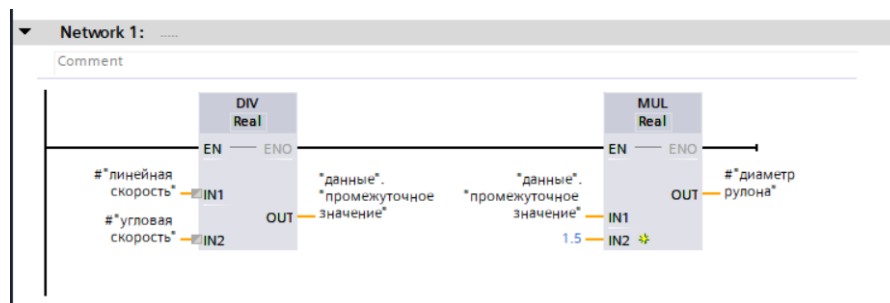
а)



б)



в)

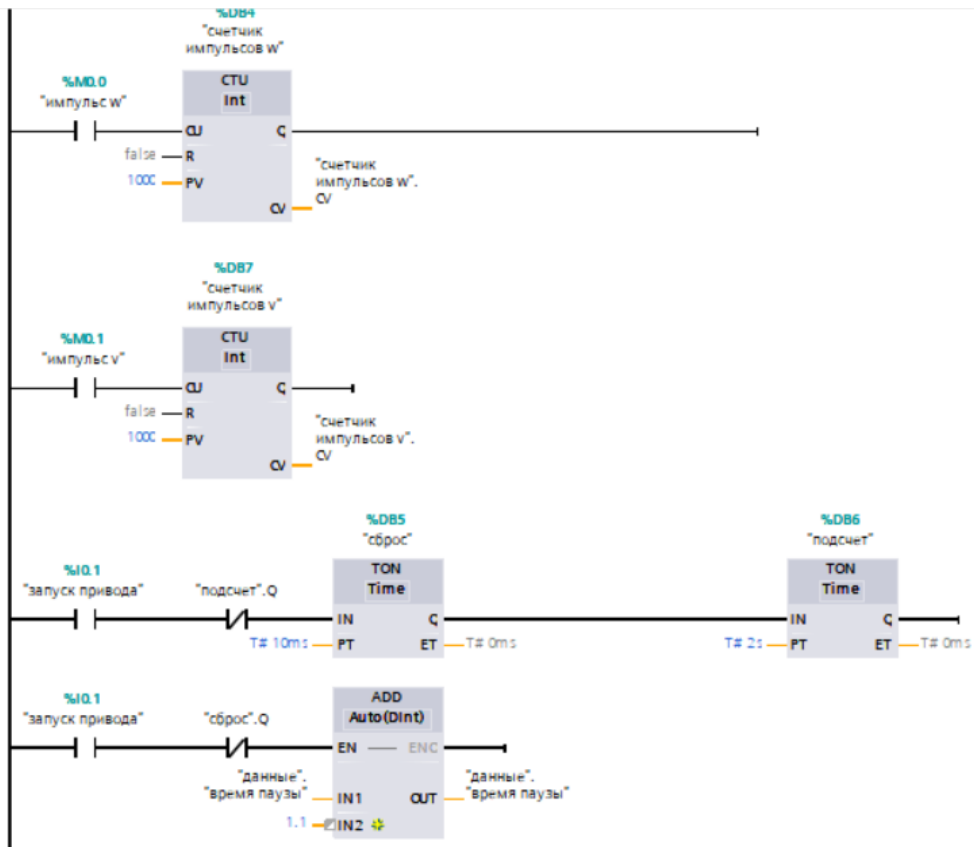


г)

Рис. 1. Блоки моделирования в программной среде «TIA PORTAL»:

а – вкладка «Main» программы; б – блок симулирования энкодера;

в – блок готовности насоса и привода, г – математический блок подсчета; д – счетный модуль



д)

Рис. 1. Окончание

данные					
	Name	Data type	Start value	Monitor value	F
1	Static				
2	импульсы линейной	Real	0.0	1081.0	
3	импульсы угловой	Real	0.0	805.0	
4	промежуточное зна...	Real	0.0	1.342857	
5	диаметр рулона	Real	0.0	2.014286	
6	сброс параметров	Bool	false	FALSE	

а)

данные					
	Name	Data type	Start value	Monitor value	F
	Static				
	импульсы линейной	Real	0.0	2014.0	
	импульсы угловой	Real	0.0	924.0	
	промежуточное зна...	Real	0.0	2.179654	
	диаметр рулона	Real	0.0	3.26948	
	сброс параметров	Bool	false	FALSE	
	время паузы	Time	T#2ms	T#287MS	

б)

Рис. 2. Результат моделирования симуляции:

а – начало симуляции; б – конец симуляции

Библиографический список

1. Berger, Hans. Automating with SIMATIC S7-1500 Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional by // Publisher: Publicis Publishing, Erlangen. – 2014.

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРИБОРА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

А. Д. Лоскутова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: anya.loskutova.94@mail.ru)

Первичный измерительный преобразователь [1] (ПИП) работает при разных электрофизических параметрах в зависимости от условий применения, назначения и востребованных измерительных характеристик – чувствительность, диапазон измерения, линейность выходной характеристики. Для осуществления обратной связи с ПИП в целях управления им электрофизическими параметрами необходима цифровая система.

В устройствах и системах электроэнергетики присутствуют такие узлы, в которых необходимо контролировать теплофизические характеристики. Для такого контроля служит прибор с первичным измерительным преобразователем, основанном на полупроводниковой полевой структуре. Для управления преобразователем в составе прибора необходима цифровая система. Эта система состоит (рис. 1) из преобразователя температуры, блока управления (БУ), преобразователя уровня (ПУ), блока стабилизированного питания (БСП), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), микропроцессора (МП).

ПИП состоит из нагревателя (Н) и полупроводникового термочувствительного элемента (ПТЧЭ). Блок управления реализует заданный алгоритм работы системы, с помощью которого регулируются электрофизические параметры преобразователя. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) служащий для коммутации выходных сигналов и преобразования в цифровую информацию, необходимую для ввода в микропроцессор МП.

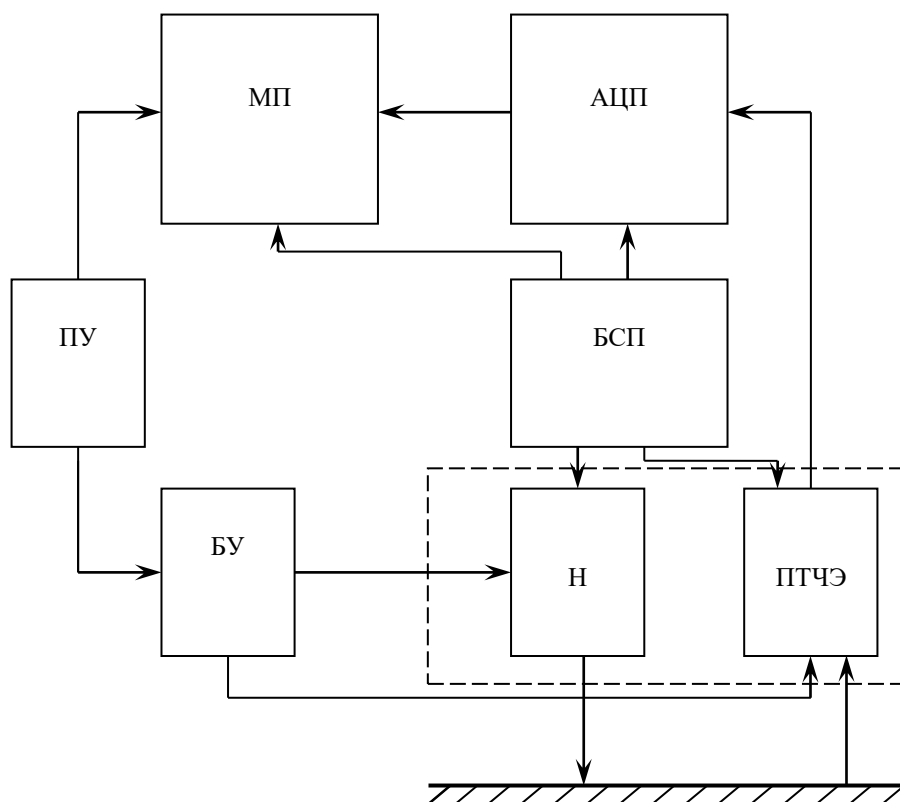


Рис. 1. Структурная схема цифровой системы контроля теплофизических характеристик

В заключение можно сказать, что проделана работа по проектированию цифровой системы, необходимой для управления преобразователем температуры, сформированном на полевой полупроводниковой структуре. Это управление необходимо при различных поставленных задачах измерения теплофизических свойств, согласно математической модели электрофизических процессов в преобразователе при изменении температуры и при различных электрофизических и конструкторско-топологических параметрах структуры преобразователя [2].

Библиографический список

1. Korolev, A. P. Solid State Primary Initial Transformer Design for Heat Values Measurement / A. P. Korolev, V. P. Shelochvostov, V. N. Chernyshov // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 1999. – Т. 5, № 4. – С. 536 – 542.
2. Брусенцов, Ю. А. Исследование электрофизических процессов в полевых полупроводниковых структурах для измерения теплофизических характеристик / Ю. А. Брусенцов, А. П. Королев, А. В. Озаренко // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2006. – Т. 12, № 1. – С. 122 – 128.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕТЯХ 0,4 – 110 КВ

В. Н. Мещеряков, Е. С. Мантухов, В. Е. Гладышев

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

Актуальность работы определяется необходимостью выравнивания нагрузки и снижению потерь напряжения на каждом участке электросети. С этой целью можно установить дополнительный источник напряжения, который будет накапливать энергию в моменты минимальной нагрузки на сеть и отдавать ее параллельно с сетью в моменты максимальных нагрузок. В качестве буферного накопителя энергии будет выступать система литий-ионных аккумуляторных батарей (ЛИАБ).

Технология хорошо отработана и широко применяется в различных установках – от бытовых устройств, электромобилей до системы накопления энергии (СНЭ) мегаваттного уровня в электроэнергетическом секторе.

В данной работе обеспечивается поддержание номинального выходного напряжения 380 В в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального.

Ниже приведены варианты внедрения данной технологии.

Вариант 1. Применение СНЭ в ВЛ-0,4 кВ для поддержания качества электроэнергии.

Вариант 2. Сглаживание пиковых нагрузок на ПС 35...110 кВ. Применение накопителя позволяет устранить дефицит мощности на подстанции без реконструкции и замены трансформаторов.

Рассмотрим пример реализации по первому варианту. Имеется район, в Белгородской области приведенный на рис. 1.

Взяв в информацию по полезному отпуску энергии (кВт·ч) по каждому из адресов отдельно, и проведя расчет по нагрузке на каждой фазе, выяснилось, что просадка напряжения по фазе А получилась 197 В, что является самой нижней границей ГОСТ 32144–2013 [3]. На рисунке 2 приведен суточный график напряжения.

Возможности поставить трансформатор электроэнергии нет, так как это запрещает Приказ Минэнерго РФ от 20.06.2003 N 242 [4]. Поэтому фирмой МРСК было принято решение поставить ЛИАБ.

Таким образом, внедрение ЛИАБ в городе Белгороде дало выравнивание напряжения и падение его не ниже 210 В (примерно 5% от номинала), что соответствует ГОСТу. Предполагается, что внедрение ЛИАБ в распределительные электрические сети достаточно перспективно, так как ее стоимость с каждым годом становится ниже, а решение ряда проблем осуществимо только с ее помощью.

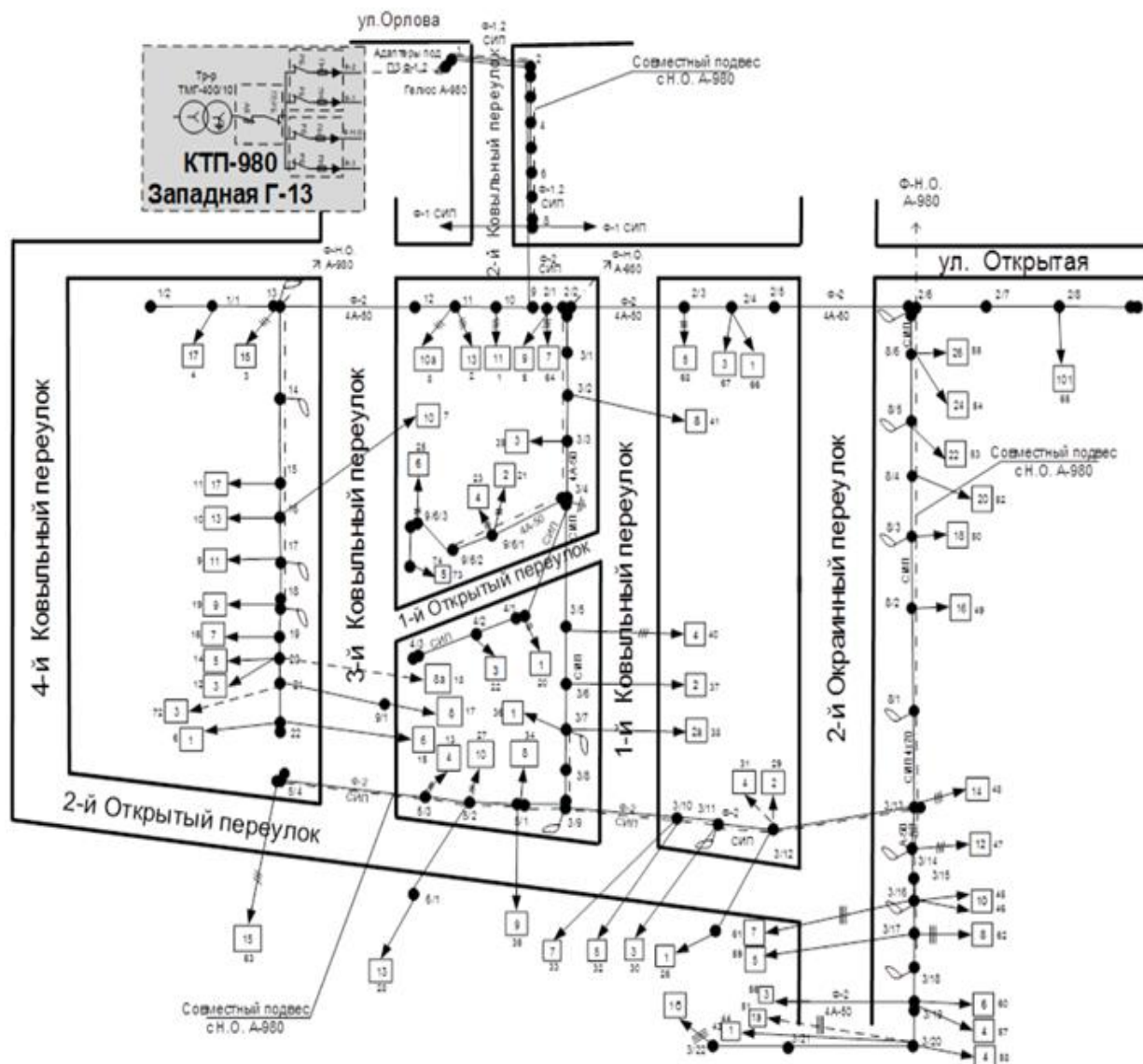


Рис. 1. Поопорная схема ВЛ 0,4 кВ Ф2 ТП 980

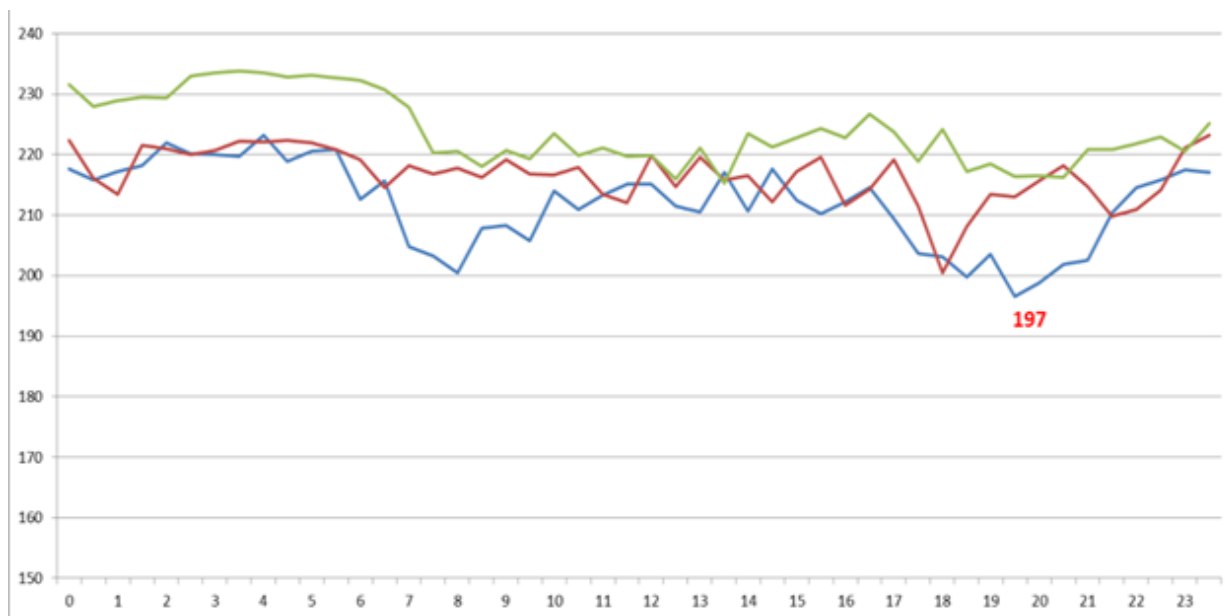


Рис. 2. Суточный график напряжения

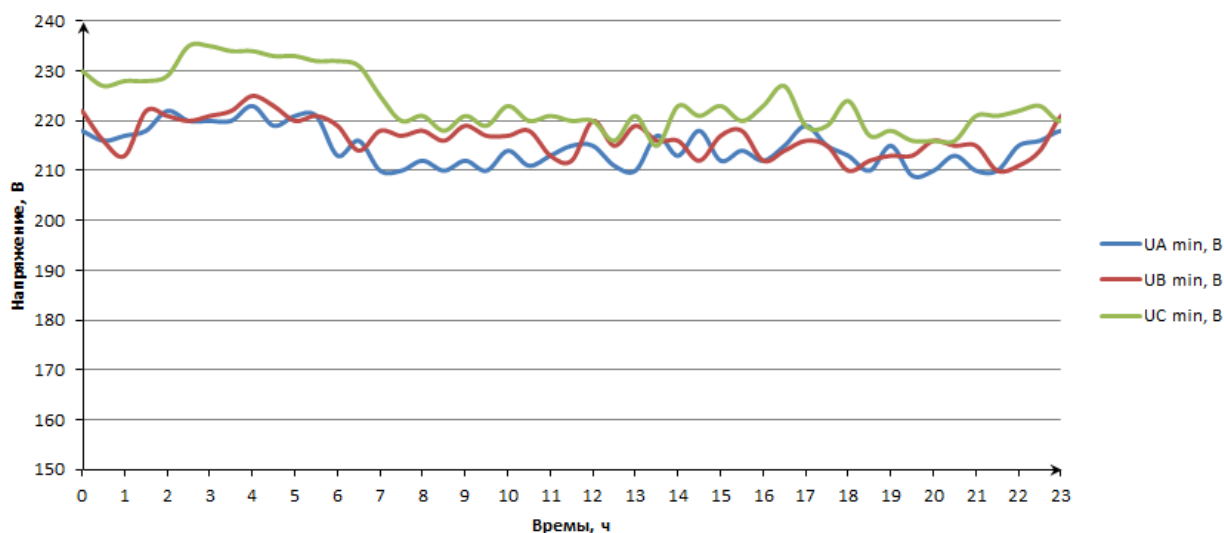


Рис. 3. Суточный график напряжения

Библиографический список

1. Мещеряков, В. Н. Компенсация гармонических искажений и реактивной мощности в однофазных электрических сетях посредством параллельного активного фильтра электроэнергии на базе релейного регулятора тока / В. Н. Мещеряков, М. М. Хабибуллин / Изв. высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013. – № 4. – С. 54 – 57.

2. Kukishev D., Meshcheryakov V., Boikov A., Evseev A. Energy saving in the scalar control system of an asynchronous electric drive / В сборнике: 2018 10th International Conference on Electrical Power Drive Systems, ICEPDS 2018. – Conference Proceedings. 10. 2018. С. 8571784.

ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЭС ОТ ПАРАМЕТРОВ АНТЕННЫ

И. А. Некрылов, В. С. Аистов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: nekrylov.ilya@mail.ru, Aistov.volk-vovan@mail.ru)*

В настоящее время вопрос повышения энергоэффективности во многих радиотехнических средствах является весьма актуальной задачей. Энергетические характеристики РЭС зависят от ее параметров: чувствительности приемника, мощности излучения передатчика, ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) и уровня боковых лепестков (УБЛ) антенны [1 – 4].

Рассмотрим две энергетические характеристики антенны: мощность излучения и уровень боковых лепестков диаграммы направленности.

Излучающая мощность – мощность электромагнитных волн, излучаемых антенной в свободное пространство. Это активная мощность, так как она рассеивается в пространстве, окружающем антенну.

Понятие диаграммы направленности (ДН) необходимо для исследования процесса распределения энергии, которую антенна излучает в пространство. Уровень боковых лепестков ДН определяет степень побочного излучения антенной электромагнитного поля. Он влияет на скрытность работы радиотехнического устройства и на качество электромагнитной совместимости с ближайшими радиоэлектронными системами.

Рассмотрим влияние УБЛ диаграммы направленности на мощность излучения передатчика радиотехнических средств радиотехнической разведки (РТР) противника.

Формула для определения дальности радиотехнической разведки по боковым лепесткам ДНА [1]

$$D_p = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{и}} G_c G_p \gamma \psi}{P_{\text{вх.мин}}}} F_{\text{сб}}(\theta_p, \alpha_p) F_p(\theta_c, \alpha_c), \quad (1)$$

где λ – длина волны РЭС, м; $P_{\text{и}}$ – излучаемая РЭС импульсная (мгновенная) мощность РЭС, Вт; G_c – КНД антенны РЭС; G_p – КНД антенны станции РТР; γ – коэффициент несовпадения поляризации сигнала РЭС и антенны станции РТР, $\gamma \leq 1$; ψ – коэффициент передачи мощности антенно-фидерного тракта станции РТР от выхода антенны до входа разведприемника; $F_{\text{сб}}(\theta_p, \alpha_p)$ – значение нормированной ДНА по боковым лепесткам РЭС по напряженности в направлении на станцию РТР; $F_p(\theta_c, \alpha_c)$ – значение нормированной ДНА станции РТР по напряженности в направлении на РЭС; $P_{\text{вх.мин}}$ – реальная чувствительность разведприемника, т.е. минимальная мощность сигнала РЭС на входе приемника при которой обеспечивается обнаружение сигналов РЭС с заданной вероятностью, Вт.

Обозначим:

P_1 – мощность излучения при УБЛ = $F_{c\delta_1}(\theta_p, \alpha_p)$;

P_2 – мощность излучения при УБЛ = $F_{c\delta_2}(\theta_p, \alpha_p)$.

При постоянстве всех остальных составляющих для первого случая выражение (1) примет вид

$$D_p = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_1 G_c G_p \gamma \Psi}{P_{\text{вх.мин}}}} F_{c\delta_1}(\theta_p, \alpha_p) F_p(\theta_c, \alpha_c). \quad (2)$$

После изменения УБЛ и мощности излучения выражение (1) будет выглядеть следующим образом

$$D_p = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{P_2 G_c G_p \gamma \Psi}{P_{\text{вх.мин}}}} F_{c\delta_2}(\theta_p, \alpha_p) F_p(\theta_c, \alpha_c). \quad (3)$$

Приравнявая выражения (2) и (3), получаем

$$\sqrt{P_1} F_{c\delta_1}(\theta_p, \alpha_p) = \sqrt{P_2} F_{c\delta_2}(\theta_p, \alpha_p). \quad (4)$$

Подставляя в (4) $F_{c\delta_2}(\theta_p, \alpha_p) = \frac{F_{c\delta_1}(\theta_p, \alpha_p)}{2}$, получим:

$$P_1 = 4 P_2.$$

Полученное равенство показывает, что в результате снижения УБЛ всего лишь в 2 раза, можно получить увеличение мощности излучения в 4 раза, по сравнению с первоначальным значением. Это позволяет вести передачу сигнала на ту же дальность, но со значительным уменьшением энергетических затрат на его излучение.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность РЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк, Т. И. Чернышова. – Тамбов : ТГТУ, 2013. – 92 с.
2. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032111 (2018).
3. Pudovkin, A. P., Panasyuk, Yu N., Danilov, S. N., Moskvitin, S. P. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation. – Journal of Physics: Conference Series, Volume 1015, Issue 3, article id. 032112 (2018).
4. Панасюк, Ю. Н. Основы автоматизации проектирования устройств СВЧ и антенн [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Ю. Н. Панасюк, А. П. Пудовкин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 270 с.

ОБНАРУЖЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

И. В. Павлов, В. И. Зацепина

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

(e-mail: grecha1917@gmail.com)

Электроэнергетическая система состоит из множества различных сложных и взаимодействующих между собой элементов, которые подвержены различным электрическим неисправностям. Использование электростанций большой мощности, а также концепции сети, т.е. синхронизированных электростанций и географически смещенных сетей, требуют выявления неисправностей и срабатывания защитного оборудования в минимально возможное время, чтобы энергосистема могла оставаться в стабильном состоянии. Неисправности на линиях электропередачи должны быть сначала обнаружены, а затем правильно классифицированы и устранены в кратчайшие сроки.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) может эффективно применяться для обнаружения и классификации неисправностей, поскольку это метод программирования, способен легко решать нелинейные задачи. Кроме того, ИНС способны учиться на собственном опыте, т.е. на примерах. Они получили широкое признание и используются в задачах, связанных с обнаружением и классификацией неисправностей благодаря следующим особенностям:

- возможность выбора конфигураций линий передач, имеются любые возможные в зависимости от протяженности, контура и т.д.;
- наличие множества методов быстрого и надежного моделирования сети с различными условиями энергосистемы;
- состояние электроэнергетической системы меняется после каждого нарушения. Следовательно, нейронная сеть способна учитывать динамические изменения в энергосистемах;
- вывод информации у ИНС очень быстрый, надежный и точный в зависимости от степени обучения, потому что его работа зависит от ряда очень простых операций.

Алгоритмы, в которых используется программирование ИНС, имеет множество преимуществ, но также имеет ряд недостатков, которые очень сложны по своей природе. Некоторыми из важных факторов являются выбор типа сети, структуры сети, критерии завершения и т. д. Существуют различные параметры, такие как значения напряжения до и после нарушения и токи соответствующих трех фаз в установившемся режиме, необходимые для точного обнаружения и классификации повреждения.

Значения предаварийного и послеаварийного напряжения и тока соответствующих трех фаз сильно различаются и зависят от типа неисправности. Таким образом, для метода классификации неисправностей требуется нейронная сеть, способная определить тип неисправности по схемам напряжений и токов до и после неисправности, которые генерируются из значений, измеренных в трехфазной линии электропередачи электроэнергетической

системы. на одном терминале. Нейронная сеть основана на общем количестве шести входов, т.е. на напряжениях и токах соответствующих трех фаз. Нейронная сеть обучается с использованием этих шести входных данных. Общее количество выходов нейронной сети равно четырем цифрам, т.е. три фазы А, В, С и четвертая земля трехфазной линии передачи.

Нейронная сеть имеет четыре выхода, каждый из которых соответствует состоянию неисправности каждой из трех фаз, и один выход для линии заземления. Следовательно, выходы равны 0 или 1, что означает отсутствие или наличие неисправности на соответствующей линии. Следовательно, различные возможные перестановки могут соответственно представлять каждую из различных ошибок. Предлагаемая нейронная сеть должна быть способна точно различать не менее десяти возможных категорий неисправностей.

Библиографический список

1. Alanzi E. A., Younis M. A., Ariffin A. M. (2014) Detection of faulted phase type in distribution systems based on one end voltage measurement. *Electr Power Energy Syst* 54:288–292.
2. Aziz M. S., Abdel M. A., Hassan M., Zahab E. A. (2012) High-impedance faults analysis in distribution networks using an adaptive neuro fuzzy inference system. *Electr Power Compon Syst* 40(11):1300–1318.
3. Bouthiba T. (2004) Fault location in EHV transmission lines using artificial neural networks. *Int J Appl Math Comput Sci* 14(1):69–78.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В УСТРОЙСТВАХ НАГРУЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

М. Н. Погуляев

Гомельский государственный технический университет

имени П. О. Сухого, Гомель, Республика Беларусь

(e-mail: poguljaev@gstu.by)

В настоящее время синхронные генераторы (СГ) применяются в качестве источника электроэнергии переменного тока в самых различных сферах: на мощных тепло-, гидро- и атомных станциях, в промышленной энергетике, на передвижных электрических станциях, транспортных системах (машинах, самолетах, тепловозах). Широко используются СГ и в автономных резервных источниках. Для обеспечения надежной работы синхронных генераторов периодически проводятся их техническое обслуживание и ремонт с последующим испытанием под нагрузкой. Особенно важны такие испытания для резервных электрогенераторов длительно находящихся в холодном резерве.

Согласно требованиям стандартов и технических условий для резервных электрогенераторов. устройство нагружения (УН) должно создавать нагрузку в пределах от 10 до 110% номинальной мощности генератора при номинальном коэффициенте мощности 0,8. Кроме

того, УН должно имитировать пуск асинхронного короткозамкнутого двигателя, при котором коэффициент мощности может снижаться до 0,5. Существующие устройства нагружения электрогенераторов не в полной мере удовлетворяет данным требованиям.

В связи с этим актуальной является задача разработка новых УН на основе современных полупроводниковых элементов, отвечающих всем необходимым требованиям регламента испытаний [1].

В данной работе представлены результаты исследования устройства нагружения синхронных электрогенераторов на базе статических преобразователей, в которых управляемый выпрямитель (УВ) и ведомый сетью инвертор (ВИ) выполнены на тиристорах (рис. 1). Такое устройство позволяет плавно регулировать величину нагрузки и коэффициента мощности, а также рекуперировать вырабатываемую испытуемым генератором электроэнергию с переменным напряжением и частотой в промышленную сеть.

Для верификации предложенной схемной реализации УН было использовано имитационное моделирование в программной среде Matlab с использованием пакетов расширения Sim Power Systems и Simulink.

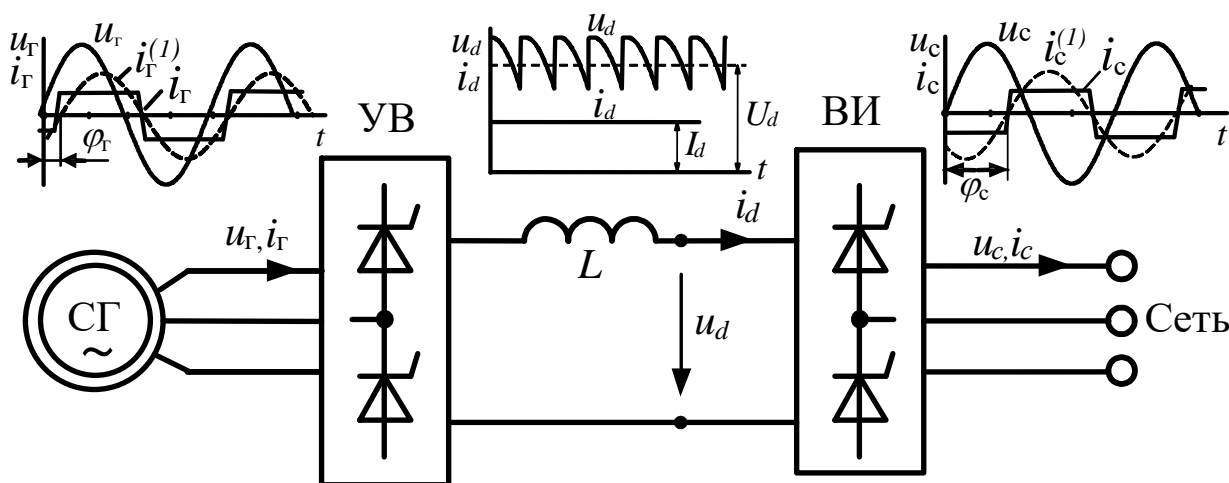


Рис. 1. Функциональная схема устройства нагружения на основе статических преобразователей

Разработанная имитационной модель позволяет задавать различные режимы работы устройства и алгоритмы управления, получать значения различных параметров, производить визуализацию результатов. С ее помощью было проведено численное моделирование работы устройства нагружения с трехфазным синхронным генератором мощностью 8,1 кВА.

В частности, были получены зависимости коэффициента мощности от угла управления первым преобразователем и тока нагрузки генератора от угла опережения второго преобразователя. Установлено, что изменяя угол управления в пределах $11^\circ - 60^\circ$ можно задавать коэффициент мощности в диапазоне 0,5 – 0,9, а изменяя угол опережения в диапазоне $20^\circ - 75^\circ$ можно задавать ток нагрузки генератора в пределах 0,1 – 1,1 номинального значения.

Выявлено, что для исследуемого генератора, при номинальных значениях коэффициента мощности и тока нагрузки, в сеть возвращается до 82% электроэнергии, вырабатываемой генератором в процессе испытаний. Для генераторов большей мощности это значение может достигать 90% и более. Таким образом, устройство нагружения на основе тиристорных преобразователей может успешно применяться для испытания синхронных электрогенераторов под нагрузкой. Недостаток предложенного УН состоит в том, что из-за практически прямоугольной формы выходного тока появляются высшие гармоники, которые в маломощных электрических сетях могут привести к искажению питающего синусоидального напряжения. Для улучшения гармонического состава выходного тока УН, в дальнейших исследованиях, предполагается использовать широтно-импульсную модуляцию выходного напряжения ведомого инвертора.

Библиографический список

1. Энергоэффективные испытательные стенды / М. Н. Погуляев и др. // Энергоэффективность. – 2018. – № 9. – С. 26 – 30.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Е. М. Портнов, А. М. Баин, В. В. Кокин

Национальный исследовательский университет МИЭТ, Россия, Москва

(e-mail: evgen_uis@mail.ru)

При создании системы энергообеспечения промышленных объектов реализован метод формирования основных компонентов информационного сообщения, предназначенного для передачи от контролируемых пунктов (КП) в пункты управления (ПУ), не общим для всех модулей контроллером, а непосредственно модулем – источником информации.

Централизованный метод формирования информационных сообщений позволяет интегрировать в одно сообщение события, которые зафиксированы центральным контроллером при обработке информации от всех модулей – источников одного и того же вида информации. Рассмотрим временные параметры системы при централизованном методе и при следующих начальных условиях: n – число модулей одного вида информации, введенные в состав одного КП; m – число контролируемых объектов, подключенных к одному КП; $F_{\text{внутр}}^{\text{маг}}$ – скорость передачи данных по внутренней магистрали; $F_{\text{ПУ-КП}}$ – скорость передачи информации по каналу связи ПУ–КП.

Для анализа принимаем: $n = 20$, $m = 32$, $F_{\text{внутр}}^{\text{маг}} = 2 \cdot 10^5$.

Время, затрачиваемое на передачу интегрированного информационного сообщения при централизованном методе его формирования ($T_{Ц}^1$) равно:

$$T_{Ц}^1 = T_{ввод}^{цконтр} + T_{обр}^{цконтр} + T_{ПУ-КП}^{цконтр}.$$

Для формирования интегрированного информационного сообщения в централизованный контроллер по внутренней магистрали устройства КП должны быть введены и обработаны данные всех n модулей, после чего сформированное сообщение должно быть передано по каналу связи ПУ–КП.

$$T_{ввод}^{цконтр} = n(t_{опр} + t_{п} + t_{инф} + t_{п}).$$

Принимаем: $t_{опр} = \frac{3 \cdot 8}{2 \cdot 10^5} c$, $t_{п} = 0,5t_{опр}$, $t_{инф} = \frac{1,5m}{F_{внутр}^{маг}}$. Тогда:

$T_{ввод}^{центр} \approx 0,5 \cdot 10^{-3} c$, $T_{обр}^{центр} = nmT_{обр}^1$, где $T_{обр}^1$ – время обработки информации одного датчика.

$$\text{Следовательно } T_{обр}^{центр} = 20 \cdot 32 \cdot T_{обр}^1 = 640 \cdot T_{обр}^1.$$

Предполагая, что введенная в контроллер информация включает события для передачи, получим время передачи данных двух событий:

$$T_{перед}^{центр} = T_{разр} + T_{инф} = \frac{6 \cdot 8 + 32 \cdot 8}{F_{ПУ-КП}} \approx \frac{300}{F_{ПУ-КП}}.$$

Первое слагаемое $T_{разр}$ – шестибайтный код разрешения передачи информации от КП, а второе слагаемое $T_{инф}$ – информационное сообщение, включающее два события и индивидуальные метки времени.

Проведем аналогичный анализ при формировании информационных сообщений не центральным контроллером, а модулями ввода дискретных сигналов. Предполагаем, что в одном цикле опроса модулей с вероятностью $P_0 = 0,85$ ни в одном из модулей не зафиксировано событие, т.е. модуль при опросе формирует пассивный ответ ($t_{отв}^{пасс}$). С вероятностью $P_1 = 0,1$ в одном модуле зафиксировано событие, а с вероятностью $P_2 = 0,05$ события зафиксированы в двух модулях:

$$T_{ввод}^{ДЕЦ} = P_0 n(t_{опр} + 2t_{п} + t_{отв}^{пасс}) + P_1 \left[(n-1)(t_{опр} + 2t_{п} + t_{отв}^{пасс}) + (t_{опр} + 2t_{п} + t_{инф}) \right] + P_2 \left[(n-2)(t_{опр} + 2t_{п} + t_{отв}^{пасс}) + 2(t_{опр} + 2t_{п} + t_{инф}) \right],$$

При $t_{отв}^{пасс} = t_{опр}$ получим: $T_{ввод}^{ДЕЦ} = 0,46 \cdot 10^{-3} c$.

В контроллер поступают уже обработанные модулями информационные сообщения, поэтому: $T_{обр}^{ДЕЦ} = 0$. С учетом того, что в полученных данных уже зафиксировано два события, контроллер должен реализовать два информационных обмена, причем в каждое сообщение включаются данные одного события. Соответствующее сообщение включает 16 байт. Следовательно:

$$T_{перед}^{ДЕЦ} = 2(T_{РАЗР} + T_{ИНФ}^1) = 2 \left(\frac{6 \cdot 8}{F_{ПУ-КП}} + \frac{16 \cdot 8}{F_{ПУ-КП}} \right) = \frac{440}{F_{ПУ-КП}}.$$

Общее время при децентрализованном методе формирования сообщений, окажется меньше, чем при централизованном, при выполнении неравенства:

$$0,5 \cdot 10^{-3} + 640 \cdot T_{\text{ОБР}}^1 + \frac{300}{F_{\text{ПУ-КП}}} \geq 0,46 \cdot 10^{-3} + \frac{440}{F_{\text{ПУ-КП}}}.$$

Если время обработки данных одного датчика в контроллере устройства КП не менее 1 мкс, децентрализованный метод формирования информационных сообщений обеспечивает не меньшее быстродействие, чем централизованный, при $F_{\text{ПУ-КП}} \geq 218$ КГц.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СПЕЦИАЛИСТЫ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ СОВЕТСКОЙ РОССИИ (1920-е – начало 1930-х гг.)

О. Л. Протасова

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: olia.protasowa2011@yandex.ru)*

Актуальность темы данной статьи обусловлена необходимостью понимания роли государственной политики в становлении энергетического могущества России. Цель работы – выявление причин участия инженеров «старой школы» в создании объектов электроэнергетики СССР первых пятилеток. Методы исследования – биографический, анализ, синтез.

Сооружение энергетических объектов, которые вывели бы Советскую Россию в ряд промышленных держав, должно было послужить залогом экономического успеха большевистской власти, и, как следствие – ее политической жизнеспособности. Четко осознавая это, руководители государства придавали огромное значение созданию и выполнению плана ГОЭЛРО, настолько смелого в своей масштабности, что, помимо инициаторов, мало кто верил в возможность его осуществления в установленные сроки.

Однако план был не только выполнен, но и перевыполнен. Ключевую роль в достижении этого народно-хозяйственного успеха сыграли участие и руководящая роль технических специалистов – инженеров, «технократов», как их называли в те годы. Большинство технократической «верхушки» начало свою карьеру еще в дореволюционной России и поначалу к власти большевиков отнеслось скептически либо отрицательно. Исключение составлял Г. М. Кржижановский (1872 – 1959) – убежденный большевик, давний соратник В. И. Ленина. Он принимал самое активное участие в разработке плана электрификации России, стал председателем комиссии ГОЭЛРО, утвержденной 21 декабря 1920 г., первым председателем Госплана (1921 – 1930 гг.) [1]. Но, помимо него, выведению России «из мглы» способствовала деятельность и других крупных инженеров, далеко не сразу принявших советскую власть. Что же заставило их работать на благо политических противников?

Во-первых, истинных ученых – практиков и экспериментаторов – привлекала сложность и грандиозность стоявшей перед ними задачи. Наука, служение своей стране для них

оказались важнее политики. Многие и ранее, еще в имперский период, разрабатывали энергетические проекты, но не могли из-за отсутствия средств и, главное, государственной поддержки, рассчитывать на воплощение их в жизнь. Новая власть предоставила им условия для этого.

Во-вторых, работа давала возможность сохранить жизнь и свободу. Так, Г. О. Графтио (1869 – 1949), арестованный в марте 1921 г. Петроградской ЧК вместе со всем руководством Волховстроя, вскоре был освобожден как «крупный специалист» постановлением о «непричастности к делу» после личного вмешательства Ленина и Кржижановского. Комфортное жилье, достойная оплата труда – все это также имело значение для людей, и ранее имевших высокий социальный статус благодаря своим заслугам. Кстати, с началом нэпа в целом изменилось отношение власти к техническим специалистам: нехватка советских инженерных кадров заставляла ее мириться с ведущей ролью «старых спецов» на стройках социализма.

Ряд крупных отечественных специалистов-энергетиков получили высокие должности, соответствовавшие верхним ступенькам в иерархии советской партийно-хозяйственной номенклатуры. Многие из них были широко известны и любимы в народе. Возможно, эта популярность заставила И. В. Сталина во второй половине 1930-х гг. сменить руководство энергетической сферой: вместо «технократов» поставить «партократов» Л. М. Кагановича, В. В. Куйбышева, Г. К. Орджоникидзе и др., а создателей советской энергетики направить в систему Академии наук [2]. В период сталинских «чисток» из 19 человек руководящего ядра ГОЭЛРО пятеро были репрессированы: Н. Н. Вашков, Г. Д. Дубеллир, Г. К. Ризенкамф, Б. Э. Стюнкель, Б. И. Угримов [2].

Реализация плана ГОЭЛРО способствовала признанию авторитета СССР на международной арене, показала его технический и человеческий потенциал. Благодаря выполнению сложных стратегических задач в области энергетики СССР стал сильной индустриальной державой с развитой тяжелой и военной промышленностью, что, безусловно, способствовало победе в Великой Отечественной войне и, в дальнейшем, восстановлению и развитию народного хозяйства.

Библиографический список

1. Кржижановский Глеб Максимилианович [Электронный ресурс]. – URL : <http://revo.kemrsl.ru/?p=324> (дата обращения: 22.10.2022).
2. Министерство энергетики РФ. История ГОЭЛРО [Электронный ресурс]. – URL : <https://minenergo.gov.ru/node/3039> (дата обращения: 23.10.2022).

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ФУТУРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

О. А. Пустовая, Е. А. Пустовой

*Дальневосточный государственный аграрный университет, Благовещенск, Россия
(e-mail: pus14@rambler.ru)*

Формирование энергетического баланса в электрических сетях в настоящее время представляет собой одну из приоритетных задач энергетики в связи с введением в действие закона о микрогенерации. Прежде всего это связано с введением большого количества генерирующих объектов мощностью до 15 кВт, как локально, так и в целом по стране. В условиях их введения меняются режимы работы сетей, что сказывается непосредственно на параметрах качества поставляемой электроэнергии.

Одним из способов снизить влияние этих факторов является возможность введения модели микропрогнозирования как производства, так и потребления электрической энергии на локальном уровне. Фактически такая модель позволит снизить дисбаланс электроэнергетической системы до приемлемых значений. В целом структура энергетической системы в настоящее время может быть представлена крупными и малыми генерирующими объектами, отдающими мощность в единую электрическую сеть. Формирование модели взаимодействия с использованием микропрогнозирования возможно при использовании технологий искусственного интеллекта и Big Data. Фактически модель должна включать в себя следующие позиции:

– климатические условия с глубиной имеющегося метеорологического материала, и за последние 5 лет с большим количеством контрольных точек. Климатические условия имеют большой вес при построении моделей, так как при отрицательных температурах потребление электроэнергии резко возрастает;

– данные о потреблении электроэнергии промышленных и сельскохозяйственных предприятий, частных хозяйств. Актуальность использования обусловлена тенденцией постоянного роста нагрузки;

– динамика использования энергоэффективного оборудования и оптимизации алгоритмов управления станций и подстанций.

Использование в качестве массива для анализа перечисленных факторов позволяет построить алгоритм управления электросетями, имеющими дисбаланс по производству и потреблению электроэнергии.

Предлагаемая система позволит разработать модель с использованием так называемых коэффициентов удельного веса. Наиболее значимыми в настоящее время мы считаем коэффициент удельного веса климатических условий, потребления электроэнергии, генерации электроэнергии и др.

Разрабатываемая ими модель и алгоритм обучения позволит строить футурологические прогнозы с заданной точностью и периодом. В основу разработки положено использо-

вание ступенчатого футурологического прогноза (рис. 1). Таким образом разработка футурологической модели позволит оптимизировать режим работы как генератора, так и потребителя с учетом влияния систематически повторяющихся факторов и случайности их сочетания. Проводимые работы по формированию алгоритма футурологического прогноза применимы для решения широкого спектра задач как в энергетике, так и при модернизации промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

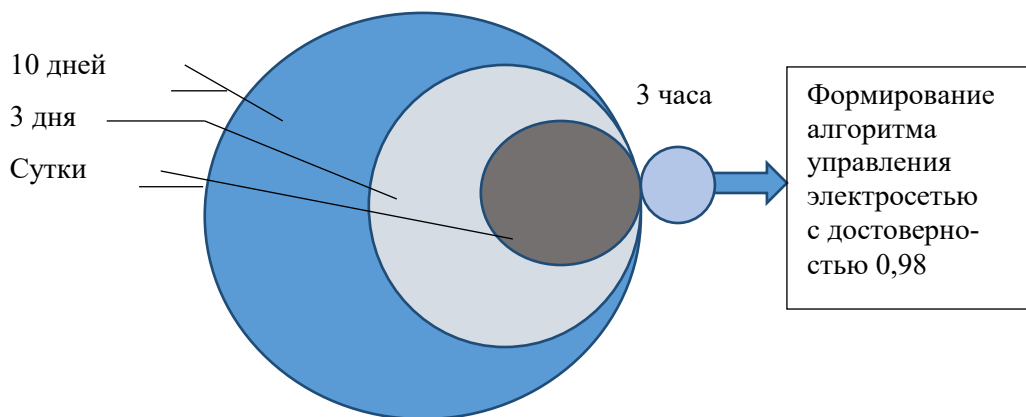


Рис. 1. Ступенчатое формирование прогноза потребления и генерации электроэнергии

Библиографический список

1. Интервальное прогнозирование временных рядов с помощью рекуррентных нейронных сетей с долгой краткосрочной памятью [Электронный ресурс] Хабр. – URL : <https://habr.com/ru/post/505338/> (дата обращения: 07.12.22).

2. Бедшадский, И. А. Использование искусственного интеллекта для прогнозирования электропотребления энергосбытовой компании [Электронный ресурс] Киберленинка / И. А. Бедшадский, С. Г. Джура, А. А. Чурсинова. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-dlya-prognozirovaniya-elektropotrebleniya-energobytovoy-kompanii/viewer> (дата обращения: 07.12.22).

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Д. В. Родионов

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: rodion2103@mail.ru)*

В настоящее время наиболее остро стоит проблема повышения эффективности энергоснабжения, одним из способов решения которой является цифровая трансформация энергетики в целом. В свою очередь, как следует из распоряжения Правительства РФ

от 09.06.2020 № 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2025 года», такая трансформация может производиться, в том числе посредством децентрализации системы электроснабжения.

Для выбора наиболее оптимального способа электроснабжения, который соответствует наибольшей эффективности и позволяет обеспечить бесперебойную работу предприятия, может применяться интеллектуальная энергетическая система (ИЭС), именуемая также «умная сеть». В научной литературе под ИЭС понимают систему энергообеспечения, построенную на базе сетевых технологий с использованием цифровых связей между элементами системы с локальной генерацией и другими источниками энергии [1, 142].

В рассматриваемом контексте «умная сеть» позволяет выбирать и использовать наиболее оптимальный способ энергоснабжения потребителя, формируя график нагрузки электроснабжения посредством управления накопителями, используя в меньшей мере силовые резервные мощности. ИЭС позволяет обеспечить безаварийность работы систем электроснабжения, что достигается путем оценивания компьютерной системой энергетических объектов и запасов резервных мощностей, что оказывает положительное влияние на работоспособность энергосистемы в целом. Надежность исполнительных механизмов и использование активно-адаптивных интеллектуальных систем, которые могут выполнять часть функций технических преобразований энергии (фазоповоротных систем, выпрямительно-инверторных подстанций, сверхпроводящих индуктивных системных накопителей), позволяет согласовывать правильный алгоритм действий автоматики [2, 65].

При использовании различных источников электроснабжения на крупном промышленном предприятии в настоящее время происходит переход к системам, сочетающим централизованные и децентрализованные системы снабжения. Однако из-за увеличения плотности нагрузок – более 10 кВт на 1 км² – наиболее приоритетным является применение децентрализованных систем энергоснабжения [2, 62].

Кроме того, при применении локальных источников электроснабжения снижаются потери, повышается надежность и качество электроснабжения промышленных предприятий, так как данный аспект возлагается на само предприятие. При использовании центрального электроснабжения городских линий электропередач промышленные предприятия по техническим причинам значительно ограничены в возможностях самостоятельного регулирования и повышения показателей надежности электроснабжения.

Применение собственных источников электроэнергии на предприятии, территориально расположенных в равной удаленности от производственных помещений, а также исключение промежуточных трансформаций и коммутаций позволяет минимизировать потери электроэнергии, связанные с физическими явлениями. При эксплуатации данной системы, как способа улучшения качества электроснабжения, имеется возможность гибкого распределения пиков потребления электроэнергии, а также планирования и распределения мощностей на всех потребителей предприятия за счет вывода из режима генерации одной или пары

установок, что может достигаться посредством работы ИЭС. В связи с тем, что данный метод ввода-вывода в работу генераторов энергоблоков имеет значительное быстродействие, то в комплексе энергоблока отпадает необходимость иметь горячий резерв.

Таким образом, наибольшая эффективность электроснабжения промышленных предприятий, характеризующаяся, в том числе бесперебойностью работы, может достигаться путем использования ИЭС и объединения всех энергосистем страны в одну сеть, при этом преобладающим источником электроэнергии будет выступать собственная локальная генерация как наиболее оптимальным способ обеспечения электроэнергией.

Библиографический список

1. Хузмиев, И. К. Цифровизация энергетики России / И. К. Хузмиев // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2018. – Т. 210. – С. 135 – 150.
2. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н. Д. Рогалева. – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 300 с.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. А. Романов, С. В. Андреев

Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия

(e-mail: veranig@yandex.ru)

Благодаря развитию информационных систем и систем сбора данных в области энергетики стало возможным развитие интеллектуальных элементов управлениями энергосистемой. В настоящее время информация о состоянии большинства систем поступает от средств телемеханики и средств измерений, к которым относятся телесигнализация и телеизмерения (ТИ). От качества полученных данных зависит эффективность управления энергосистемами. Использование спутниковой связи GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) привели к совершенствованию системы ТИ, обеспечив возможность синхронизировать метку времени данных с точностью до одной микросекунды. При этом появилась возможность не только улучшить точность получения параметров установленного режима, но и появилась возможность измерять новые параметры – фазные углы напряжения δ и тока φ . Эти измерения – синхронизированные векторные измерения (СВИ). Была создана распределенная системы WAMS (Wide Area Measurement System) на базе устройств PMU (Phasor Measurement Unit). Они подключаются к измерительным трансформаторам тока и напряжения и формируют метку времени.

Таким образом, имея данные параметров сети практически в реальном времени, можно говорить об эффективном управлении активно-адаптивными устройствами сети. Для решения проблемы управления средствами интеллектуальной сети с активно-адаптивным

управлением (ИС ААС). Из-за необходимости передачи большого объема информации в центр управления, усложняется задача управления большим количеством установок, поэтому централизованная система управления становится малоэффективной. Решением проблемы может быть использование локального управления с согласованием действий систем управления других объектов – мультиагентное управление.

Целью работы является моделирование мультиагентной системы (МАС) управления потоками мощности в распределительной сети. В данном случае агентом будет являться определенный элемент системы (трансформатор, линию, подстанцию), который взаимодействует с другими элементами системы. Агент может принимать решения в соответствии со своими ограничениями и целями.

В качестве примера были исследованы особенности мультиагентного управления средствами компенсации реактивной мощности (КРМ) в сети 10...35 кВ. Компенсация реактивной мощности осуществляется как для регулирования напряжения, так и для уменьшения потерь электроэнергии. Изменение реактивной мощности в одном из узлов сети, может по-разному влиять на перетоки мощности и значения напряжения в других узлах сети. Задача МАС – при поиске оптимального решения учитывать ограничения на напряжение в каждом узле нагрузки и на общую мощность компенсирующих устройств и коэффициент мощности в сети. Целью КРМ являлась минимизация потерь электроэнергии и достижения необходимых уровней напряжения. В расчетах использовалась целевая функция:

$$F = \lambda_1 I_{\Delta P} + \lambda_2 I_{\Delta U},$$

$I_{\Delta P}$, $I_{\Delta U}$ – индексы потерь активной мощности и отклонения напряжения, соответственно, весовые коэффициенты λ принимают значение от 0 до 1. При этом сумма всех коэффициентов должна быть равна 1.

Так же был проведен расчет потерь электроэнергии и значений напряжения при централизованной системе управления.

Результаты исследования показали меньшие потери электроэнергии и лучшие значения напряжений в узлах сети в случае использования мультиагентной системы по сравнению с централизованной.

Библиографический список

1. Черемисин, В. Т. Моделирование мультиагентного управления напряжением в распределительных электрических сетях железных дорог / В. Т. Черемисин, Е. А. Третьяков, Г. Е. Головнев // Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering. – 2018. – V. 22 18, No. 4. – P. 22 – 29.
2. Кубарьков, Ю. П. Оптимизация уровней напряжения в активно-адаптивных сетях с распределенной генерацией / Ю. П. Кубарьков, И. С. Кулаев, Р. А. Алехин // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. техн. науки. – 2018. – № 3(59). – С. 154 – 164.

НОВЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРО- И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Е. Л. Рыжова

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Санкт-Петербург, Россия
(e-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru)*

Одновременное применение новых решений и высокотехнологичных современных технологий с целью энергосбережения в электро – и теплоэнергетике на уровнях производства, транспортировки и использования тепловой и электроэнергии, позволит сберечь до 40% электрической энергии и даст возможность сократить затраты для энергосберегающих проектов в будущем. Используя способ «когенерации» для эффективного энергосбережения в теплоэнергетике (одновременного получения тепла и электроэнергии) в котельных, можно дополнительно генерировать некоторое количество электроэнергии, заменяя редуктор давления пара на противодавленческую турбину. При этом котельные естественным образом становятся небольшими ТЭЦ и экономия здесь очевидна. Во всем мире сжигание мусора при утилизации отходов с одновременной выработкой тепло- и электроэнергии также дает возможность для энергосбережения в теплоэнергетике, жестко контролируя вредные выбросы. Так в Дании и Японии утилизируется 80% городского мусора, что позволяет покрыть треть потребности городов в горячей воде. Использование термотрансформаторов и тепловых насосов для кондиционирования и нагрева помещений с целью повышения энергоэффективности работы ТЭС, позволяет экономить до 50% используемого топлива. Установка терморегуляторов при устройстве систем отопления, вентиляции, кондиционирования дает экономию тепловой энергии до 30%. Применение таких решений может гарантировать значительное снижение расходов на тепло и электроснабжение [1].

Внедряя инновации в энергосбережении в будущем, вполне возможен полный переход на альтернативные источники энергии, потенциал которых практически безграничен. Лидер альтернативной энергетики сегодня – биотопливо (биоэтанол), может успешно применяться в качестве основного вида топлива для промышленности и заправки автотранспорта, потеснив в ближайшей перспективе солярку и бензин на энергетическом рынке России. Применяемые в южных регионах ветряные парки, в условиях других климатических поясов России пока что не могут рассматриваться в качестве реальной альтернативы традиционной энергетике. Но использование одного из самых экологически чистых инновационных способов получения альтернативной энергии – солнечных батарей, особенно в частном жилищном секторе, позволит сэкономить до 50% энергии, потребляемой в весенне-летний период [1]. Таким образом, используя инновационные технологии в энергетике, можно обеспечить рациональное потребление полезных ископаемых и сохранить первозданную природу.

Надежные и хорошо себя зарекомендовавшие в энергосбережении цифровые технологии обеспечивают ценные конкурентные преимущества: повышение эффективности и каче-

ства энергоснабжения, снижение себестоимости, создание новых интеллектуальных экосистем, дальнейшее развитие отечественных электро – и теплоэнергетического комплексов. Речь идет о цифровых электростанциях, о дистанционном техническом обслуживании, об «умных» газовых турбинах и даже о «цифровых месторождениях». Понятие «цифровая энергетика» неразрывно связано с модернизацией не только энергогенерирующих объектов, но и систем передачи и распределения электрической энергии [2].

Подводя итоги, можно сказать, что использование современных инновационных энергосберегающих технологий, энергоэффективных машин, оборудования, бытовых устройств, нестандартных источников энергии, новых видов топлива позволит существенно сократить расходы на производство электроэнергии, уменьшить вредные выбросы в атмосферу, экономично расходовать исчерпаемые природные ресурсы, добыча и переработка которых очень сильно вредят окружающей среде и каждому из нас.

Библиографический список

1. Будущее потребления электроэнергии [Электронный ресурс]. – URL : https://finance.rambler.ru/markets/44340300/?utm_content=finance_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 10.12.2022).
2. Цифровизация в электроэнергетике: на пути к новой реальности. [Электронный ресурс]. – URL : <https://marketelectro.ru/content/cifrovizaciya-v-elektroenergetike-na-puti-k-novoy-realnosti?ysclid=lbko49hnwh575252304> (дата обращения: 10.12.2022).

ВЗАИМОСВЯЗЬ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

И. А. Сапрыкин, Ю. Д. Гусева, И. Д. Мажуга

*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(e-mail: rebellesanima@yandex.ru)*

Современный мир нельзя представить себе без цифровых технологий, появление которых позволило облегчить различные сферы деятельности и привело к появлению новых инфраструктур и коммуникаций, порождающих принципиально новые возможности в области информационных технологий. Все это приводит к формированию международной цифровой экономики – деятельности, ключевыми факторами производства в которой являются большие объемы данных, представленные в цифровом виде, обработка которых позволяет значительно повысить эффективность и производительность в различных производствах.

Цифровизация окажет наибольшее влияние на сферу электроэнергетики. Применение современных цифровых технологий не только повысит стабильность работы энергосистемы, но и дадут возможность для развития распределенной генерации в масштабе от одной стан-

ции до целой сети с сотнями объектов, в том числе и на основе возобновляемых источников энергии. Все это создает возможности получать информацию из сетей и управлять процессом в режиме онлайн.

В сфере электроэнергетики внедряются системы виртуального мониторинга и прогнозирования состояния генерирующего оборудования, цифровой диспетчеризации энергетических объектов, что позволит снизить аварийность в разы, а также уменьшить ежегодные потери электроэнергии, что даст в мировом масштабе до 500...700 ТВт.ч сэкономленной электроэнергии в год.

В различных городах и регионах строятся и вводятся в эксплуатацию цифровые подстанции, «умные» сети охватывают целые районы. Внедряются в эксплуатацию системы дистанционного управления оборудованием на магистральных линиях электропередачи.

Все это затрагивает решение проблем энергосбережения, так как в этой сфере уже создана база для скорейшей цифровизации всей отрасли.

Энергосбережение становится самым важным фактором, который позволяет повышать конкурентоспособность экономик, так как экономия энергии не только положительно сказывается на окружающей среде, но также это позволяет сэкономить финансы, которые могут быть перенаправлены на более приоритетные цели.

Оно связано с экономикой по всем направлениям. За последние годы все чаще возникают локальные энергетические кризисы, связанные с недостатком энергетических ресурсов. В таких условиях требуется максимально сконцентрироваться на освоении возобновляемых источников энергии (энергии Солнца, биомассы, ветра, подземных термальных вод) и рационально использовать энергию, не тратить ее впустую.

Подводя итоги, можно утверждать, что цифровизация электроэнергетики активно влияет на энергосбережение за счет эффективного использования существующей энергетической инфраструктуры.

Библиографический список

1. Энергосбережение на предприятиях и в быту [Электронный ресурс]. – URL : <https://energocert.ru/energoberezhenie/>.
2. Функционирование и развитие электроэнергетики в эпоху цифровизации : сборник / под ред. Н. Д. Рогалева. – М. : Изд-во МЭИ, 2021. – 272 с.

ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КАК СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АВАРИЙ НА ПОДСТАНЦИЯХ

Е. А. Семьянинова, А. Е. Саковых

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: semyaninova2000@mail.ru)

Возникновение аварий на подстанциях – дело неприятное и опасное во всех смыслах. Они приводят к остановке производственного процесса, к экономическим убыткам, и самое главное – предоставляет угрозу жизни человека.

Аварии происходят из-за повреждений и вывода из строя оборудования, ошибочных действиях оперативного и оперативно-ремонтного персонала, а также других не менее важных факторов.

Бывают различные дефекты, которые может не заметить глаз человека, но которые способны определить системы и оповестить персонал, тогда как системы способны не только обнаружить их, но и оповестить персонал. Далее следует приостановить работу неисправного оборудования и провести ремонтные работы.

Диагностика оборудования способна вовремя определить состояние и дать оценку ресурсу оборудования до возникновения аварийной ситуации или хотя бы для минимизации ущерба при ее возникновении, что также ускоряет время нахождения проблемы.

Для этого поступающие сигналы собираются и обрабатываются программным обеспечением, в котором реализованы методы искусственных нейронных сетей и машинного обучения, что значительно упрощает и облегчает процесс.

Нейронные сети являются одним из методов диагностики неполадок производственного процесса. Сети обладают функцией мониторинга в режиме реального времени.

Благодаря нейронным сетям повышается надежность и оперативность работы.

Тестовая диагностика – основной вид выявления дефектов электрооборудования в отечественной энергетике. К сожалению, тестирование оборудования (например, высоковольтные испытания) способно повредить его, что является серьезным недостатком. Также стоит учитывать то, что для проверки в большинстве случаев необходимо отключение, временный вывод техники из работы, что отрицательно сказывается на остальном производстве.

Функциональная диагностика – это вид диагностики, при котором нейронные сети обнаруживают отклонения параметров от номинального значения, т.е. значения, которое должно быть у нормально работающего оборудования. Данный метод также позволяет узнать, с чем связано отклонение.

Разумеется, системы диагностики могут и пропустить дефекты, что говорит об их несовершенности, поэтому специалисты оптимизируют уже существующие и разрабатывают новые.

В идеале, в будущем специалисты хотят создать сеть, которая могла бы определить любой дефект в любом месте оборудования. Именно поэтому они собирают базы данных (ведь такое количество информации может привести к перегрузке оператора и к тому, что им будут приняты неверные решения), чтобы моделировать различные ситуации отказов и сбоев оборудования. Благодаря этому можно смоделировать больше вариантов развития событий, и нейронная сеть позволит быстро выявлять неисправности и устранять их до того, как произойдет авария. Еще одним направлением, в котором пытаются работать ученые – это сделать сети самообучающимися.

Если получится совместить вышеперечисленные методы и запрограммировать сеть на них, то в итоге можно создать максимально функциональную систему, которая сможет предотвратить 95% дефектов, в результате чего снизится количество аварий.

Библиографический список

1. Каменев, А. С. Нейромоделирование как инструмент интеллектуализации энергоинформационных сетей / А. С. Каменев, С. Ю. Королев, В. Н. Сокотуценко ; под ред. В. В. Бушуева. – М. : ИЦ «Энергия», 2012 – 124 с.
2. Тайманов, Д. С. Прогнозирование аварий сетевого оборудования с использованием нейронных сетей // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2017) : сб. тр. III Междунар. конф. и молодежной школы. – Самара : Новая техника, 2017. – С. 1805 – 1809.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКЛОУЗЕРОВ

Т. В. Синюкова, А. В. Синюков, Л. В. Кострикин

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

В настоящее время активно ведутся исследования в области энергосберегающих решений как для систем электропривода [1, 2], так и для систем электроснабжения. Возможными вариантами повышения показателей с позиций надежного и эффективного функционирования электрических распределительных линий являются различные варианты модернизации существующих систем.

Рассматриваемым объектом является магистрально-радиальная распределительная сеть на 10кВ, которая представляет собой промежуточное звено между источником и потребителями электрической энергии на напряжении 0,4 кВ (рис. 1).

Повышение надежного функционирования рассматриваемого объекта возможно за счет установки реклоузеров, позволяющих осуществлять, при необходимости, автоматическое отключение объекта электроснабжения и повторную подачу питания к потребителям по определенному разработанному циклу.

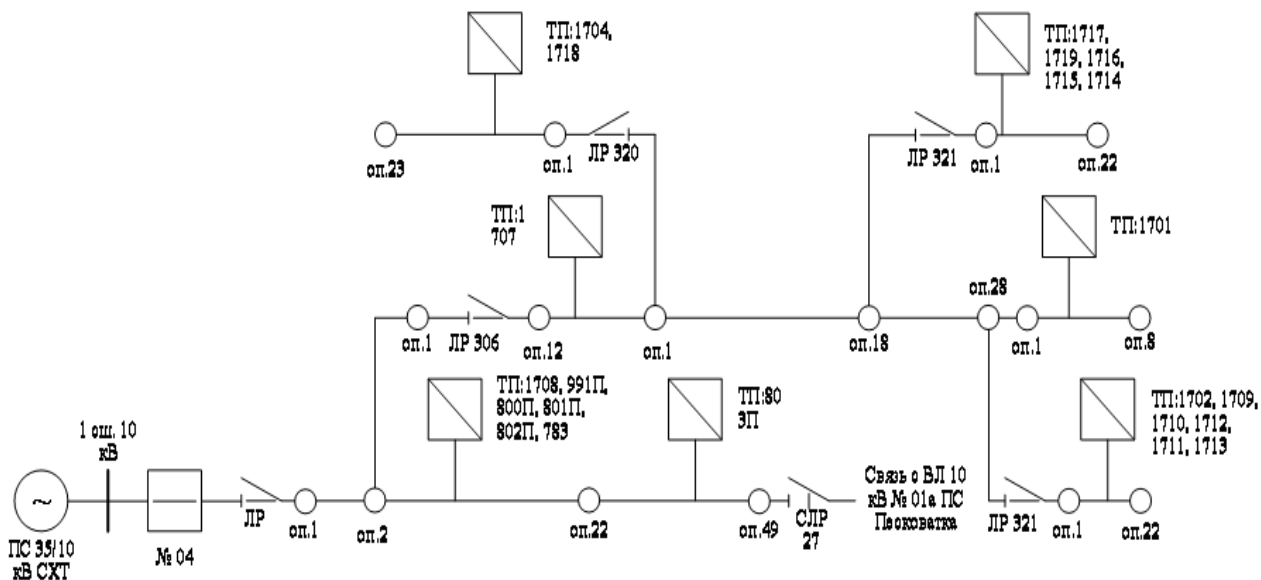


Рис. 1. Исследуемый объект:

ЛР – линейный разъединитель; СЛР – секционный линейный разъединитель

Для рассматриваемой схемы места установки реклоузеров приведены на рис. 2, они определены на основании анализа оборудования, установленного в рассматриваемой распределительной сети и категории потребителей. Предлагаемое решение позволит разделить фидер на участки и даст возможность осуществить, при необходимости, автоматический ввод резерва.

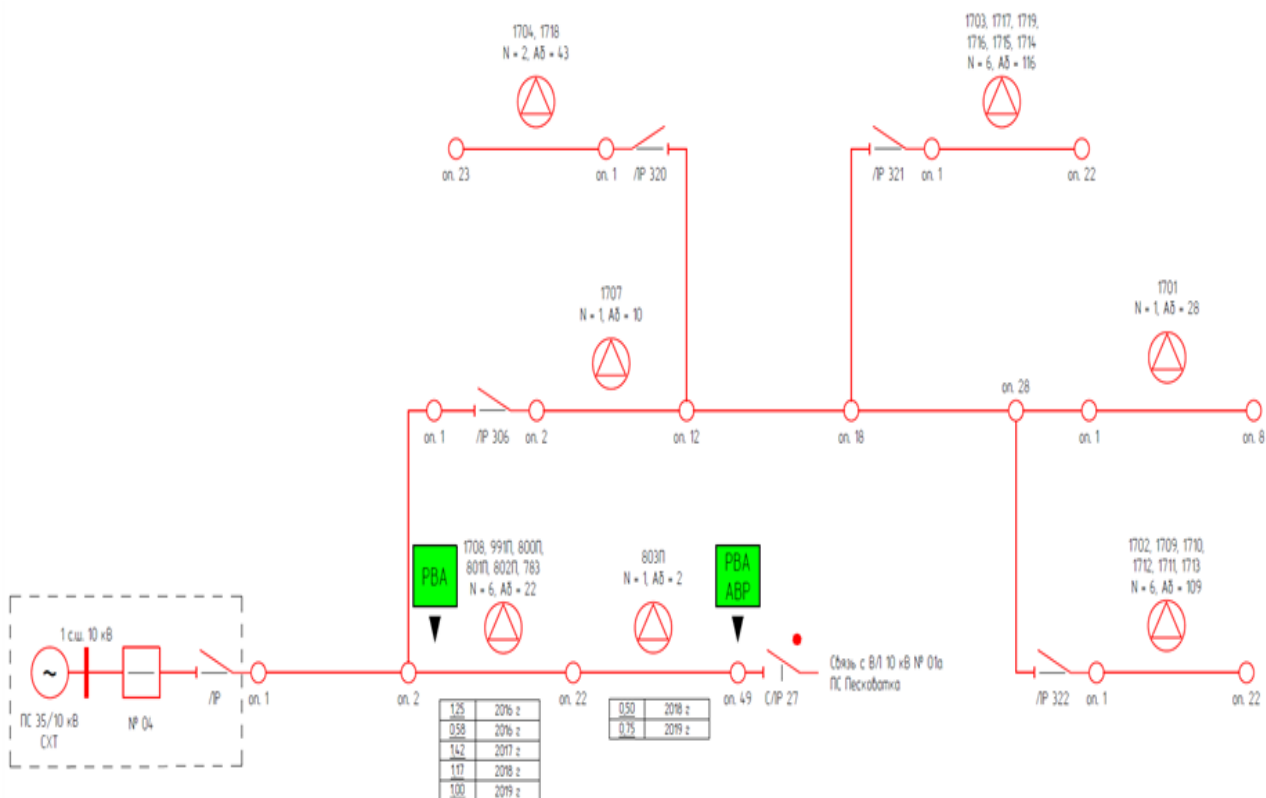


Рис. 2. Система с реклоузерами

Применение реклоузеров позволит производить быстрое отключение аварийных объектов, оперативную подачу питания от резервного источника, выполнять самодиагностику сетей, производить замер показателей сети в разных режимах работы, вести управление дистанционного типа, передавать данные в общую систему, осуществляющую техническое управление по GSM каналу или через оператора сотовой связи.

При исследовании была составлена математическая модель в среде Matlab Simulink, отражающая процессы, происходящие на реальном объекте и элементы, входящие в существующую линию. Целью исследования являлся анализ функционирования линии без реклоузеров и с их присутствием, анализ правильности выбора мест установки реклоузеров, создание математических моделей существующих линий с возможностью подбора оптимального решения без дополнительных финансовых вложений.

На следующем этапе исследования осуществлялось моделирование объекта, базирующееся на показателях SAIFI и SAIDI с анализом полученных результатов. Предлагаемое решение планируется внедрить на действующий объект.

Библиографический список

1. Оптимизированные бездатчиковые системы управления механизмами перемещения грузов / А. В. Синюков, Т. В. Синюкова, Е. И. Грачева, М. Kolcun // Изв. высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 6. – С. 87 – 98.
2. Sinykova, T. V. Methods for Reducing Electromechanical Oscillations in Conveyor Control Systems / T. V. Sinykova, V. E. Gladyshev and A. V. Sinyukov // Proceedings 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – 2019. – P. 435 – 439.

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХГРЕБНЕВОГО ВОЛНОВОДА И П-ВОЛНОВОДА С ВЫСТУПАМИ НА РЕБРЕ В КАЧЕСТВЕ ВТОРИЧНЫХ КАНАЛОВ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ СВЧ-УСТРОЙСТВ

А. А. Скворцов

Саратовский государственный технический университет имени

Гагарина Ю. А., Саратов, Россия

(e-mail: sotrudniki.1@yandex.ru)

В настоящее время решение задачи объемного равномерного нагрева диэлектрических материалов может быть достигнуто применением СВЧ-устройств на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветвлений (волноводов связи) линиях передачи (ЛП) (рис. 1), первичные каналы (волноводы) которых выполнены на прямоугольных волноводах (ПрВ), а вторичные на двухгребневом волноводе (ДГВ) [1] и П-волноводе с выступами на ребре (ПВВР) [2]. Использование ДГВ и ПВВР в качестве вторичных каналов СВЧ-

устройств позволяет обеспечить квазиравномерное распределение электрической составляющей основной волны в поперечном сечении обрабатываемого материала, а систем их возбуждения в виде совокупности шлейфовых разветвлений – заданное распределение амплитуды основной волны по длине нагреваемого изделия. В данных конструкциях не требуется дополнительный переход между первичным и вторичным каналами для подключения к источнику СВЧ-мощности. При этом совмещение вторичных каналов, содержащих нагреваемый материал, с системами их возбуждения позволяет не только упростить согласование устройств с источником СВЧ-энергии, на который влияет изменение диэлектрической проницаемости изделия в процессе его термообработки, но и значительно сократить продольные размеры таких устройств.

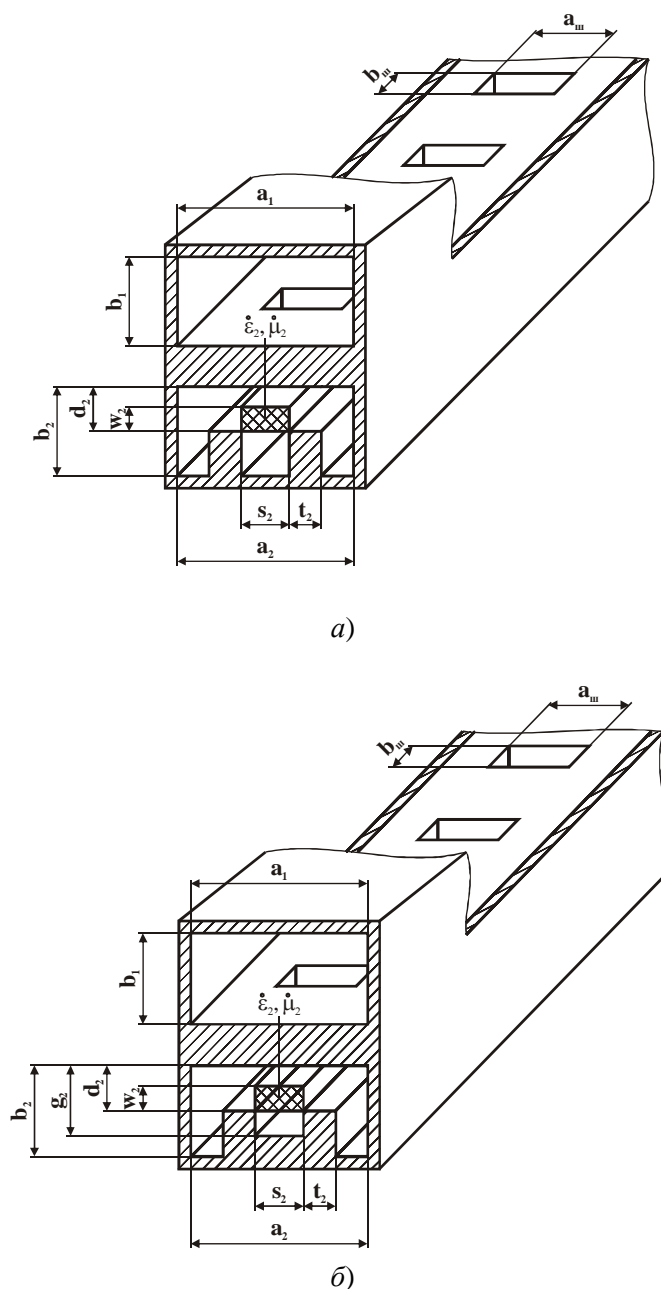


Рис. 1. СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветлений ЛП, первичный канал которых выполнен на ПрВ, а вторичный на ДГВ (а) и ПВВР (б) для равномерного нагрева диэлектрических материалов

Поскольку возбуждение вторичных каналов рассматриваемых СВЧ-устройств осуществляется с помощью совокупности шлейфовых разветвлений, расположенных на общей широкой стенке связываемых ЛП, обрабатываемый материал не полностью заполняет области над выступами в ДГВ и ПВВР, которые служат направляющими для его транспортировки.

Модуль коэффициента передачи одного шлейфового разветвления анализируемых СВЧ-устройств рассчитывается по формуле [1, 2]

$$|\dot{K}_{\text{ш}}| = \frac{\Phi_{\text{ш}}^{-1} \lambda_{\text{вш}} Z_{0\text{ш}}}{2\sqrt{k^*} (a_1 b_1 \Phi_2^{-1} \lambda_{\text{в1}} \lambda_{\text{в2}} Z_{01} Z_{02})^{1/2}} \left[\left(\cos\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right) \sin \gamma_1 \right)^2 + \frac{\lambda_{\text{в1}}}{2a_1} \times \right. \\ \left. \times \sin\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right) \cos \gamma_1 \right]^{1/2} \times \left[\left(\cos(\chi_{\text{с12}} h_2) \sin \gamma_2 \right)^2 + \left(\frac{\lambda_{\text{в2}}}{\lambda_{\text{с12}}} \sin(\chi_{\text{с12}} h_2) \cos \gamma_2 \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где

$$\Phi_2^{-1} = \begin{cases} b_1 T_2 & \text{для ДГВ,} \\ g_2 T_2 & \text{для ПВВР;} \end{cases} \quad (2)$$

$\sqrt{k^*} \approx 1$; T_2 и $\Phi_{\text{ш}}^{-1}$ – параметры, зависящие от формы поперечного сечения вторичного канала и шлейфа; h_1 , h_2 и γ_1 , γ_2 – смещение центра и углы поворота шлейфа относительно средних линий соответственно первичного и вторичного каналов; $\lambda_{\text{в1}}$, $\lambda_{\text{в2}}$ и $\lambda_{\text{вш}}$ – длины основных волн в первичном, вторичном каналах и шлейфе; $\chi_{\text{с12}} = 2\pi/\lambda_{\text{с12}}$ и $\lambda_{\text{с12}}$ – поперечное волновое число и критическая длина основной волны во вторичном канале; $Z_{01} = \sqrt{\mu_1 \mu_0 / \varepsilon_1 \varepsilon_0}$, $Z_{02} = \sqrt{\mu_2 \mu_0 / \varepsilon_2 \varepsilon_0}$ и $Z_{0\text{ш}} = \sqrt{\mu_{\text{ш}} \mu_0 / \varepsilon_{\text{ш}} \varepsilon_0}$ – волновые сопротивления материалов, заполняющих первичный и вторичный каналы и шлейф; ε_0 и μ_0 – электрическая и магнитная постоянные; ε_1 , ε_2 , μ_1 , μ_2 , $\varepsilon_{\text{ш}}$ и $\mu_{\text{ш}}$ – относительные диэлектрические и магнитные проницаемости материалов, заполняющих первичный и вторичный каналы и шлейф.

Влияние диэлектрического материала во вторичных каналах рассматриваемых СВЧ-устройств на коэффициент передачи одного шлейфового разветвления определяется выражением [1, 2]

$$|\dot{K}_{\text{ш}\varepsilon}| = |\dot{K}_{\text{ш}}| (\cos \varphi_{\Gamma})^{-1} (\lambda_{\text{в2}\varepsilon} / \lambda_{\text{в2}})^{1/2}, \quad (2)$$

где $|\dot{K}_{\text{ш}\varepsilon}|$ и $\lambda_{\text{в2}\varepsilon}$ – модуль коэффициента передачи шлейфового разветвления и длина основной волны во вторичном канале при наличии в нем диэлектрического материала; $|\dot{K}_{\text{ш}}|$ и $\lambda_{\text{в2}}$ – модуль коэффициента передачи шлейфового разветвления и длина основной волны во вторичном канале при его отсутствии; $\varphi_{\Gamma} = \arctg(\Gamma_{\text{с12}}'' / \Gamma_{\text{с12}}')$; $\Gamma_{\text{с12}}'$ и $\Gamma_{\text{с12}}''$ – действительная и мнимая части комплексной постоянной распространения основной волны во вторичном канале.

Равномерное тепловыделение по длине обрабатываемого материала может быть достигнуто, если коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройств связаны между собой соотношением [1, 2]

$$|\dot{K}_{ш_n}| = |\dot{K}_{ш_{n-1}}| [1 - |\dot{K}_{ш_{n-1}}|]^{-1}. \quad (3)$$

Таким образом, применение ДГВ и ПВВР в качестве вторичных каналов СВЧ-устройств на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветвлений ЛП, первичный канал которых выполнен на ПрВ, позволяет обеспечить равномерное тепловыделение как в поперечном сечении, так и по длине обрабатываемого диэлектрического материала.

Библиографический список

1. Скворцов. А. А. Применение двухгребневого и четырехгребневого волноводов в качестве базовых элементов СВЧ-устройств для термообработки диэлектрических материалов / А. А. Скворцов // Инновационные производственные технологии и ресурсосберегающая энергетика : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщения, 2021. – С. 64 – 73.
2. Скворцов. А. А. Применение П-волновода с выступами на ребре для равномерного нагрева диэлектрических материалов / А. А. Скворцов, Е. А. Торгашов, М. А. Соловьев // Проблемы управления, обработки и передачи информации : сб. трудов III Междунар. науч. конф. – Саратов : Издательский дом «Райт-Экспо», 2013. – Т. 3. – С. 163 – 169.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ОКСИДИРОВАНИЯ КРЕМНИЯ

К. В. Селиванов, И. Ш. Умитбаев

Московский государственный технический университет

имени Н. Э. Баумана, Москва, Россия

(e-mail: selivanov_kv@mail.ru)

Уникальные свойства и возможность создания на поверхности однородной пленки высококачественного диэлектрика SiO₂ сделали кремний основным материалом твердотельной электроники на сегодняшний день. Существует множество способов изготовления SiO₂ в микроэлектронике: термическое (влажное, сухое), анодное, плазмохимическое, пиролитическое [1].

Для получения наиболее качественного оксида подходит метод термического окисления, которое делится на влажное и сухое. Суть этого метода заключается в том, что окислитель диффундирует в пластину при высокой температуре и вступает с ней в реакцию.

Оксидирование поверхности кремния с помощью сухого кислорода лучше, чем метод с использованием паров воды, потому что слои имеют лучшие защитные и электрические характеристики. Данный процесс дает оксид более высокого качества с более чистой границей

раздела, чем химическое оксидирование, что приводит к образованию низкотемпературного оксидного слоя.

Плазменное оксидирование используется при температуре до 800...1100 К для получения ИС больших размеров и с повышенным быстродействием. Востребованность в плазменном оксидировании растет, так как при этой температуре не возникает неконтролируемая термодиффузия примесей. Суть процессов плазмохимического оксидирования состоит в получении на полупроводнике окислов при помещении подложек в кислородную плазму. Достоинства метода: низкая температура процесса, отсутствие неконтролируемой термодиффузии примесей, плазменные оксиды не создают механических напряжений на границах раздела оксид – подложка. Недостатки метода: из-за малой подвижности осаждаемых частиц на подложке качество пленок получается существенно хуже, чем при других методах осаждения, пленки плохо воспроизводят рельеф поверхности подложки.

Пиролитический вид оксидирования подходит для выращивания толстых слоев оксида кремния при небольшой температуре, в случаях, когда термическое оксидирование недопустимо из-за значительного изменения характеристик предыдущих диффузионных слоев. Данный процесс основан на разложении сложных соединений кремния (алкоксисиланов) с выделением SiO_2 . Достоинства метода: дешевое и компактное производство, возможность получать оксидные пленки при более низких температурах. Недостатки метода: высокая вероятность загрязнения растущих пленок продуктами разложения, высокая пористость пленок.

Анодное оксидирование Si происходит на поверхности кремния под воздействием электрического тока. Анодное оксидирование делится на два вида: электролитическое анодирование, газовое анодирование. Достоинства метода: высокая скорость окисления, возможность управления процессом путем изменения тока в цепи разряда. Недостатки метода: ограниченное перераспределение примесей в предварительно сформированных диффузионных областях

Результатом нашего исследования стала классификация видов оксидирования кремния, проведенный анализ над которыми показал, что термическое оксидирование кремния является одним из наиболее технологичных и наименее энергозатратных широко применяемых на практике методов. Можно предположить, что в будущем будут изобретены еще более эффективные методы производства оксидных пленок.

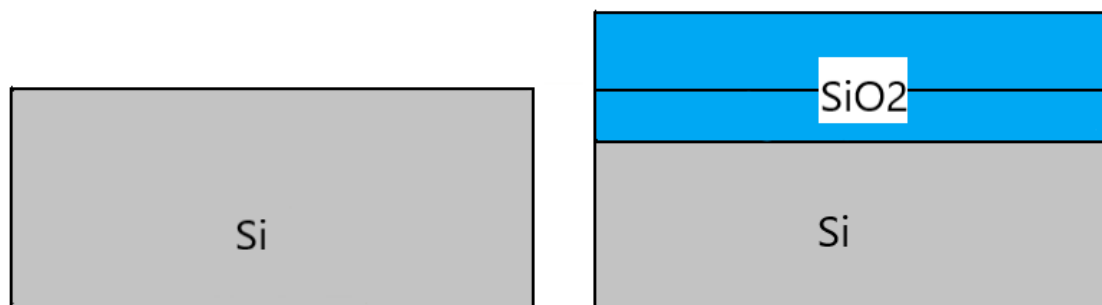


Рис. 1. Формирование оксидной пленки

Библиографический список

1. Composite Nanomaterials for Implementation of Promising Memristive Structures / A. I. Vlasov, V. P. Zhalnin, A. A. Rasuk, O. V. Kosyanov // Key Engineering Materials. – 2022. – V. 910 КЕМ. – P. 703 – 712

2. Рембеза, С. И. Введение в микроэлектронику и наноэлектронику [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. И. Рембеза, Е. С. Рембеза. – Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – С. 69 – 98

СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

П. С. Чеботаева, Д. Д. Петриченко, К. В. Селиванов

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия
(e-mail: chebotaevapolina@yandex.ru, petrichenko.daria@yandex.ru, Selivanov_kv@mail.ru)*

Крупнейшая фотоэлектростанция в мире – Солнечный парк Бхадла (Bhadla Solar Park) находится в Индии, занимает 5700 гектаров земли и вырабатывает 2254 МВт, что в 2,8 раз меньше крупнейшей электростанции в России – Саяно-Шушенской ГЭС (6400 МВт). Такие объемы производства солнечной электроэнергии говорят о конкурентоспособности и необходимости дальнейшего развития солнечных электростанций [1].

На эффективность выработки электрической энергии фотоэлектрическими модулями могут влиять два основных фактора: погодные условия и загрязнение СП (рис. 1) [1]. Различные загрязнения на поверхности СП значительно уменьшают вырабатываемую мощность. В процентном соотношении эффективность СП может снизиться вплоть до 30% от максимума [2], следовательно, необходимо обеспечить очистку СП.

Очистка СП может производиться по двум различным принципам (рис. 2). В первом случае очистка производится регулярно по расписанию, независимо от состояния СП.



Рис. 1. факторы снижения эффективности СП

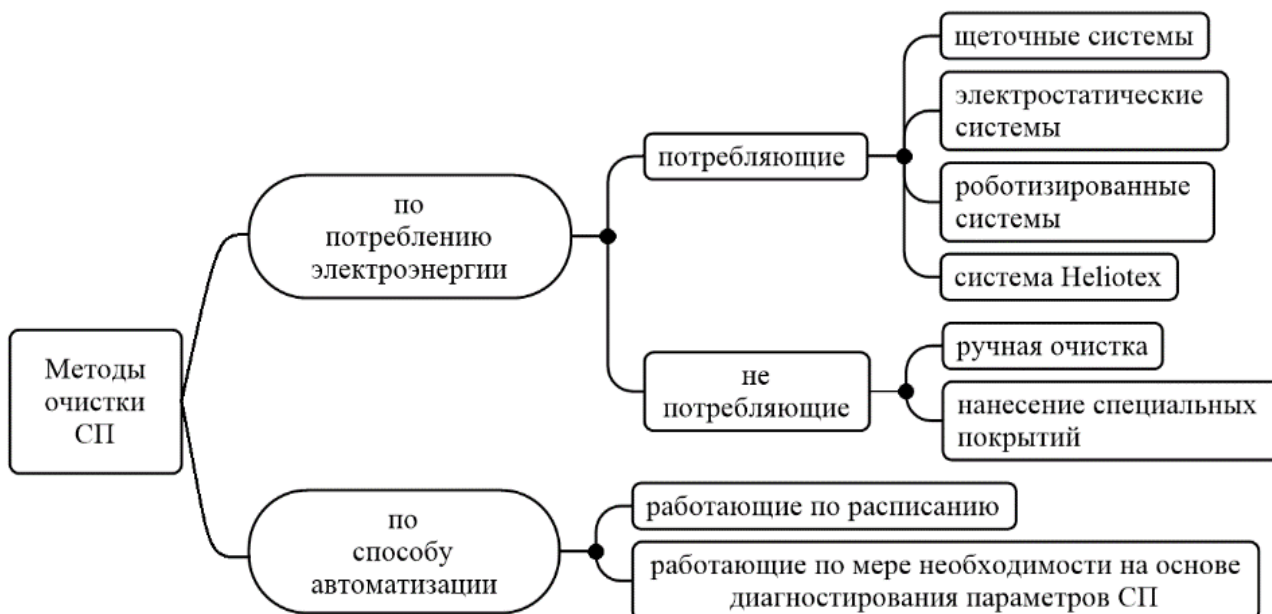


Рис. 2. Методы очистки СП

Во втором случае производится контроль состояния СП и очистка по мере необходимости, например, мониторинг вырабатываемой мощности и очистка панели в случае ее снижения. Второй вариант более эффективный, поскольку является энергосберегающим.

Также методы очистки СП можно разделить на потребляющие энергию и не потребляющие. К первым относят щеточные системы очистки, системы электростатической очистки, роботизированные системы очистки и системы очистки Heliotex. Ко вторым относятся ручной способ очистки СП человеком и нанесение специальных покрытий (рис. 2).

Щеточная очистка является распространенной в виду ее простоты – щетки двигаются вдоль панелей и удаляют грязь. Преимущества: автоматизация, программируемость и небольшая стоимость. Недостатки: малая энергоэффективность и большое количество расходных материалов.

Электростатическая очистка СП заключается в использовании высокого напряжения переменного тока на поверхности СП. Благодаря возникшей разнице в зарядах, частицы пыли отрываются от СП. Метод эффективный, но дорогостоящий и не используется в коммерческих проектах.

В системах автоматической очистки Heliotex используются распылительные форсунки, подключенные к каждой панели и очищающие их распылением воды на поверхность. Преимущества: малая энергоемкость и устранение рисков, связанных с механической очисткой СП (потенциальное повреждение панелей).

Рассмотренные системы очистки не универсальны. Выбор системы очищения СП зависит от конкретных показателей: стоимости, эффективности, использования воды, вмешательства человека и времени очистки панелей. Наиболее эффективным может быть комбинирование разных способов очистки.

Отдельные результаты получены в проекте «ПРИОР/СН/НУ/22/СП2/5» по Программе развития МГТУ им. Н. Э. Баумана в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Библиографический список

1. Селиванов, К. В. Автоматическое позиционирование панели солнечных батарей и слежение за направлением максимального потока света / К. В. Селиванов // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2021. – № 2(135). – С. 115 – 132. DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2021-2-115-132>.
2. Trend Analysis in the Development of Factories of the Future, Taking into Account Digital Transformation of Active Systems / A. E. Kurnosenko, L. Juravleva, O. Lysenko, A. I. Vlasov // ACM International Conference Proceeding Series. – 2021. – No. 3490881.

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

К. А. Кретинин, В. И. Зацепина

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

(e-mail: kretinin.ka@gmail.com)

Одной из важнейших задач современной энергетики является передача электрической энергии от места производства до места потребления электроэнергии. Протяженность воздушных линий электропередачи (ВЛ) на напряжение от 35 до 1150 кВ в по всей России приблизительно составляет более 3 млн. км.

Для обеспечения надежной передачи электроэнергии требуется проводить обслуживание ВЛ, которое включает в себя выполнение проверок как периодических, осмотры дневные и ночные, верховые и контрольные, так и внеочередных, осмотры после аварий, стихийных бедствий таких как бури, морозы и т. п. Осмотры ВЛ по всей длине без подъема на опоры проводится не реже 1 раза за год, частичные верховые осмотры ВЛ 1 раз в 6 лет.

Современные технологии позволяют упростить процесс обслуживания воздушных линий электропередачи, путем применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), так же была разработана концепция применения БПЛА для анализа работы ВЛ, конечный результат внедрения БПЛА для осмотра воздушных линий представляет собой автоматическую систему с применением БПЛА и сети зарядных станций, где БПЛА осуществляют полеты вдоль ВЛ от одной зарядной станции к другой [1].

Однако на данный момент внедрение БПЛА не позволяет проводить полную диагностику ВЛ, к примеру, проводить такие методы оценки как акустическая или инвазивная [2] БПЛА не в состоянии, из этого следует, что выезды на участки ВЛ для проведения диагностики и контроля опор ВЛ в той или иной степени актуальны. Отдельного внимания стоит уделить подготовке персонала, такого как операторы БПЛА, от их компетенции на прямую зависит эффективность внедрения БПЛА и описание проведенного анализа ВЛ в соответствующий документ. Для упрощения внедрения БПЛА следует составить и проработать

нормативную документацию по применению БПЛА для мониторинга ВЛ, что позволит упростить получение продуктивного результата, уменьшить вероятность вывода из строя БПЛА, сформировать четкие границы в области применения БПЛА.

Библиографический список

1. Разработка системы непрерывного мониторинга воздушных линий электропередачи в автоматическом режиме / В. О. Акуличев, А. С. Бредихин, Б. А. Мурашев, О. А. Середкин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 5. – С. 94 – 97.
2. Кретинин, К. А. Методы анализа работы линий электропередач / К. А. Кретинин, В. И. Зацепина // StudNet. 2021. № 4. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-raboty-linii-elektroperedach> (дата обращения: 04.12.2021).

ЛАБОРАТОРИЯ ЦИФРОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ЛИПЕЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В. И. Зацепина, С. С. Астанин

*Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(e-mail: astanin.1994@yandex.ru)*

Переход к цифровым технологиям в различных сферах промышленности начался уже довольно давно, но наибольшее ускорение в развитии цифровых технологий в сфере электроэнергетики происходит в последнее десятилетие. Примером увеличения потребности в развитии цифровых технологий служит «Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2021 г. № 3924-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса» отражающую заинтересованность развития данного направления не только промышленного сектора, но и правительственных структур.

Решение проблем, возникающих при распространении и внедрении цифровых технологий в электроэнергетическом комплексе особенно актуально с ростом количества цифровых подстанций.

Применение цифровых технологий открывает больше возможностей для мониторинга и управления бесперебойным электроснабжением. Вычислительные мощности цифровых подстанций позволяют в постоянном режиме получать актуальную информацию о состоянии системы и ее элементов наиболее точно определяя места возникновения аварийных ситуаций. Одним из способов повышения точности в определении места аварий предложено применение технологии синхронизированных векторных измерений [1]. Совместно с модернизацией оборудования для измерений и автоматических принятий решений системой автоматики, возникла необходимость в подготовке новых кадров способных к взаимодействию с программными системами, настройке и корректному управлению создаваемыми на базе цифровых подстанций программным продуктам. С этой целью на базе Липецкого техниче-

ского университета создан лабораторный комплекс, использующий устройства БМРЗ и персональный компьютер для имитации процессов протекающих в цифровых подстанциях. Использование данного комплекса позволит кроме подготовки новых кадров производить необходимые моделирования в системе управления и получать данные по результатам возможных ошибочных срабатываний, вызванных аппаратурой или человеческим фактором.

Исследования цифровых подстанций уже на первых этапах эксплуатации выявили ряд возможных проблем при их повсеместном внедрении [2]:

- обеспечение надежности информационной передачи;
- низкая пропускная способность информационных каналов;
- синхронизация времени;
- ошибки сигнала, вызванные искажениями и потерей данных;
- адаптация существующих устаревших систем под алгоритмы работы цифровой подстанции.

Отдельного изучения также требует вопрос кибербезопасности становящийся актуальным при создании системы состоящей из нескольких цифровых подстанций использующих сетевые соединения, даже без умышленного нанесения ущерба влияние вредоносных программ на конкретную систему имеет место быть, за счет снижения производительности.

Реализация цифровой подстанции в лабораторных условиях имеет ряд сложностей, вызванных отличиями от реальных объектов количеством оборудования в реальной системе и ограничениями материально технических возможностей лаборатории. Для решения данных проблем была создана имитация недостающих элементов системы по средствам программирования устройств релейной защиты и автоматики. Как следствие кроме реальных объектов которыми укомплектована лаборатория к цифровой подстанции подключены устройства виртуальные, нацеленные на максимальное приближение к реальным объектам электропитания.

Как вывод можно отметить необходимость дальнейшего развития технологии цифровых подстанций во всех направлениях как информационной, так и технической. Созданный комплекс на базе липецкого технического университета направлен на решение обеих этих задач, а также способствует увеличению научного коллектива и специалистов высокой квалификации.

Библиографический список

1. Мокеев, А. В. Многофункциональные устройства с поддержкой СВИ для цифровых подстанций и цифровых сетей / А. В. Мокеев, Е. И. Хромцов // Релейная защита и автоматизация. – 2019. – № 4(37). – С. 20 – 25.
2. Мультифункциональная система на основе цифрового трансформатора тока и напряжения в рамках цифровой подстанции / В. Д. Лебедев, А. А. Яблоков, Г. А. Филатова и др. // Теория и практика проектного образования. – 2019. – № 3(11). – С. 96 – 103.

СОСТОЯНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАЗАХСТАНА

Л. А. Садыкова

*Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,
Уральск, Казахстан*

В состав Национальной Энергетической Системы (НЭС) Казахстана входят 376 воздушных линий электропередачи общей протяженностью 26,9 тыс. км и 81 электрическая подстанция напряжением 35...1150 КВ с установленной мощностью трансформаторов 38 746,05 МВА.

Актуальность. Электрические станции разделяются на электростанции национального значения, электростанции промышленного назначения и электростанции регионального назначения, большинство которых находится в частной собственности. Большая часть высоковольтных линий приближается к полувеку. Сети уже требуют замены. Энергосистема в регионах требуют модернизации, расширения мощностей и реконструкции. Из-за растущего спроса на электроэнергию требования к работе усиливаются. Выгодным условием для Казахстана является модернизация и улучшение инфраструктуры системы электрических сетей с использованием мощности угольных и гидроэлектростанций [1].

Необходимо найти решения из сложившейся ситуации. Решить задачи, благодаря которым можно будет покрыть дефицит электроэнергии. В докладе говорится об исследованиях, которые были проведены на примере одной области: как там выходят из сложившейся ситуации.

Президент Касым-Жомарт Токаев заявил о намерении Казахстана к 2060 году добиться полной углеродной нейтральности экономики. 1 июля 2021 года вышел новый «Экологический кодекс Республики Казахстан», по которому необходимо уменьшение негативного воздействия на окружающую среду. К первой, наивысшей категории относятся «сжигание топлива, за исключением газа, на станциях с общей номинальной тепловой мощностью 50 мегаватт (МВт) и более» [2].

По прогнозам правительства на ближайшие семь лет, для того чтобы удовлетворить растущие потребности населения и бизнеса в электроэнергии нужно будет вывести из работы 1 ГВт устаревших энергетических мощностей и ввести 7 ГВт новых мощностей [3].

Казахстанские специалисты считают, что необходим резерв электроэнергии: развитие ВИЭ. Но источники альтернативной энергии будут подключаться к распределительным сетям. Возникнет необходимость строительства маневрирующих мощностей и готовность к новым режимам работы распределительных сетей; необходимость диспетчеризации, которая потребует колоссальной, мгновенной трансформации.

В ближайшее десятилетие наступит неожиданно такой момент и не все энергосистемы смогут перестроиться в короткий период времени, ведь эта работа требует значительных капитальных вложений.

Отсутствие достаточного объема инвестиций в традиционную электроэнергетику приведет к катастрофическим последствиям в этой отрасли.

Выводы.

Национальная Энергетическая Система Казахстана находится в плачевном состоянии, для выхода из этого состояния необходимо:

1. Достаточный объем инвестиций в традиционную электроэнергетику.
2. Дополнения в законопроект по внедрению устойчивого механизма для исполнения финансовых обязательств перед энергопроизводящими организациями, использующими ВИЭ за купленную электроэнергию.
3. В связи с низким уровнем развития современных технологий и оборудования в области энергетики необходимо периодически проводить семинары в рамках научно-технического партнерства с другими государствами.
4. Создавать благоприятные условия, стимулировать и инвестировать проекты по новым энергоэффективным, энергосберегающим технологиям.
5. Вводить поэтапную модернизацию действующих подстанций в направлении их цифровизации.
6. Для создания существенного прогресса в области успешного применения новой техники и новых технологий необходимы квалифицированные кадры. Для этого необходимы стажировки, семинары, курсы повышения квалификации, организация круглых столов, диалогов для профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений страны по обмену опытом.

Библиографический список

1. Нургалиев, Д. // Технология, меняющая индустриальный мир. Казахстанская правда. – 2017. – С. 8.
2. Экологический кодекс Республики Казахстан/№400-VI ЗРК.02.01.2021 г.
3. URL : <https://lsm.kz/energetika-kazahstana-problemy-puti-resheniya-i-perspektivy>

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

Н. В. Земцова, А. В. Щегольков

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru)

Особое значение приобретает использование полимерных композитов с различным сочетанием функциональных свойств в различных сферах применения [1, 2]. Существенный интерес представляют собой функциональные материалы, позволяющие реализовать эффект саморегулируемого электронагрева [2].

Использование дисперсного проводящего наполнителя в полимерной матрице позволяет сформировать композит с внешней электропроводностью. Для оценки влияния проводящих дисперсных структур используется модель электропроводности следующего вида:

$$\sigma = \sigma_c + (\sigma_m - \sigma_c)[(\varphi - \varphi_c)/(F - \varphi_c)]^t, \quad (1)$$

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.

Особенности, связанные с матрицей эластомера, могут быть выражены нелинейно-наследственной релаксацией вида Больцмана–Вольтерра (2):

$$\sigma_t = E_0 \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \int_0^t \varepsilon_{t-s} \frac{\partial \varphi_{\varepsilon s}}{\partial s} ds, \quad (2)$$

Релаксационная функция $\varphi_{\varepsilon t}$ – гиперболический тангенс:

$$\varphi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} \left(1 + th \left(\frac{A_\varepsilon}{2} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} \right) \right), \quad (3)$$

где

$$W_{\varepsilon t} = \frac{A_\varepsilon}{2} \ln \frac{t}{\tau_\varepsilon} = \frac{A_\varepsilon}{2} \left(\ln \left(\frac{t}{t_1} \right) + \ln \left(\frac{t_1}{\tau_\varepsilon} \right) \right), \quad (4)$$

t_1 – значение базового времени.

Были изготовлены образцы проводящих композитов на основе двухкомпонентных эластомеров и МУНТ с добавками микроразмерной меди.

В качестве источника электрической энергии использовался автотрансформатор. Для измерения применялись мультиметры UNI-T UT61E+, подключаемые к ноутбуку HUAWEI MateBook D 15. Результаты исследований наномодифицированного эластомера представлены в табл. 1.

1. Режимы работы электронагревателя

№	Напряжение, В	Сила тока, мкА	Температура, °С	Время (саморегулирования), мин
1	15,8	28,48	45,2	1,5
2	20,0	49,08	65,6	2,5
3	25,3	80,24	98,1	2

Варьирование уровнем питающего напряжения позволяет регулировать тепловыделение и задавать оптимальные температурные режимы для технологического объекта. Для разработанного нагревателя не требуются дополнительные средства автоматизации, так как режимы регулирования температуры основаны на внутренних электрофизических процессах, протекающих в системе полимер/МУНТ (саморегулирование).

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. – P. 77 – 81.
2. Multilayer polymeric nanocomposite thin film heater and electromagnetic interference shield / E. Hosseini, N. Sabet, M. Arjmand, U. Sundararaj, H. Hassanzadeh, M.H. Zarifi, K. Karan // *Chemical Engineering Journal*. – 2022. – 134598 p.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

К. А. Кретинин, В. И. Зацепина

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

(e-mail: kretinin.ka@gmail.com)

Нынешние технологии в области беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) позволяют упростить диагностику воздушных линий (ВЛ), одна из ключевых проблем полноценного внедрения (БПЛА) это автоматическая обработка данных, а именно несовершенство программно-аппаратного комплекса [1].

При разработке программы на базе нейронной сети, позволяющей определить дефекты ВЛ, было определено, что для данной задачи подходит алгоритм сверточных нейронных сетей, так как он применяется для обработки признаков графических изображений, использование данного алгоритма совместно с операторами машинного зрения позволяет определять различные виды дефектов, такие как наличие опоры, уклон опоры, наличие и состояние изоляторов, обрыв провода, и т.д., принцип работы программ заключается в «каскаде», т.е. вначале идет определение материнского объекта, в данном случае это опора ВЛ, а далее обработка вторичных признаков, наличие и состояние изоляторов и т.д.

Из преимуществ сверточных нейронных сетей стоит подчеркнуть, что использование ядер позволяет избежать попиксельного запоминания, т.е. позволяет сохранить топологию изображения от слоя к слою, что увеличивает качество распознавания [2]. Из недостатков

сверточных нейронных сетей можно выделить длительное время обучение и требование к наличию огромной обучающей базе данных.

Для упрощения процесса обучения нейронной сети было принято использовать алгоритмы компьютерного зрения, способные проводить предобработку изображения, а именно согласно результатам влияния машинного зрения, лучше результаты показывает увеличение четкости и выделение границ оператор Кэнни, оператор Собеля.

Рассматривая проблему реализации программы на базе нейронной сети, мы сталкиваемся с проблемой обучения, а именно с формированием обучающей базы данных, необходимо огромное количество фотографий хорошего качества дефектов ВЛ, так же стоит отметить, что для каждого дефекта ВЛ требуется своя выборка, что сильно затягивает процесс создания программы.

Библиографический список

1. Федоренко, Ю. С. Технология распознавания образов с использованием сверточной нейронной сети [Электронный ресурс] / Ю. С. Федоренко // Инженерный Вестник ; ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Н. Э. Баумана». – 2013. – URL : <http://sntbul.bmstu.ru/file/out/641033>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Новосельцев, В. А. Исследование влияния предварительной обработки изображений на скорость обучения и качество распознавания нейронной сети / В. А. Новосельцев, А. Н. Тушев // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем. – 2018. – С. 175 – 182.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЭЛАСТОМЕРОВ

Н. В. Земцова, В. А. Кобелева

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

(e-mail: natasha_paramonova_68@mail.ru)

Создание эффективных материалов для энергетики и особенно для задач электротехнологических процессов является важным научным направлением, позволяющим формировать новую элементную базу и расширять спектр решаемых задач.

Модифицирование эластомеров проводящими структурами, обладающими наноразмерными геометрическими параметрами (МУНТ – многослойные углеродные нанотрубки), позволяет создавать композиты с функциональными свойствами тепловыделения под действием электрического напряжения [1]. Такие материалы могут быть использованы для создания энергоэффективных антиобледенительных систем [2].

Для эластомера на основе двухкомпонентного компаунда (Силагерм 8030) с проводящими добавками (графит 3 мас. % и МУНТ 3 мас. %) получена зависимость тока от време-

ни при смене электрического напряжения с 9,1 до 12 и 17 В (рис. 1) и последующего перехода на уровень 10 В. Данное ступенчатое изменение показывает возможность регулирования мощности нагрева за счет изменения уровня питающего напряжения.

Изменение значения уровня питающего напряжения позволяет регулировать тепловыделения и задавать оптимальные температурные режимы для устройств электрообогрева, которые могут быть использованы в сфере АПК, химической и пищевой промышленности.

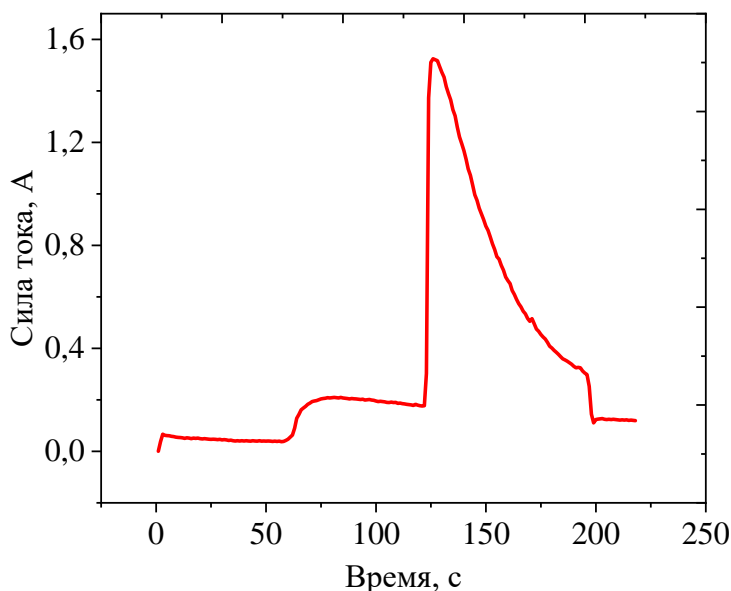


Рис. 1. Зависимость силы тока от времени для образца нагревателя

Получение новых функциональных материалов может быть реализовано с помощью междисциплинарного подхода в области электротехнологии и нанотехнологий, что позволяет реализовать ранее недоступные режимные и конструктивные параметры для широкого класса электронагревателей, которые могут быть использованы для тепловых вентиляторов и инфракрасных излучателей.

Библиографический список

1. Shchegolkov, A. V. Investigation of heat release in nanomodified elastomers during stretching and torsion under the action of electric voltage / A. V. Shchegolkov, A. V. Shchegolkov, N. V. Zemtsova // *Frontier Materials & Technologies*. – 2022. – V. 2. – P. 121 – 132.
2. Щегольков, А. В. Антиобледенительные системы на основе эластомеров, модифицированных углеродными наноструктурами, с эффектом саморегулирования температуры / А. В. Щегольков, А. В. Щегольков // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 141 – 151.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Л. Н. Патрикеев</i> Элементная база цифровизации в атомной энергетике	3
<i>Д. В. Корпусов</i> Состояние и перспективы развития МУП «Тамбовтеплосервис» г. Тамбова	7
<i>В. П. Захаров</i> Аспекты качества электрической энергии в системах электроснабжения Западно-Казахстанской области	9
<i>А. Н. Кагдин, А. В. Кобелев, Ю. Н. Демин</i> Токовая интенсивность в шинах с геометрическими неоднородностями	10
<i>О. Belaroussi, V. F. Kalinin</i> Optimization approaches to energy storage in freestanding photovoltaic systems	12
<i>М. В. Бородин, А. Е. Семенов, Н. В. Махиянова</i> Актуальность повышения качества электроэнергии	15
<i>В. С. Кох-Татаренко, Ю. С. Теплицкий</i> Торрефикация биомассы в среде дымовых газов	17

Секция 1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

<i>Э. М. П. Йиндула</i> Разработка интеллектуальной системы допускового контроля теплопроводности теплоизоляционных материалов в теплоэнергетике	19
<i>Н. Ф. Майникова, И. В. Rogov, А. В. Гришин</i> Краевая задача нестационарного теплопереноса применительно к трехслойной системе	21
<i>В. В. Еремин, Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин</i> Исследование генератора импульсного электрического поля высокой напряженности	23
<i>Я. Э. Нзуба</i> Архитектура интеллектуальной телеизмерительной системы для контроля качества материалов в теплоэнергетике	25
<i>Н. А. Сергеева</i> Методика оценки эффективности энергооборудования в условиях бережливого производства	27

<i>М. И. Тошходжаева</i>	
Интегральный показатель систем с источниками распределенной генерации	28
<i>В. В. Еремин, Д. С. Баршутина</i>	
Экспериментальная установка для исследования ионизации пламени в импульсном электрическом поле	30
<i>Т. И. Чернышова, П. И. Карелин</i>	
Информационно-аналитическая система для оценки метрологического ресурса информационно-измерительной системы с учетом условий эксплуатации	32
<i>А. Г. Дивин, А. А. Балашов, А. А. Дурнов</i>	
Модернизация метода определения коэффициента теплопроводности сыпучего материала	34
<i>А. Н. Никитин, Д. С. Баршутина</i>	
Ионизационно-рекомбинационные процессы в пламени	35
<i>А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Н. А. Низар</i>	
Информационная система прогнозирования технического состояния телекоммуникационного оборудования	37
<i>А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Н. А. Низар</i>	
Классификация методов прогнозирования технического состояния радиоэлектронного оборудования	39
<i>А. Ю. Дмитриевцев, Ю. Т. Зырянов, Н. А. Низар</i>	
Прогнозирование технического состояния радиоэлектронного оборудования	40
<i>В. С. Лаврентьев</i>	
Исследование режимов работы газораспределительных сетей, расположенных в горной местности	42
<i>А. Н. Никитин, С. Н. Баршутин, Д. С. Баршутина</i>	
Потери энергии на излучение в системах МГД-генерации	44
<i>Т. М. Лаврик, М. А. Матвеева</i>	
Виды договоров, заключаемых в области теплоснабжения	45
<i>Т. М. Лаврик, М. А. Матвеева</i>	
Правовое регулирование теплоснабжения	47
<i>Н. Н. Лебедева, А. А. Балашов</i>	
Экономически оптимизационный метод гидравлического расчета тепловых сетей	49
<i>Т. А. Листопадская, Н. Н. Кожухов, А. А. Махоренко</i>	
Определение утечек в тепловой камере тепловой сети	51
<i>М. В. Мостовской, С. В. Артемова</i>	
Имитационная модель координатной системы лазерной установки повышенной эффективности	53
<i>А. П. Мунин, Н. А. Озеров, А. В. Кульбякина</i>	
Цифровизация ТЭК	56

<i>К. Ю. Сигаев, В. Я. Губарев</i> Разработка статической математической модели производственного парового котла ТП-13/В	57
<i>К. В. Скоморохов, З. М. Селиванова</i> Методика неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов для теплоэнергетики в условиях неопределенности	59

Секция 2

ГЕНЕРАЦИЯ, ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

<i>О. А. Пугина</i> Энергетическое право: вопросы методики преподавания	61
<i>А. К. Бабаев, И. В. Хорохорин, А. Е. Хрипченко, С. Н. Данилов</i> Имитационная модель канала электросвязи с OFDM сигналами	62
<i>А. К. Бабаев, И. В. Хорохорин, А. Е. Хрипченко</i> Моделирование формирования сигнала OFDM канала электросвязи	64
<i>С. А. Фролов</i> Комсомольский и молодежный почин в электрификации сел Тамбовской области (1946 – 1950 гг.)	66
<i>Н. С. Храмцов</i> Актуальность перехода на альтернативные источники энергии	68
<i>Н. С. Храмцов</i> Ветрогенераторы в небоскребах	70
<i>А. А. Уютнов, М. А. Каменская, С. В. Артемова</i> Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии	72
<i>Н. П. Моторина, Е. В. Тетеревлева</i> Анализ показателей качества электроснабжения	74
<i>А. А. Карпунин, К. В. Селиванов</i> Анализ влияния методов предиктивной аналитики на качество тестирования компонентов цифровой трансформации	76
<i>В. В. Леонидов</i> Проблематика ввода в эксплуатации цифровых систем управления в энергетике	78
<i>К. А. Муравьев, О. В. Косьянов</i> Методика предиктивного анализа отказов компонентов «Интернета вещей» в условиях цифровой трансформации	80

<i>А. Е. Хрипченко, А. К. Бабаев, И. В. Хорохорин</i> Моделирование приема и обработки сигнала OFDM канала электросвязи	82
<i>Д. Ю. Муромцев, П. А. Титова, В. Н. Шамкин</i> О проблеме управления при минимизации энергопотребления сложного технологического объекта, функционирующего в режиме переменной производительности	84
<i>Д. О. Понкратов, В. С. Аистов, А. А. Иванков</i> Использование методов многопозиционной радиолокации при защите объектов электроэнергетики	87
<i>Н. А. Лежнева, А. А. Иванов</i> Математическая модель беспилотного транспортного средства	89
<i>В. С. Аистов, И. А. Некрылов</i> Снижение энергозатратности ТС при помощи корректировки его движения РЛ датчиками координат	91
<i>Е. А. Антонов, С. Н. Данилов</i> Повышение точности оценки дальности до воздушного транспортного средства	94
<i>Р. В. Горшков, В. О. Михайлов, А. Ю. Кудинов</i> Цифровое управление электросетевым комплексом	96
<i>М. А. Каменская, Т. И. Чернышова, С. В. Артемова</i> Прогнозирование метрологической надежности цифровых электроэнергетических систем	98
<i>К. К. Ким, А. А. Ткачук, Г. Н. Анисимов</i> Расчет трансформатора с эффектом стабилизации напряжения в пакете программы ELCUT	99
<i>В. Е. Кожевников, В. И. Зацепина</i> Определение места повреждения на магистральных воздушных линиях электропередачи с изолированной нейтралью	102
<i>Р. П. Коханов, Б. С. Основин</i> Моделирование предметной области для поддержки эксплуатации энергетических систем	104
<i>Д. С. Кочергин</i> Использование роботов в электроэнергетике	106
<i>А. Е. Кудрявцев, В. И. Зацепина</i> Имитационное исследование рабочих характеристик микросети постоянного тока	107
<i>А. Е. Кудрявцев, В. И. Зацепина</i> Разработка и внедрение новой системы управления «Умным домом» на основе интернета вещей	109
<i>М. А. Леликов</i> Моделирование процесса подсчета диаметра рулона моталки в «TIA PORTAL»	111

<i>А. Д. Лоскутова</i> Цифровая система контроля прибора теплофизических свойств материалов	114
<i>В. Н. Мецержаков, Е. С. Мантухов, В. Е. Гладышев</i> Использование системы накопления электроэнергии в распределенных сетях 0,4 – 110 КВ	115
<i>И. А. Некрылов, В. С. Аистов</i> Зависимость энергетических характеристик РЭС от параметров антенны	118
<i>И. В. Павлов, В. И. Зацепина</i> Обнаружение и классификация неисправностей в системах электроснабжения с использованием искусственных нейронных сетей	120
<i>М. Н. Погуляев</i> Использование статических преобразователей в устройствах нагружения синхронных генераторов	121
<i>Е. М. Портнов, А. М. Баин, В. В. Кокин</i> Разработка методики формирования информационных сообщений в системах энергообеспечения промышленных объектов	123
<i>О. Л. Протасова</i> Технические специалисты на строительстве объектов электроэнергетики советской России (1920-е – начало 1930-х гг.)	125
<i>О. А. Пустовая, Е. А. Пустовой</i> К вопросу формирования футурологического прогноза энергетического баланса электрических сетей	127
<i>Д. В. Родионов</i> Повышение эффективности системы электроснабжения промышленного предприятия путем децентрализации в контексте цифровой трансформации электроэнергетической отрасли	128
<i>А. А. Романов, С. В. Андреев</i> Мультиагентный подход для управления элементами электрических систем	130
<i>Е. Л. Рыжова</i> Новейшие технологии энергосбережения в электро- и теплоэнергетике	132
<i>И. А. Сапрыкин, Ю. Д. Гусева, И. Д. Мажуга</i> Взаимосвязь цифровизации электроэнергетики и энергосбережения	133
<i>Е. А. Семьянинова, А. Е. Саковых</i> Диагностика дефектов электрооборудования на основе нейронных сетей как способ предотвращения аварий на подстанциях	135
<i>Т. В. Синюкова, А. В. Синюков, Л. В. Кострикин</i> Повышение надежности системы электроснабжения потребителей за счет использования реклоузеров	136

<i>А. А. Скворцов</i> Применение двухгребневого волновода и П-волновода с выступами на ребре в качестве вторичных каналов электротермических СВЧ-устройств	138
<i>К. В. Селиванов, И. Ш. Умитбаев</i> Сравнительная характеристика методов оксидирования кремния	141
<i>П. С. Чеботаева, Д. Д. Петриченко, К. В. Селиванов</i> Способы очистки солнечных панелей	143
<i>К. А. Кретинин, В. И. Зацепина</i> Применение беспилотных летательных аппаратов для анализа воздушных линий электропередачи	145
<i>В. И. Зацепина, С. С. Астанин</i> Лаборатория цифровой подстанции Липецкого государственного технического университета	146
<i>Л. А. Садыкова</i> Состояние национальной энергетической системы Казахстана	148
<i>Н. В. Земцова, А. В. Щегольков</i> Практика применения наномодифицированных эластомеров для систем автоматизации и электронагрева	149
<i>К. А. Кретинин, В. И. Зацепина</i> Формирование программно-аппаратного комплекса для обработки результатов работы беспилотных летательных аппаратов применяемых для анализа работы воздушных линий электропередачи	151
<i>Н. В. Земцова, В. А. Кобелева</i> Исследование режимов работы электронагревателей на основе наномодифицированных эластомеров	152

Научное электронное издание

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Выпуск IV

Материалы Четвертой Международной научной конференции

Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова

ISBN 978-5-8265-2565-4



9 785826 525654

Подписано к использованию 15.03.2023.

Тираж 100 шт. Заказ № 23

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14

Тел. 8(4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@tstu.ru