ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ, ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Тамбов, 19 декабря 2024 г.

Научное электронное издание

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2025

УДК 658.26
ББК 31.3
Ц75

Председатель конференции – Муромцев Дмитрий Юрьевич

Редакционная коллегия:

Т. И. Чернышова – *ответственный редактор*,
М. А. Каменская – *зам. ответственного редактора*,
А. Н. Грибков, А. В. Кобелев

Ц75 **Цифровая трансформация** в энергетике. Вып. VI [Электронный ресурс] : сб. тр. VI Междунар. науч.-практ. конф. для студентов, молодых ученых и специалистов / отв. ред. Д. Ю. Муромцев ; ФГБОУ ВО «ТГТУ». – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2025. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 4,5 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2853-2

Представлены тезисы докладов участников VI Международной научно-практической конференции для студентов, молодых ученых и специалистов «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 энергетики.

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

УДК 658.26
ББК 31.3

Организаторы конференции и издательство не несут ответственности за материалы, опубликованные в сборнике. Все материалы даны в авторской редакции и отображают персональную позицию участника конференции

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

ISBN 978-5-8265-2853-2

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2025

Секция 1

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

О ПРОБЛЕМЕ КОЭФФИЦИЕНТНЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ

А. А. Адамова

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *arinaadamova75@gmail.com*)

В условиях цифровой трансформации промышленности повышенное внимание следует уделять вопросам обеспечения технологичности изделий, изготавливаемых на базе цифрового «умного производства» [1]. На рисунке 1 представлена классификация основных методов отработки изделий на технологичность.

Рис. 1. Классификация методов оценки технологичности

Метод качественной оценки технологичности изделия, или метод «субъективной» оценки [2], отличается тем, что уровень технологичности деталей и сборочных единиц, а также всей конструкции оценивается группой специалистов на основе комплексного анализа основных особенностей конструктивных решений и технологических возможностей изготовления [2].

Метод количественной оценки технологичности изделий, базирующийся в основном на двух группах показателей (основных и дополнительных), связанных с технологической рациональностью конструктивных решений и

преемственностью конструкций, является перспективным, так как более полно отражает согласованность конструкций изделий с технологическими возможностями современного «умного производства». К недостаткам этого метода можно отнести то, что, отражая количественную сторону технологичности (а именно то, что поддается прямому измерению), он не всегда учитывает влияние полученных показателей на величину трудоемкости и себестоимости изготовления изделий, что приводит к неточностям в расчетах [3].

Среди количественных методов можно выделить группу коэффициентных методов [2]. Основной проблемой коэффициентных методов является сложность формирования наиболее цельной выборки учитываемых коэффициентов. Различная физическая природа показателей, характеризующих прибор, затрудняет проведение сравнительного анализа и выбор наилучшей по своим характеристикам аппаратуры. Для решения этой задачи могут быть использованы различные экспертные методы [4]. Одним из таких методов является выбор одного или нескольких решений по минимаксному критерию, однако он не учитывает взаимное влияние частных показателей. В общем случае рекомендуется использовать при оценке не более 7 значащих коэффициентов. Практика показывает, что количество используемых значимых коэффициентов следует выбирать исходя из правила «золотого сечения» в ряду 3-5-7. Перечень используемых коэффициентов при этом формируется с помощью экспертных методов принятия решений [4].

Разработка подхода к решению проблемы подбора значимых коэффициентов технологичности является актуальной задачей современности и включает в себя формулировку теоретических положений исследования, аналитических моделей, поисковых вопросов, гипотез, а также определение факторов, которые могут влиять на общий план оценки технологичности. Экспертная методика подбора коэффициентов служит основой ее проведения и детализирует ход выполнения процедур, необходимых для получения необходимой информации. Она необходима для того, чтобы разработать план проверки гипотез, определить возможные ответы на вопросы экспертами и выяснить, какая информация принятия решения. Необходимо определить, каким образом должны быть получены данные от респондентов (экспертов). Могут также использоваться другие методы поискового исследования, такие как пилотные опросы с небольшими выборками респондентов. Применение экспертных методов при оценке технологичности коэффициентными методами позволяет получить более точные оценки и позволяет интегрировать данные методики в современные smart-системы управления «умными» производствами.

Библиографический список

1. Adamova, A. Development of SMART GRID technologies: organizational and communication aspects / A. Adamova, K. Selivanov, A. Vlasov // E3S Web of Conferences. TRESP 2021. – 2021. – No. 8001.
2. Адамов, А. П. Методологические основы обеспечения технологичности электронных средств / А. П. Адамов, Г. Х. Ирзаев, А. А. Адамова. – СПб. : Политехника, 2008. – 312 с.
3. Адамов, А. П. Дифференциальные коэффициенты оценки технологичности электронных средств и их применение при структурно-функциональном моделировании производственных систем / А. П. Адамов, А. А. Адамова, А. И. Власов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2015. – № 5(104). – С. 109 – 123.
4. Адамова, А. А. Экспертные методы управления технологичностью в приборостроении / А. А. Адамова // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Тамбов, 2024. – С. 127 – 129.

ДАТЧИКИ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ИОНИЗИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В. В. Андреев, О. Р. Кузичкин, В. А. Шахнов, С. А. Корнев

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *vladimir_andreev@bmstu.ru*; *oldolkuz@yandex.ru*; *shakhnov@iu4.bmstu.ru*; *kornevsa@student.bmstu.ru*)

В современной атомной энергетике задача высокоточной регистрации параметров ионизирующих излучений является чрезвычайно важной и актуальной. Для повышения функциональных характеристик радиационных датчиков в условиях широкого круга ионизирующих излучений предлагается реализовать активный чувствительный элемент (АЧЭ) датчика на основе МДП-структур. Такой подход обеспечит контроль интенсивности радиационного излучения (РИ) и позволит точнее оценивать суммарное значение поглощенной дозы. Предлагаемый датчик РИ будет возможно применять в различных

областях, связанных с контролем за ионизирующими излучениями, так и облучаемых объектов не только в энергетике, но и в медицине, космической технике, экологическом контроле, атомной и ядерной физике и т.д.

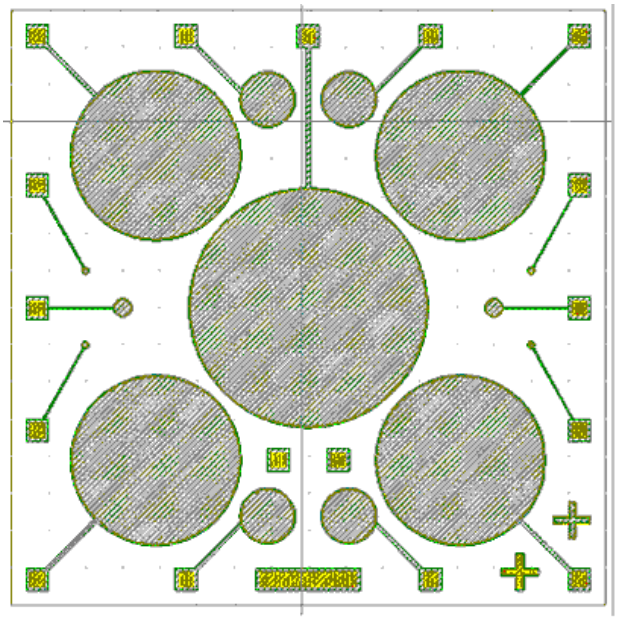
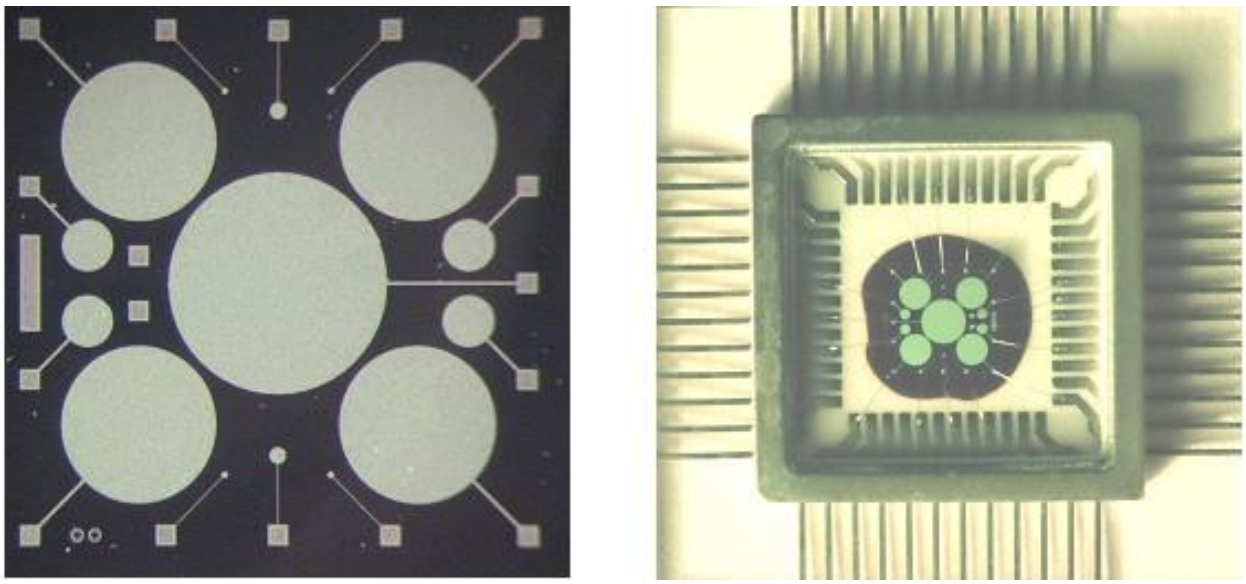


Рис. 1. Совмещенная топология полупроводникового кристалла АЧЭ РИ на основе МДП-структур

Предлагаемая реализация полупроводникового кристалла (4×4 мм) датчика РИ на основе МДП-структур реализована по технологии, совместимой с КМДП [1 – 3]. Совмещенная топология АЧЭ РИ на базе МДП-структур представлена на рис. 1. Она объединяет шестнадцать МДП-структур различной площади. Для обеспечения устойчивого контактирования контактные площадки сформированы на толстой пленке SiO_2. Наряду с этим реализованы и планарные контакты к подложке. На рисунке 2 показаны фотографии изготовленного полупроводникового кристалла (рис. 2, *а*) и кристалла, разваренного в 48-выводной стандартный металлокерамический корпус (рис. 2, *б*). К контактам АЧЭ РИ подключаются внешние источники, определяющие режимы работы датчика при регистрации характеристик РИ [4].

В основе датчика – МДП-конденсаторы, которые сформированы на пластинах кремния *n*-типа с объемной концентрацией фосфора около 10^{15} см$^{-3}$. Низкоомный полупроводник обеспечивает создание сильнополевых инжекционных режимов при контроле ионизационных процессов, протекающих под действием облучения в тонких пленках подзатворного диэлектрика толщиной 20…100 нм. В результате разработанная конструкция позволяет снизить энергетические пороги регистрации заряженных частиц и повысить эффективность контроля, упростить конструкцию сенсора, снизить его себестоимость.



а) *б*)

Рис. 2. Фотографии полупроводникового кристалла МДП-датчика (*а*) и датчика РИ (*б*)

Благодарности

Отдельные результаты получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

Библиографический список

1. Use of High-Field Electron Injection into Dielectrics to Enhance Functional Capabilities of Radiation MOS Sensors / D. V. Andreev, G. G. Bondarenko, V. V. Andreev, A. A. Stolyarov // Sensors. – 2020. – V. 20, Is. 8. – P. 2382(1-11).

2. Andreev, K. A. Silicon pressure transmitters with overload protection / K. A. Andreev, A. I. Vlasov, V. A. Shakhnov // Automation and Remote Control. – 2016. – V. 77, No. 7. – P. 1281 – 1285.

3. Andreev, D. V. Change in the Charge State of MOS Structures with a Radiation-Induced Charge under High-Field Injection of Electrons / D. V. Andreev, G. G. Bondarenko, V. V. Andreev // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2023. – V. 17, No. 1. – P. 48 – 53.

4. Контроль радиационных излучений сенсорами на основе МДП-структур / В. В. Андреев, А. В. Романов, А. А. Столяров, Д. М. Ахмелкин // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2016. – Т. 21, № 8. – С. 16 – 20.

КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА СЕНСОРА РАДИАЦИОННЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОСНОВЕ МДП-СТРУКТУР

Д. В. Андреев, В. В. Андреев, К. В. Селиванов

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *dmitrii_andreev@bmstu.ru*; *vladinir_andreev@bmstu.ru*; *selivanov_kv@mail.ru*)

Эффективный контроль радиационных излучений в современной атомной энергетике является важной и актуальной задачей. В качестве одного из эффективных способов контроля радиационных излучений (РИ) с использованием активного чувствительного элемента (АЧЭ) датчика РИ на основе МДП-структур [1] рассмотрим реализацию методики контроля протонного воздействия и гамма-облучения. Облучение протонами реализовано посредством ускорителя. Это позволило использовать потоки протонов с энергией 150...500 кэВ. При этом один импульс на ускорителе обеспечивал флюенс протонов 10^{10} см$^{-2}$. Плотность тока протонов составляла (1...4) 10^{-8} А/см^2, что исключало возможность разогрева исследованных образцов. Исследование воздействия протонного облучения на МДП-структуры, находящиеся в режиме сильнополевой инжекции электронов в диэлектрик, проводилось непосредственно на ускорителе [2, 3].

Перед началом облучения к МДП-структурам, установленным в камере ускорителя, прикладывали импульс постоянного тока и добивались их перехода в режим сильнополевой по Фаулер–Нордгейму туннельной инжекции электронов из кремния в диэлектрик. МДП-структуры, находящиеся в режиме инжекции, облучали пучком протонов короткими импульсами. В течение всего эксперимента контролировалась временная зависимость напряжения на МДП-структуре (рис. 1).

Как видно из рис. 1, на участке *1* структура была переведена в режим сильнополевой инжекции импульсом тока плотностью 10^{-6} А/см^2, затем на участке *2* она была облучена потоком протонов с флюенсом 10^{10} см$^{-2}$. Кривые *1′* и *2′* на рис. 1 получены на МДП-структурах, облучавшихся потоком протонов с различной энергией. Энергия протонов 160 кэВ обеспечивала их прохождение через алюминиевый затвор и среднюю длину пробега, приходящуюся на объем диэлектрической пленки.

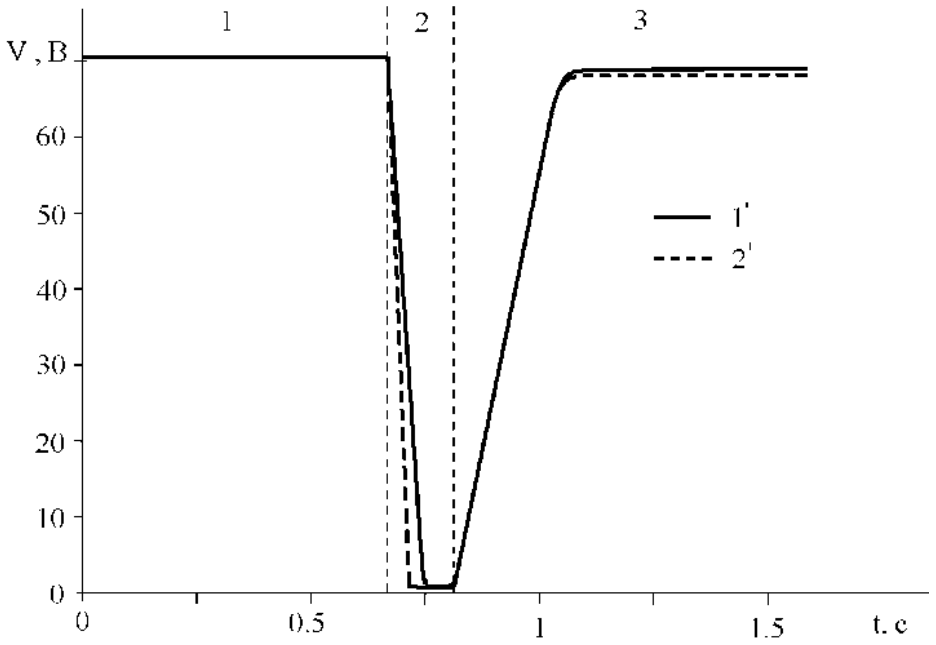


Рис. 1. Временная зависимость напряжения на МДП-структуре, измеренная в режиме протекания через диэлектрик постоянного тока плотностью 10^{-6} А/см^2, при облучении пучком протонов одним импульсом (участок *2*) с различной энергией:

1′ – 500 кэВ; *2′* – 160 кэВ

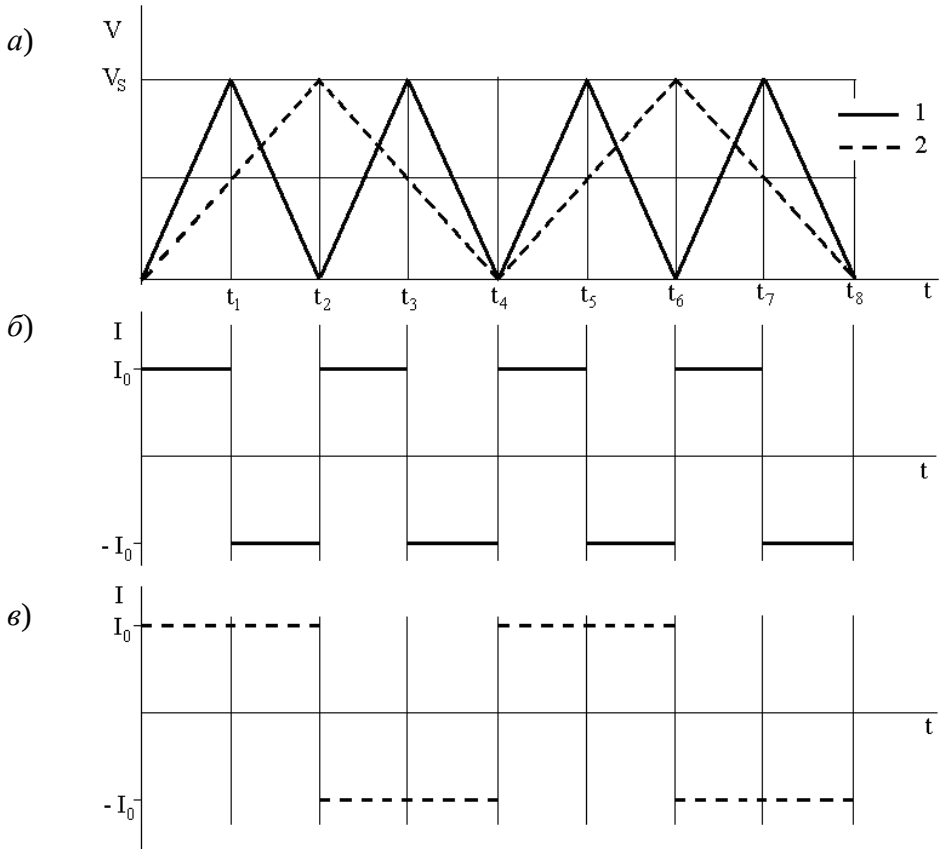


Рис. 2. Временные зависимости напряжения на МДП-структуре (*а*), находящейся в режиме заряда и разряда емкости постоянным током (*б*, *в*) амплитудой I_0, при отсутствии облучения (*1*, *б*) и при облучении (*2*, *в*), вызывающем ионизационный ток плотностью $I_{ion} = 0{,}5I_0$

В основе данного метода использовался МДП-конденсатор, который находится в режиме заряда и разряда емкости МДП-структуры постоянным током, для регистрации радиационных излучений. Напряжение, до которого заряжается структура металл-диэлектрик-полупроводник, должно быть ниже напряжений, при которых начинается инжекция заряда в подзатворный диэлектрик. На рисунке 2 приведены временные зависимости напряжения на МДП-структуре (рис. 2, *а*), находящейся в режиме заряда и разряда емкости постоянным током (рис. 2, *б*) амплитудой I_0, при отсутствии облучения (кривая *1*) и при облучении (кривая *2*). Как видно из рис. 2, при воздействии ионизирующего облучения изменяется время заряда и разряда емкости МДП-структуры.

Благодарности

Отдельные результаты получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

Библиографический список

1. Use of MIS Sensors of Radiation in High-Field Electron Injection Modes / V. V. Andreev, G. G. Bondarenko, D. V. Andreev, A. A. Stolyarov // Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences). – 2020. – V. 55, No. 2. – P. 144 – 150.
2. Инжекционный метод исследования диэлектрических пленок МДП-структур при стрессовых и измерительных режимах / В. В. Андреев, Г. Г. Бондаренко, Д. М. Ахмелкин, А. В. Романов // Перспективные материалы. – 2017. – № 10. – С. 33 – 40.
3. Процессы радиационной ионизации в диэлектрических пленках МДП-структур в сильных электрических полях / В. В. Андреев, Г. Г. Бондаренко, А. В. Романов, С. А. Лоскутов // Перспективные материалы. – 2015. – № 12. – С. 27 – 33.

СТЕНД ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАДИАЦИОННЫХ МДП-ДАТЧИКОВ

Б. В. Артемьев, А. И. Власов, В. П. Жалнин, О. Р. Кузичкин

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия (e-mail: boris@artemiev.su; vlasovai@bmstu.ru; zhalnin@mail.ru; oldolkuz@yandex.ru)

На 1 января 2024 года суммарная установленная электрическая мощность атомных электростанций России составила 11,9% от установленной мощности электростанций энергосистемы, а доля атомной энергетики в общей выработке объединенных энергетических систем (ОЭС) России приближается к 30%. Измерение параметров радиационных излучений – важная и актуальная техническая задача в современной атомной энергетике.

В настоящее время МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) – транзисторы (RADFET-сенсоры) широко используются в качестве датчиков интегральной поглощенной дозы радиационных излучений (РИ) [1 – 3]. При воздействии РИ в подзатворном диэлектрике таких транзисторов наблюдается накопление положительного заряда, вызывающее изменение порогового напряжения, контролируя которое, определяют интегральную поглощенную дозу. Аналогичные процессы накопления положительного заряда в подзатворном диэлектрике наблюдаются и в МДП-конденсаторах. Их применение позволяет более детально исследовать зарядовые процессы, протекающие в диэлектрической пленке. Применение датчиков на основе МДП-структур позволяет расширить информативность оцениваемых характеристик. В настоящее время большинство интегральных структур изготавливаются по МДП-технологии. Реализация радиационно-чувствительных датчиков (РЧД) на основе МДП-структур позволит создать на одном полупроводниковом кристалле как сам чувствительный элемент (ЧЭ), так и устройство обработки сигналов.

Для измерения характеристик РЧД предлагается использовать универсальный цифровой измерительный стенд (рис. 1) [4]. Снятие вольт-амперных характеристик (ВАХ) РЧД – сложный и трудоемкий процесс. Для его автоматизации предложена реализация аппаратно-программного комплекса (АПК) экспериментальных исследований в следующем составе: рабочая станция (АРМ), интерфейсный кабель USB – RS232, блок питания, конвертер интерфейса RS232 в RS485, ЦАП, АЦП, DC-DC-преобразователь, усилитель со смещением, резистор, сенсор.

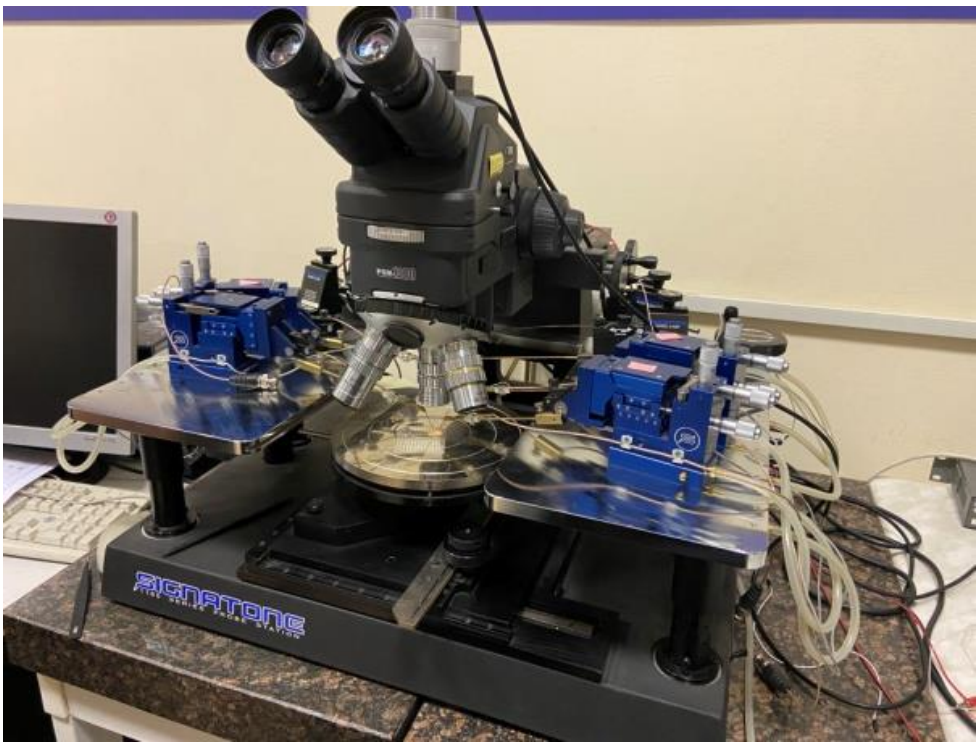


Рис. 1. Внешний вид измерительного стенда

На АРМ с использованием разработанного программного обеспечения в среде LabViev задаются необходимые параметры. К одному из COM-портов АРМ подключается интерфейсный кабель, который преобразует интерфейс USB в RS232. Далее устанавливают преобразователь интерфейса RS232 в RS485 для общения модулей АЦП и ЦАП. Блок питания обеспечивает работу ЦАП и АЦП, также подает напряжения на DC-DC-преобразователь, который выдает биполярное питание ±15 В. ЦАП задает сигнал (форму сигнала выбирает пользователь) с амплитудой 0…10 В. Биполярное питание с DC-DC-преобразователя и сигнал с ЦАПа попадает на усилитель со смещением, который опускает сигнал в биполярную область. Выходной сигнал попадает непосредственно на сенсор. АЦП преобразует полученную ВАХ в цифровой сигнал, который через преобразователи интерфейсов попадает на персональный компьютер. Для снятия ВАХ RADFET-датчика необходим биполярный сигнал. Полученный биполярный сигнал с DC-DC-преобразователя имеет нижнюю точку амплитуды 0 В. Для снятия показания необходимо сместить сигнал в отрицательную область по напряжению. Для этого спроектирован и изготовлен модуль усилителя тока со смещением. Непосредственное снятие показаний осуществляется с использованием зондовой станции Signatone s-1160. Предлагаемая конфигурация измерительного стенда для снятия ВАХ RADFET-датчиков позволяет оценивать основные их характеристики в реальном масштабе времени с достаточной точностью.

Благодарности

Отдельные результаты получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

Библиографический список

1. Use of MIS Sensors of Radiation in High-Field Electron Injection Modes / V. V. Andreev, G. G. Bondarenko, D. V. Andreev, A. A. Stolyarov // Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences). – 2020. – V. 55, No. 2. – P. 144 – 150.

2. Andreev, D. V. Change in the Charge State of MOS Structures with a Radiation-Induced Charge under High-Field Injection of Electrons / D. V. Andreev, G. G. Bondarenko, V. V. Andreev // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2023. – V. 17, No. 1. – P. 48 – 53.

3. Andreev, D. V. Accumulation and Suppression of Radiation-Induced Charge in MOS Structures / D. V. Andreev // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2024. – V. 18, No. 2. – P. 461 – 465.

4. Нестеров, Ю. И. Виртуальный измерительный комплекс / Ю. И. Нестеров, А. И. Власов, Б. Н. Першин // Датчики и системы. – 2000. – № 4. – С. 12 – 22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПОВ РАЗЛОЖЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПЛАМЕНИ

Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин

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

Сжигание углеводородного топлива на данный момент является основным методом получения энергии в современном мире. Оптимизация этого процесса является актуальной задачей для устройств, использующих процесс горения в качестве источника тепловой, механической и электрической энергий. Основной проблемой получения энергии в результате сжигания топлива является неполное сгорание топлива. Соответственно, повышение полноты сгорания углеводородного топлива позволит увеличить эффективность рассматриваемых устройств.

Рассмотрим этапы процесса горения углеводородных топлив на примере метана. Процесс состоит из следующих этапов, представленных в табл. 1.

Таблица 1

№ этапа	Химическая реакция	№ этапа	Химическая реакция
1	$CH_4 + M^* \rightarrow \cdot CH_3 + H\cdot + M$	9	$HCHO + \cdot O\cdot \rightarrow CO + H_2O$
2	$M^* + H_2O \rightarrow OH\cdot + H\cdot$	10	$HCHO + OH\cdot \rightarrow HCO\cdot + H_2O$
3	$H\cdot + O_2 \rightarrow \cdot OH + \cdot O\cdot$	11	$HCHO + \cdot O\cdot \rightarrow CO + H_2O$
4	$CH_4 + \cdot OH \rightarrow \cdot CH_3 + H_2O$	12	$HCHO \rightarrow CO + H_2$
5	$\cdot CH_3 + O_2 \rightarrow HCHO + \cdot OH$	13	$O: + CO \rightarrow CO_2$
6	$\cdot CH_3 + OH\cdot \rightarrow CH_3OH$	14	$OH\cdot + CO \rightarrow CO_2 + H\cdot$
7	$CH_3OH + O\cdot \rightarrow HCHO + H_2O$	15	$HCO\cdot + O_2 \rightarrow CO + O: + OH\cdot$
8	$CH_4 + \cdot O\cdot \rightarrow \cdot CH_3 + \cdot OH$	16	$OH\cdot + \cdot H + M \rightarrow H_2O + M^*$

Как видно из табл. 1, процесс горения даже самого простого углеводорода состоит из множества этапов, каждый из которых определяется химической реакцией и имеет фактор времени протекания реакции. Соответственно это влияет на скорость горения.

На начальном этапе молекула, обладающая энергией, достаточной для отрыва атома водорода от молекулы метана, разделяет на радикал водорода и радикал CH_3. Параллельно может происходить и второй этап с молекулой воды. Чтобы произошли эти этапы, в рассматриваемом объеме должно находиться достаточное количество возбужденных молекул. Количество таких молекул можно определить исходя из нормированного распределения Максвелла [1]:

$$f(E) = \frac{E}{(k \cdot T)^2} \cdot \exp\left(-\frac{E}{k \cdot T}\right), \qquad (1)$$

где k – постоянная Больцмана; T – температура частично ионизированного газа; E – энергия молекул.

Для температуры 293 К распределение будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Анализ графика показал, что для активации процесса горения метана при нормальных условиях отсутствуют молекулы с необходимой энергией разрыва связи водорода и углерода 3,27 эВ. Они появляются только при температуре самовоспламенения 810 К. Вычисление для энергии разрыва связи углерода и водорода при температуре самовоспламенения функция распределения имеет значение 20 моль$^{-1}$.

Следующий этап горения – это взаимодействие водорода с кислородом. В результате происходит экзотермическая реакция окисления водорода, энергия которой передается на дальнейшие этапы реакции.

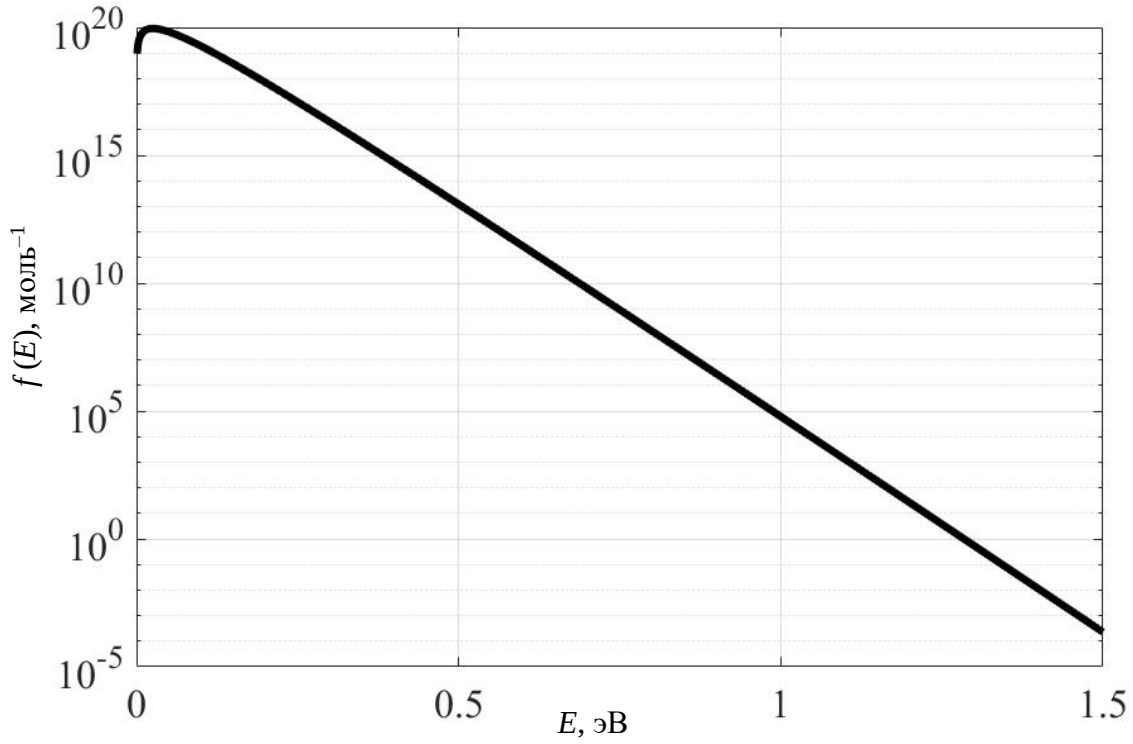


Рис. 1. Функция распределения концентрации молекул по энергиям

В результате при горении метана в среде воздуха формируется температура до 2000 К. Дальнейшее увеличение температуры не происходит из-за наступления равновесия между энергией, получаемой от химической реакции окисления, энергией излучения пламени, а также другими эндотермическими химическими реакциями разложения топлива. Увеличить скорость реакции разложения возможно путем повышения энергии у частиц в области реакции за счет воздействия электрического поля. При этом затраты электрической энергии на такое увеличение несущественны.

Библиографический список

1. Еремин, В. В. Распределение скорости электронов в частично ионизированном газе / В. В. Еремин, Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тез. докл. 82 Междунар. науч.-техн. конф., Магнитогорск, 22 – 26 апреля 2024 года. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2024. – С. 89.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ SCADA

И. Г. Волгин

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

Современные электрические системы отличаются сложностью и высокими требованиями к надежности. Для их эффективного управления используются передовые технологии мониторинга, анализа и принятия решений. SCADA-системы стали ключевым инструментом для устойчивой работы энергосистем, позволяя собирать, обрабатывать и визуализировать данные в реальном времени, а также управлять элементами системы. Однако выбор оптимальных методов анализа данных для SCADA остается актуальной задачей, особенно в условиях роста объемов данных и сложности систем.

Несмотря на широкое применение SCADA, существующие методы анализа не всегда эффективны для больших объемов информации, что ограничивает их использование. Развитие технологий машинного обучения и больших данных открывает новые возможности для повышения точности и скорости обработки данных, делая исследование этих аспектов особенно значимым.

Цель исследования – разработка подходов к выбору и анализу методов оценки состояния энергосистем с использованием SCADA. Для этого проведен обзор существующих методов, изучены их возможности интеграции и оценена эффективность на основе экспериментов. Внимание уделено алгоритмам диагностики, прогнозирования отказов, а также методам машинного обучения, включая нейронные сети и алгоритмы кластеризации.

Результаты показали, что современные методы обработки данных значительно повышают точность диагностики и прогнозирования. Ключевые критерии выбора методов включают устойчивость к шуму, быстродействие и адаптивность. Практическая проверка на реальных данных подтвердила их эффективность, особенно для предотвращения аварий и сокращения затрат на обслуживание.

SCADA-системы являются мощным инструментом мониторинга и управления энергосистемами. Однако внедрение современных методов анализа данных, включая машинное обучение, играет решающую роль в повышении их эффективности. Перспективы развития включают автоматический выбор методов анализа и интеграцию с IoT для улучшения мониторинга и адаптации к распределенным энергосистемам.

Библиографический список

1. Беляев, С. В. Методы мониторинга состояния электрических систем на базе SCADA / С. В. Беляев, А. П. Кузнецов // Вестник энергетики. – 2019. – № 2.
2. Иванов, П. В. Анализ эффективности современных SCADA-систем в энергетике / П. В. Иванов, М. Н. Орлов // Проблемы современной энергетики. – 2021. – № 4.
3. Петров, А. С. Использование SCADA для диагностики электрических систем / А. С. Петров, Л. И. Григорьев // Технологии автоматизации. – 2018. – № 3.
4. Смирнов, Д. В. Прогнозирование аварийных ситуаций в энергетике с использованием SCADA / Д. В. Смирнов, Е. Ю. Карпов // Энергетика и автоматизация. – 2020. – № 6.
5. Machine learning-based fault detection in electrical systems using SCADA data / M. Azeem, S. Ahmed, F. Baig, Khan, et al. // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2022.
6. Integration of IoT and SCADA for real-time monitoring and control of energy systems / H. Zhang, J. Li, Y. Wang, et al. // Energy. – 2023.

ИСТОРИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ В СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РОССИИ

И. А. Воликова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *volikova4@yandex.ru*)

Энергетическая система – это совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом. От других производственных систем энергетическую систему отличает то, что готовую энергию нельзя накапливать и складировать как готовую продукцию. В ходе этого энергетического перехода увеличивается доля новых первичных источников энергии и происходит постепенное вытеснение старых источников. В истории выделяются четыре таких перехода, в настоящее время мир находится в начале четвертого: первый – от биотоплива (дрова, древесный уголь и т.п.) к углю; второй – увеличение доли нефти в первичной

энергии (1915 год – 3%, 1975 год – 45%); третий – расширение использования газа (1930 год – 3%, 2017 год − 23%); четвертый – переход к возобновляемым источникам энергии: энергии ветра, Солнца, приливов и т.д. (2017 год – 3%) [1].

Ископаемое топливо признано источником выброса углерода, и этот процесс ограничен Парижским соглашением COP21 от 2015 года, переход к «чистым нулевым выбросам», с целью удержать глобальное потепление на уровне ниже 1,5 °C. Это потребует изменения состава энергетических ресурсов, изменения в структуре энергетической системы и необходимости новой экономической политики. Термин «чистый ноль» означает появление некоторого количества атмосферного CO_2 за счет сохранения почвы, лесовозобновления, защиты торфяников, водно-болотных угодий и морской среды. Кроме того, предусматривается прекращение перепроизводства за счет энергосбережения и повышения энергоэффективности. Рассчитывается, что использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) может иметь положительные социально-экономические последствия для занятости, промышленного развития и доступа к энергии. Замена угольных электростанций на ВИЭ может увеличить число рабочих мест, количество преждевременных сетей от загрязнения воздуха и снизить затраты на здравоохранение, а развертывание солнечных мини-сетей улучшить доступ к электричеству [2].

Этапы формирования и состава топливно-энергетического комплекса в России обусловлены низкой среднегодовой температурой на территории государства; экономико-географическими особенностями отечественной топливно-энергетической промышленности; насыщенностью природными ресурсами более, чем все другие страны вместе взятые; высоким энергетическим и научно-техническим потенциалом страны. В России почти три четверти года приходится отапливать жилье и содержать дорогостоящую систему коммунального теплоснабжения, чего никогда не знала американо-европейская цивилизация, за исключением разве что Скандинавии.

Современные энергетические переходы различаются по мотивам и целям, движущим силам и управлению. По мере развития национальные энергосистемы становились все более и более интегрированными, превращаясь в большие международные системы, которые мы наблюдаем сегодня. Политика Европейского Союза, вернее всего, приведет к тому, что страны, в него входящие, вернутся назад к первому энергетическому переходу.

Перед Россией в контексте четвертого энергетического перехода встает целый ряд вызовов экономического, технологического и геополитического

характера, отмечает А. А. Сизов. От того, как страна будет отвечать на эти вызовы, зависят ее энергобезопасность, место в мировой энергетике, технологический суверенитет и экономическое будущее [3, 162].

Россия в текущей ситуации использует альтернативные методы создания конкурентных преимуществ на энергетическом рынке:

- сконцентрирует политическое и экономическое воздействие на отдельные страны для достижения максимального эффекта;
- переориентирует производство продукции и оборудования на страны, которые участвуют в четвертом мировом энергетическом переходе, но при этом не вводят в отношении России санкции (например, Китай, Индия и другие страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР));
- сформирует альтернативную повестку в «зеленом» энергетическом переходе для тех стран, которые в силу определенных причин не желают присоединяться к новым трендам, либо отстают, чтобы активизировать сотрудничество и создать политическое движение, которое позволило бы России не выступать в единственном лице на международных площадках;
- избежит технического отставания в неблагоприятной политической среде;
- направит финансовые и интеллектуальные ресурсы на опережающее развитие технологий, что позволит не позже других игроков закрепиться на новых рынках.

Библиографический список

1. Расчет энергетических потребностей – Википедия. – URL : https://ru.wikipedia.org/wiki (дата обращения: 30.11.2024).

2. Парижское соглашение. Организация Объединенных Наций // Справочно-правовая система КонтурНорматив [сайт]. – URL : https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=410791 (дата обращения: 30.11.2024).

3. Сизов, А. А. Концепция энергетического перехода: история понятия и эволюция явления / А. А. Сизов // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. – 2024. – № 2. – С. 159 – 164. – URL : https://doi.org/10.22394/2079-1690-2024-1-2-159-164 (дата обращения: 28.11.2024).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ТЕРМОМЕТРА НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО РЕЗОНАТОРА

Г. А. Волков, Х. Юнес, М. Хасан

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *egorgor123456@mail.ru @mail.ru*; *hussam27992@gmail.com*; *Muhammad.hassan91r@gmail.com*)

В последнее время для моделирования сложных систем применяют цифровые двойники отдельных частей системы [1, 2]. Тема цифровых двойников особенна стала популярна при переходе к концепции «индустрия 4.0» [3, 4]. Цифровой двойник, в первую очередь, должен отражать поведение реального объекта, при этом его копия должна быть простая в реализации в цифровом виде для того, чтобы снизить нагрузку на вычислительные машины [5].

Датчики температуры в теплоэнергетических комплексах занимают особое место потому, что являются обратной связью для систем. Предметом исследования является термометр с термочувствительным элементом в виде кварцевого резонатора. Такие термометры обладают высокой чувствительностью, компактностью, на выход сразу поступает цифровой сигнал.

В основе термометра на основе кварцевого резонатора лежит эффект изменения частоты резонанса кварцевого резонатора от температуры. Параметр, который связывает эти характеристики, называется температурным коэффициентом частоты. Основные электрические и эксплуатационные характеристики резонаторов во многом определяются особенностями механических колебаний пьезоэлектрического элемента. Каждый вид колебаний резонатора имеет свою собственную частоту и чувствительность к внешним воздействиям [6].

Сам кварцевый резонатор не может генерировать сигнал, поэтому он включен в схему Пирса [7]. Сигнал с кварца не сразу попадает на микроконтроллер, а проходит ряд преобразований. Для повышения точности считывания частоты микроконтроллером введен делитель частоты в виде четырнадцатиразрядного счетчика.

Для настройки микроконтроллера проведены теоретические расчеты. В основе всех расчетов лежит полином второй степени преобразования температуры в частоту. Для нахождения температурных коэффициентов кварцевого резонатора проведен ряд измерений. На основе измерений вычисляются коэффициенты полиномиального уравнения методом наименьшей суммы квадратов (рис. 1).

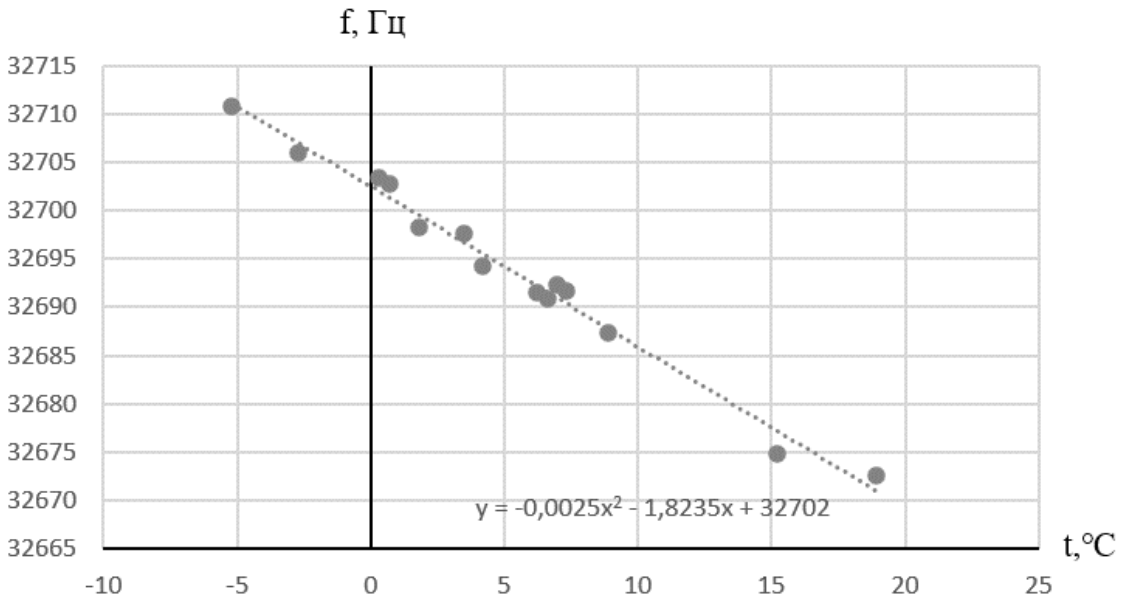


Рис. 1. Экспериментальный расчет зависимости частоты от температуры кварцевого резонатора

Полученный цифровой двойник датчика с термочувствительным элементом в виде кварцевого резонатора отражает зависимость частоты выходного сигнала от температуры внешней среды.

Библиографический список

1. Курносенко, А. Е. Применение многоуровневой декомпозиции для создания цифрового двойника сборочного производства электронной аппаратуры / А. Е. Курносенко, А. И. Власов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 3(27). – С. 126 – 134.

2. Нестеров, Ю. И. Виртуальный измерительный комплекс / Ю. И. Нестеров, А. И. Власов, Б. Н. Першин // Датчики и системы. – 2000. – № 4. – С. 12 – 22.

3. Адамов, А. П. Методика системного конструкторско-технологического проектирования изделий электронной техники с учетом требований концепции «индустрия 4.0» / А. П. Адамов, А. А. Адамова, А. Т. Темиров // Надежность и качество : тр. Междунар. симпозиума. – 2020. – Т. 2. – С. 310 – 317.

4. Карпунин, А. А. Обработка данных с распределенным реестром в концепции «Индустрия 4.0» / А. А. Карпунин, А. И. Власов // Энергосбережение и эффективность в технических системах : материалы V Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов, Тамбов, 4 – 6 июня 2018 года. – Тамбов : Изд-во Першина Р. В., 2018. – С. 120–121.

5. Власов, А. И. Вероятностные и семантические испытания компьютерной системы, решающей нестандартные задачи / А. И. Власов, А. Н. Орехов, Л. В. Тетик // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 31 – 45.

6. Хоменко, И. В. Кварцевые резонаторы и генераторы : учебное пособие / А. В. Косых, И. В. Хоменко. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2018. – 160 с.

7. Власов, А. И. Универсальный комплекс настройки частоты кварцевых генераторов и пьезоэлектрических фильтров / А. И. Власов, В. А. Пустовалов // Датчики и системы. – 2014. – № 12(187). – С. 46 – 51.

АППАРАТНЫЕ СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ УСТРОЙСТВ «УМНОГО ДОМА»

А. В. Гараев, Д. Д. Чернышов

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *garaevalexei@yandex.ru*; *saints@fan20012.ru*)

Современные системы «умного дома» предлагают широкие возможности для повышения комфорта, безопасности и экономии ресурсов [1]. Однако их использование сопряжено с энергопотреблением, что делает актуальной задачу улучшения работы как самих устройств, так и всей системы в целом. Постоянно растущее количество подключенных устройств и систем автоматизации требует внедрения аппаратных решений, позволяющих снизить энергопотребление без ущерба для функциональности и удобства пользователей.

Одним из перспективных направлений является использование специализированных энергоэффективных микроконтроллеров с низким энергопотреблением [2]. Такие микроконтроллеры обладают функциями динамического управления тактовой частотой и напряжением питания, что позволяет адаптировать работу устройства под текущие задачи и снижать энергозатраты в режиме ожидания.

Дополнительно предлагается применение датчиков с ультранизким энергопотреблением. Современные датчики движения, температуры, освещенности и других параметров работают по технологии event-driven (событийно-ориентированной) логики, выходя и спящего режима только при наличии изменений в окружающей среде. Это позволяет минимизировать использование ресурсов, особенно в периоды, когда система неактивна.

Низкое энергопотребление и малые потери на преобразование питания позволяют использовать нетрадиционные источники питания устройства. Примером может служить технология Energy Harvesting, которая позволяет использовать окружающую энергию (солнечную, тепловую или механическую) для питания автономных сенсоров и устройств [3, 4].

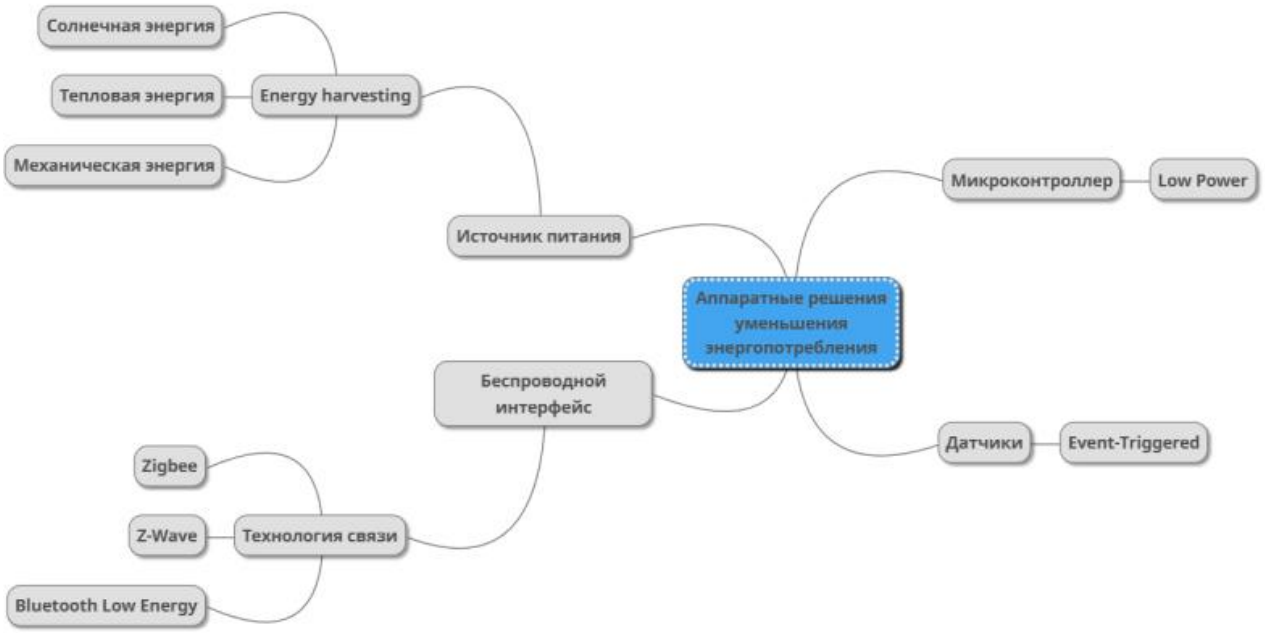


Рис. 1. Аппаратные компоненты «умного дома», направленные на снижение энергопотребления

На рисунке 1 показаны аппаратные компоненты «умного дома», направленные на снижение энергопотребления. Кроме того, широкое распространение получили технологии связи с низким энергопотреблением, такие как Zigbee, Z-Wave и Bluetooth Low Energy [5]. Они обеспечивают эффективное взаимодействие между устройствами, снижая затраты энергии на передачу данных.

Таким образом, внедрение аппаратных способов уменьшения энергопотребления в устройствах «умного дома» позволяет не только сократить затраты электроэнергии, но и повысить экологичность и автономность таких систем. Предложенные решения находят применение в самых разных сферах, включая бытовую электронику, системы безопасности и климатического контроля.

Библиографический список

1. Зеленцова, С. И. Энергоэффективность системы «умный дом» / С. И. Зеленцова // Культура и искусство. Поиски и открытия : сб. ст. Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, 26 августа 2024 года. – СПб. : Частное научно-

образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2024. – С. 42–43.

2. Большаков, И. Д. Микроконтроллеры с ультранизким энергопотреблением / И. Д. Большаков, А. А. Глушко // 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. – С. 17–18.

3. Альтернативные источники энергии в энергоэффективности системы «Умный дом» / А. В. Чечина, А. Ю. Родичев, Н. В. Токмаков и др. // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век : материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф., Орел, 26 – 28 сентября 2018 года ; под ред. О. В. Пилипенко, А. Н. Качанова, Ю. С. Степанова. – Орел : Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, 2018. – С. 168 – 170.

4. Адамов, А. П. Энергоэффективные технические решения для беспроводных сенсорных сетей / А. П. Адамов, А. А. Адамова, С. Г. Семенцов // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4(28). – С. 142 – 148.

5. Клынкин, К. О. Основные принципы проектирования энергоэффективных устройств с применением технологии Bluetooth low energy / К. О. Клынкин, А. А. Глушко // 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. – С. 44 – 46.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЖИЛОГО ДОМА

М. А. Горбаченок, А. А. Балашов

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

Тепловая энергия – это форма энергии, которая передается в виде тепла от одного тела к другому. Тепловая энергия является важнейшим фактором в отоплении жилых домов, поскольку она обеспечивает комфортную температуру в помещениях и поддерживает здоровье и благополучие людей. Актуаль-

ность выбора оптимального источника тепловой энергии в условиях изменения климата и роста цен на энергоносители обусловлена несколькими ключевыми факторами: изменением климата, ростом цен на энергоносители, технологическими инновацииями, а также социальными и политическими факторами. Таким образом, выбор оптимального источника тепловой энергии становится не только вопросом комфорта и здоровья, но и важным шагом к устойчивому будущему, которое учитывает как экономические, так и экологические аспекты. Это делает данный выбор актуальным и необходимым в современных условиях.

Исходные данные для проведения экономического анализа между электрическим и газовым источниками тепла малоквартирного двухэтажного жилого дома, расположенного в городе Тамбове, имеют следующий вид:

– годовое потребление газа на систему отопления – $W_{\text{о}}^{\text{газ}} = 3626{,}59$ м^3;

– годовое потребление газа на ГВС – $W_{\text{г}}^{\text{газ}} = 1030{,}3$ м^3;

– годовое потребление электрической энергии на систему отопления – $Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 28\,368$ кВт·ч/год;

– годовое потребление электрической энергии на ГВС – $Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}} = 8059$ кВт·ч/год.

Экономическая целесообразность выбора источника тепловой энергии включает в себя анализ первоначальных инвестиций и эксплуатационных расходов. Оба этих аспекта играют ключевую роль в принятии решения о переходе на более эффективные и устойчивые источники тепловой энергии. Мы проведем общую экономическую оценку в виде сравнительного анализа, при этом важно провести сравнительный анализ всех доступных источников тепловой энергии, учитывая как первоначальные инвестиции, так и эксплуатационные расходы. Это позволит определить, какой вариант будет наиболее экономически целесообразным в долгосрочной перспективе. Экономическая целесообразность выбора источника тепловой энергии требует комплексного подхода, учитывающего как первоначальные инвестиции, так и эксплуатационные расходы. При правильном анализе и учете всех факторов можно сделать осознанный выбор, который будет не только выгодным, но и экологически устойчивым в долгосрочной перспективе. Основные данные экономического анализа представлены в табл. 1 [1].

Таким образом, наиболее оптимальным источником тепловой энергии является газ, так как он характеризует высокую окупаемость, поскольку экономический анализ дает хороший результат.

1. Основные данные экономического анализа

Технико-экономические показатели	Вид топлива	
	Газ	Электричество
Цена топлива	8003,35 руб./ 1000·м^3	4,9 руб./ (кВт·ч)
$Q_{ГВС}$, кВт	7,72	
$Q_{от}$, кВт	12	
Капиталовложения на ГВС, руб.	58 847	35 757
Капиталовложения на отопление, руб.	107 000	35 757
Годовые затраты на отопление, руб.	39 489	139 003
Годовые затраты на ГВС, руб.	8430	29 283
Период окупаемости ГВС, мес	7,5	
Период окупаемости отопления, мес	6,5	
Чистая приведенная стоимость ГВС при ставке дисконтирования 0,25, руб.	75 091,12	
Чистая приведенная стоимость отопления при ставке дисконтирования 0,25, руб.	26 938,12	
Внутренняя норма рентабельности ГВС, %	44	
Внутренняя норма рентабельности отопления, %	67	

Индивидуальный подход к каждому жилому дому в зависимости от его характеристик и местоположения является ключевым аспектом при выборе системы отопления. Факторы для повышения эффективности систем отопления и ГВС: определение площади и объема помещений поможет рассчитать необходимую мощность системы отопления; степень теплоизоляции; тип окон и их количество; система вентиляции; в зависимости от региона, в котором находится дом, могут быть разные требования к отопительным системам; наличие местных источников энергии (например, газа, электроэнергии, древесины) также влияет на выбор систем.

Индивидуальный подход к выбору систем отопления и ГВС для жилого дома, учитывающий его характеристики и местоположение, поможет не только повысить эффективность систем отопления и ГВС, но и снизить эксплуатационные расходы.

Библиографический список

1. Шкаровский, А. Л. Теплоснабжение : учебник / А. Л. Шкаровский. – 2-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2020. – 392 с.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ НА МНОЖЕСТВЕ СОСТОЯНИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

А. Н. Грибков[1], Н. Г. Буранова[2]

[1]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(*e-mail*: *GribkovAlexey@yandex.ru*)
[2]*Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск, Республика Казахстан*
(*e-mail*: *nurslu_1986@mail.ru*)

В настоящее время системы оптимального управления (СОУ) теплотехнологическими аппаратами находят применение во многих отраслях промышленности. Использование СОУ позволяет не только снизить энерго- и ресурсопотребление, но и повысить качество выпускаемой продукции и производительность теплотехнологических аппаратов, поэтому вопросы разработки таких систем являются весьма актуальными.

При разработке СОУ, как правило, создается алгоритмическое обеспечение, в состав которого включается база знаний, содержащая определенный набор алгоритмов синтеза управляющих воздействий для наиболее вероятных состояний функционирования теплотехнологического аппарата, а также возможные алгоритмы для критических состояний, в которых происходят отказы технических средств. Помимо этого, база знаний СОУ должна обеспечивать решение задачи выбора наиболее оптимального алгоритма синтеза управляющих воздействий в зависимости от текущего состояния функционирования объекта управления [1].

Предлагается алгоритм построения базы знаний СОУ, основанный на совместном применении методов имитационного моделирования, теории планирования эксперимента, теории оптимального управления и искусственного интеллекта, включающий следующие этапы [2].

1. Составление плана эксперимента, в котором варьируемыми переменными являются:

– постановки задач оптимального управления:

$$P_i = < M, F, O >, i = 1, \ldots, N_p,$$

где M – модель динамики теплотехнологического аппарата в виде системы дифференциальных уравнений с разрывной правой частью, для которой в базе знаний СОУ имеются результаты полного анализа задачи оптимального управ-

ления (апериодическое звено; двойной интегратор; реальный двойной интегратор и т.д.); F – вид минимизируемого функционала (затрат энергии; расхода топлива; оптимального быстродействия и др.); O – особенности задачи (наличие ограничений на временной интервал управления; управляющее воздействие; лимит энергии; наличие случайных возмущений и т.д.);

– массивы исходных данных задач оптимального управления, которые в общем случае могут включать следующие компоненты:

$$R_j = \{ A, B, C, D, U_н, U_в, Z_0, Z_к, t_0, t_к, \Sigma_w, \Sigma_v \}, j = 1, \ldots, N_r,$$

где A, B, C, D – матрицы параметров модели динамики объекта; $U_н$, $U_в$ – векторы верхних и нижних граничных значений вектора управляющих воздействий; Z_0, $Z_к$ – векторы начальных и конечных значений вектора фазовых координат; t_0, $t_к$ – границы временного интервала управления; Σ_w, Σ_v – векторы среднеквадратических отклонений компонентов векторов случайных возмущений в каналах управления и измерения (векторы интенсивностей шумов);

– алгоритмы синтеза управляющих воздействий S_k, $k = 1, \ldots, N_s$ (например, могут рассматриваться следующие базовые алгоритмы: с программной стратегией (*PR*); с позиционной стратегией (*PZ*); с оптимальной фильтрацией (*FK*); с прогнозирующей моделью (*PM*); аналитического конструирования (*АК*); на основе нечеткой логики (*FL*); робастного управления (*RB*); адаптивного управления (*AC*) и др.) [1].

Непосредственные значения компонентов, входящих в P_i и R_j, хранятся в базе данных СОУ, а алгоритмы S_k – в базе знаний в виде фреймов.

2. Проведение имитационных (численных) экспериментов, по результатам которых определяются значения функционала и точности достижения цели управления в каждом эксперименте.

3. Сравнение эффективности различных алгоритмов управления по критериям, указанным в предыдущем пункте.

4. Составление таблицы, в которой для конкретных постановок задач и массивов исходных данных указываются наиболее оптимальные алгоритмы синтеза управляющих воздействий.

5. Разработка продукционных правил, включаемых в базу знаний СОУ, по которым осуществляется выбор наиболее оптимального алгоритма синтеза управляющих воздействий для текущего состояния функционирования объекта управления в процессе реальной эксплуатации.

Описанная методика применялась при разработке баз знаний информационно-управляющих систем динамическими режимами вальце-ленточных и барабанных сушильных установок [1].

Библиографический список

1. Грибков, А. Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.
2. Муромцев, Д. Ю. Методика выбора алгоритма синтеза управляющих воздействий многомерным технологическим объектом на множестве состояний функционирования / Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков, В. Н. Шамкин // Информатика и системы управления. – 2017. – № 3(53). – С. 109 – 118.

ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИК СОТОВОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ GSM-МОДУЛЯ

Д. С. Данилов

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *danilovds@student.bmstu.ru*)

В современных условиях растущего спроса на недорогие и надежные системы связи, основанные на существующей инфраструктуре глобальной системы мобильной связи (Global System for Mobile Communications (GSM)), разработка специализированных приемопередатчиков является актуальной задачей. Такие устройства находят применение в системах мониторинга производственных процессов, аварийного оповещения, управления устройствами интернет вещей (Internet of things (IoT)), а также в условиях ограниченного доступа к сетям нового поколения [1]. Предлагаемое устройство обладает функциями приема/отправки текстовых сообщений, а также приема и совершения голосовых звонков, что позволяет использовать его в различных случаях приема и передачи информации.

Электронная ячейка предлагаемого портативного устройства состоит из клавиатуры, выполненной на основе сдвиговых регистров, дисплея, микроконтроллера, flash-памяти, схемы питания [2] и модуля. Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

Клавиатура, выполненная в виде матрицы 4×4, помимо обеспечения ввода текстовых данных, также позволяет настраивать устройство путем манипуляций с содержимым 32 Мбит flash-памяти, а также настройкой режима энергопотребления, жидкокристаллический дисплей отображает текущее состояние

и результаты операций, микроконтроллер координирует взаимодействие всех компонентов. GSM-модуль с подключенным к нему микрофоном и динамиком осуществляет передачу и прием данных, обеспечивая возможность отправки/получения текстовых сообщений и совершения голосовых вызовов. Электронная ячейка помещается в пластиковый корпус из акрилонитрилбутадиен-стирола (АБС), защищающий ее от внешних воздействий [3].

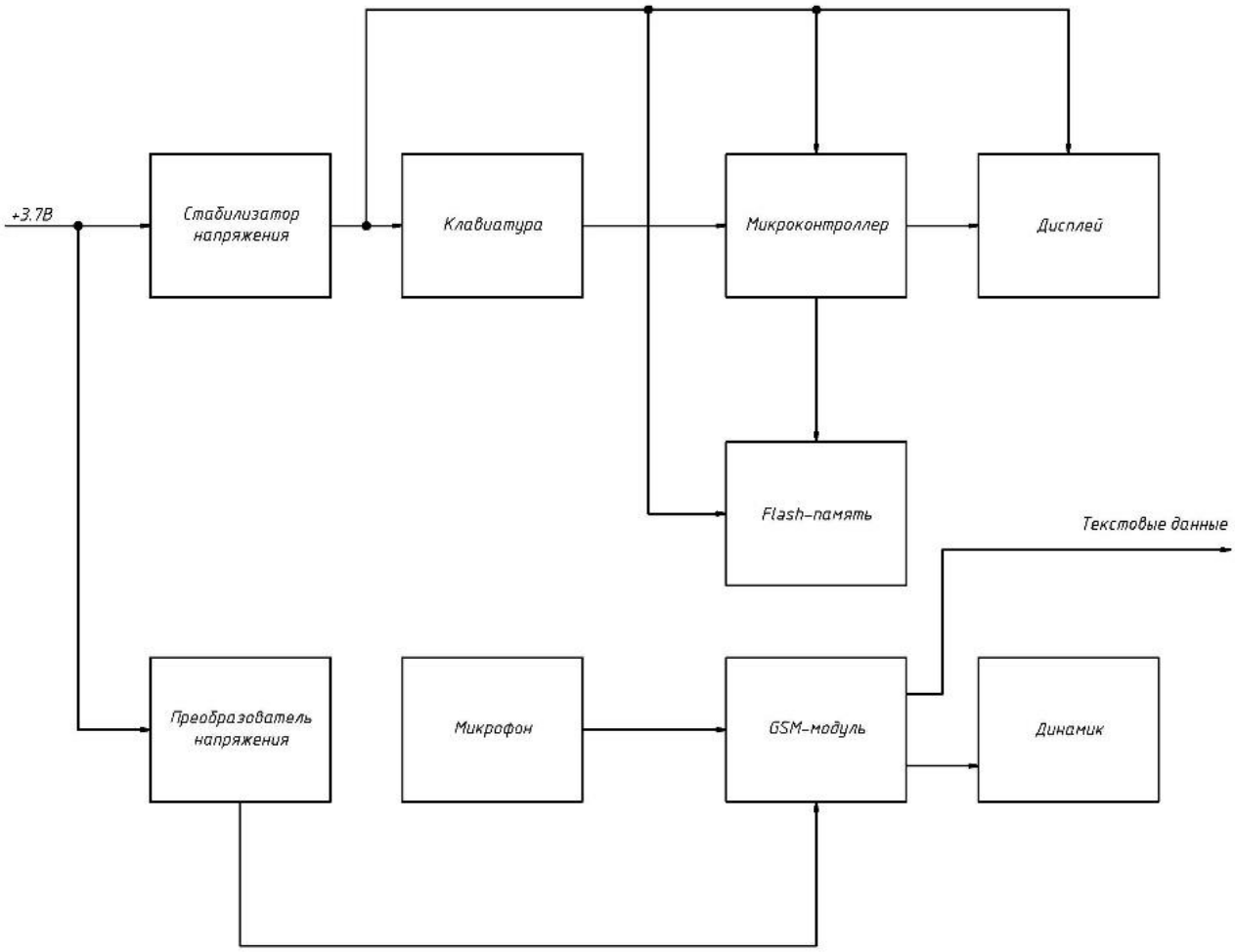


Рис. 2. Структурная схема устройства

Помимо средств непосредственного использования устройства оператором при передаче или приеме информации, устройство также оснащено штыревым разъемом, с помощью которого можно подключаться к внешним устройствам и по универсальному асинхронному протоколу (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)) передавать данные, получаемые с внешних устройств. Таким образом, подключив данное устройство к определенному датчику или системе контроля какого-либо объекта, можно проводить мониторинг работы производственного оборудования, осуществлять аварийное оповещение персонала или проводить контроль производственных процессов с помощью текстовых команд модуля (Attention (AT)).

Библиографический список

1. Адамов, А. П. О новых услугах сетей сотовой связи и проблемах их внедрения в России / А. П. Адамов, А. А. Адамова // Сервис: проблемы и пути развития в условиях рыночной экономики : тез. докл. региональной науч.-практ. конф. – 2005. – С. 9–10.
2. Артемьев, Б. В. Источники электропитания в приборостроении : учебное пособие / Б. В. Артемьев, В. Г. Костиков, В. А. Шахнов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. – 397 с.
3. Камышная, Э. Н. Конструкторско-технологические расчеты электронной аппаратуры : учебное пособие / Э. Н. Камышная, В. В. Маркелов, В. А. Соловьев. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 165 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ БОРТОВЫХ РЕГИСТРАТОРОВ

Х. Т. Дао

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *daohoangtuyen1999@gmail.com*)

Обеспечение безопасности полетов – одна из наиболее актуальных и сложных проблем современной авиации. Безопасность полетов зависит от большого числа различных факторов. Развитие современного воздушного транспорта характеризуется постоянным усложнением авиационной техники, которое диктуется необходимостью повышения эффективности и безопасности эксплуатации воздушных судов (ВС). Безопасность полета ВС обеспечивается целым комплексом работ, проводимых в процессе его проектирования, доводки, испытаний и эксплуатации. Проблема обеспечения безопасности полетов ВС на протяжении всего времени остается проблемой номер один. Исключительно важное значение при расследовании имеет информация бортовых устройств регистрации (БУР), которая позволяет объективно проводить анализ причин авиационных происшествий (АП) с учетом достоверных данных о параметрах движения ВС, работоспособности отдельных систем его планера, оборудования и силовых установок, а также о действиях и переговорах экипажа в полете [1].

Рис. 1. Регистратор полетных данных (Flight Recorder)

В случае возникновения авиационного происшествия или инцидента защита данных в черном ящике гарантирует, что важная информация о работе самолета и записи из кабины сохранятся. Бортовое устройство для защиты микроэлектронного объекта направлено на обеспечение сохранности микроэлектронного регистратора при комплексном воздействии на него внешних разрушающих факторов: механических ударов, перегрузок, вибровоздействий, статических давлений, а также огневых факторов в течение времени воздействия до 1 ч при всестороннем охвате пламенем с температурой до 1100 °С [2]. Некоторые общие меры механической защиты в конструкции черного ящика самолета включают следующее: ударопрочные материалы, несущая конструкция, изоляционные слои, амортизатор, цвет и отражатель. Контейнер для черного ящика содержит разъемный корпус, в котором размещается полетный регистратор, образуя полость для полетного регистратора. Оболочка состоит из нескольких слоев, выполненных из материалов с разными физическими свойствами и способных вакуумировать полости, заполненные жидкостью и газом. На поверхности оболочки могут размещаться дополнительные элементы, повышающие защиту полетного регистратора [3]. Черный ящик изготовлен из ударопрочного материала, такого как титановый сплав типа никелида NiTi или нержавеющая сталь 01Ю5Т. Черный ящик имеет прочную конструкцию с рамой и жесткими стенками, что повышает его способность противостоять суровым воздействиям окружающей среды и авиационным катастрофам. В некоторых случаях черный ящик может быть оснащен амортизатором или амортизирующей рамой, чтобы уменьшить воздействие удара о черный ящик и защитить данные внутри. Черные ящики часто окрашивают в яркие цвета, например в черный, красный или оранжевый, чтобы их было легче идентифицировать и найти после аварии.

Наряду с разработкой технологии проектирования черного ящика для защиты важных данных о самолетах будет проводиться анализ и усовер-

шенствование технологии проектирования черного ящика. Проанализированы технологические факторы, их причины и последствия. Кроме того, при возникновении технических конфликтов будут предложены решения.

Библиографический список

1. Попов, Ю. В. Теоретические и методические основы сохранности информации бортовых устройств регистрации при авиационных происшествиях : учебное пособие / Ю. В. Попов // ФГУ «Государственный центр «Безопасность полетов на воздушном транспорте». – М., 2006.
2. Пат. RU 2 273 895 C1. Бортовое устройство для защиты микроэлектронного объекта / Фурмаков Е. Ф., Петров О. Ф., Маслов Ю. В. – Патентообладатель : Открытое акционерное общество «Техприбор» ; опубл. 10.04.2006.
3. Пат. RU 2 175 628 C2. Контейнер для полетного регистратора / Крупский А. А., Тарасов А. М., Чельдиев М. И. – Патентообладатель : ОАО «Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов имени М. А. Карцева» ; опубл. 10.11.2001.

АНАЛИЗ НОВИНОК В СИСТЕМЕ ОБОГРЕВА НОВОРОЖДЕННОГО

Е. П. Евстигнеева, Т. А. Фролова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *elizavetaevst44@gmail.com*)

При заботе о здоровье и комфорте новорожденных детей особое внимание уделяется поддержанию оптимальной температуры окружающей среды в период адаптации к новым условиям жизни [1 – 3]. Таким важным элементом заботы о малыше является эффективная система обогрева. Современные технологии постоянно совершенствуются и развиваются. Посещение выставки «Здравоохранение-2024», изучение стендов компании Stormoff и специализированной литературы позволило провести обзор новинок оборудования в области обогрева новорожденных [1 – 3].

Быстрый, эффективный и безопасный обогрев новорожденного в целях предупреждения и лечения гипотермии и вызываемых ею осложнений обеспечивается системой обогрева пациента компании «Тахат», республика Беларусь. Детское ложе создает релаксирующий эффект, а водяной матрас имитирует контакт ребенка с теплой кожей матери (рис. 1).

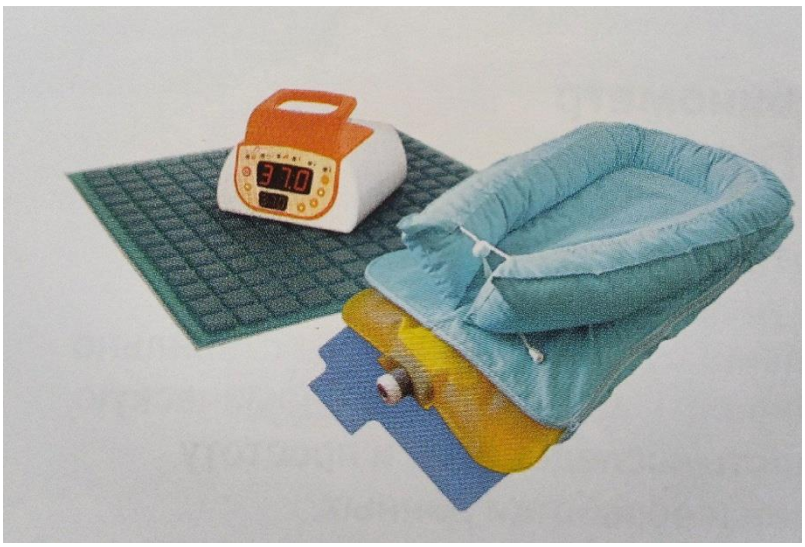


Рис. 1. Система обогрева ребенка

Поддержание заданной температуры обеспечивает 24 часа комфорта телу ребенка. Матрас оснащен функцией, исключающей любой перегрев, благодаря чему защищается кожа от повреждений.

Другим, немало интересным прибором, является лучистое тепло фирмы Dixion (рис. 2). С его помощью создается оптимальная температура окружающей среды и поддерживается температура тела у детей в родильных домах, в кабинетах для новорожденных, процедурных кабинетах и детских поликлиниках.

Рис. 2. Dixion YDW-II

Функциональный источник излучения – керамический обогреватель. Керамический материал является полупроводником, и при подаче на него напряжения мощность быстро снижается по мере достижения определенной температуры. Регулятор температуры обеспечивает комфортную температуру в диапазоне от 20 до 39 °С. Защитная сетка предупреждает касание нагревательного элемента, а изменение угла осветительного блока позволяет подавать тепло в малодоступные места.

Анализ новинок в системе обогрева новорожденного показывает, что технологии стремятся к повышению комфорта, безопасности и эффективности. Использование таких решений помогает создавать оптимальные условия для благополучия и здоровья малышей. При выборе системы обогрева рекомендуется обращать внимание на новейшие технологии и функциональные возможности, чтобы обеспечить высокий уровень заботы о ребенке.

Библиографический список

1. Использование нейроконтроллера и электрохромного остекления в инкубаторах для новорожденных для адаптивной имитации смены дня и ночи / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Медицинская техника. – 2024. – № 4. – С. 14 – 16.

2. Фролов, С. В. Неонатальный мониторинг / С. В. Фролов // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. Восьмой Всерос. молодежной науч. конф., Тамбов, 10 мая 2023 года. – Тамбов, 2023. – С. 332 – 334.

3. Фролов, С. В. Экспериментальная установка для исследования особенностей управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах с использованием гидродинамического фантома новорожденного / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 52 – 59.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИВОДНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М. Д. Злобин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *by6639405467@me.com*)

Несмотря на то, что Россия обладает огромными запасами энергетических ресурсов, проблема обеспечения энергетической безопасности остается актуальной задачей, обусловленной новыми вызовами и угрозами, стоящими перед Россией. Фундаментальные процессы в мировой энергетике и экономике в сочетании с ростом неопределенности и рисками отечественной экономики и энергетики, а также моральным и физическим устареванием основных производственных фондов в российском ТЭК обуславливают необходимость поиска новых решений стратегических задач обеспечения долгосрочной энергетической безопасности России [1].

Особенностью приводных газотурбинных двигателей, применяемых в качестве привода различных механизмов, является наличие свободной силовой турбины, имеющей только газодинамическую связь с газогенератором ГТУ.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема НК-16 СТ, выступающая в качестве объекта исследования.

Принцип расчета НК-16 СТ базируется на термодинамическом анализе, но включает некоторые особенности, связанные с наличием трех валов, каждый из которых приводит в действие отдельные компоненты установки [2].

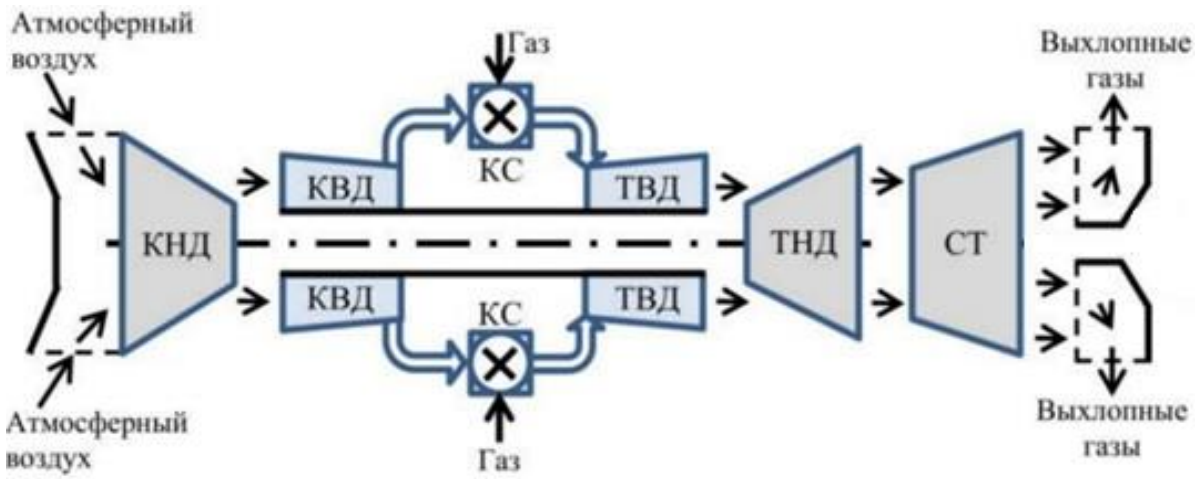


Рис. 1. Принципиальная схема трехвальной ГТУ:
КНД – компрессор низкого давления; КВД – компрессор высокого давления;
КС – камера сгорания; ТВД – турбина высокого давления;
ТНД – турбина низкого давления; СТ – силовая турбина

Принципиальная схема (рис. 1) отличается тем, что она включает две ступени компрессоров и три соответствующие им турбины, что позволяет более эффективно распределять работу между компрессорами и турбинами и достигать большей гибкости и эффективности в работе [3].

Расчет выполнялся в следующей последовательности: расчет удельной работы сжатия воздуха в компрессорах; расчет политропного КПД компрессора; расчет работы турбин; определение температуры на выходе из турбины. В конце расчета определяется эффективная работа и КПД (табл. 1).

1. Результат расчет НК-16 СТ

Величина	Расчетная формула	Единица измерения	Значение
Удельная работа сжатия КНД	$H'_{к1} = c'_{рк1} T_в \left(\pi_{к1}^{\frac{k'-1}{k'}} - 1 \right) \eta_{к1}^{-1}$	кДж/кг	138
Удельная работа сжатия КВД	$H'_{к2} = c'_{рк} T'_{в2} \left(\pi_{к2}^{\frac{k'-1}{k'}} - 1 \right) \eta_{к2}^{-1}$	кДж/кг	183
Коэффициент избытка воздуха	$\alpha_в = \frac{3000 - 0{,}367 T_г}{T_г - T'_{к2}}$	–	5
Степень расширения	$\pi_{т\varepsilon} = \pi_к (1 - \varsigma_{тр})$	–	9,12
Удельная работа расширения турбины КВД	$H_{т1} = H'_{к2} / (\nu_1 \eta_{мех})$	кДж/кг	193
Удельная работа расширения турбины КНД	$H_{т2} = \frac{H'_{к1}}{\nu_2 \eta_{мех}}$	кДж/кг	142
Удельная работа расширения в силовой турбине	$H'_{т3} = c'_{рт3} T_{т3} \left(1 - \pi_{т3}^{\frac{1-k'}{k'}} \right) \eta_{т3}$	кДж/кг	130
Температура продуктов сгорания за силовой турбиной	$T'_{т3} = T'_{т2} - \frac{H_{т3}}{c'_{рт3}}$	К	696
Удельная полезная работа	$H_е = H'_{т3} \nu_3 \eta_{мех}$	кДж/кг	128
Количество теплоты, подведенное к камере сгорания	$Q_{кс} = \frac{c'_{ркс} T_г (1 - q_{охл})}{\eta_{кс}} - Q_в$	кДж/(кг·К)	577
Эффективный КПД	$\eta_е = H_е / Q_{кс}$	–	0,22
Расход воздуха	$G_в = N_е / (H_е \nu_3)$	кг/с	123

По результатам теплового расчета НК-16 СТ установлено, что при использовании двигателя для выработки электрической энергии эффективный КПД составит 22%.

Библиографический список

1. Чубаров, Р. Ю. Перспективы развития когенерации в России / Р. Ю. Чубаров, О. Н. Попов // Энергосбережение и эффективность в технических системах. – Тамбов, 2021. – С. 154–155.

2. Злобин, М. Д. Оценка эффективности применения газотурбинной установки НК-16СТ / М. Д. Злобин, Р. Ю. Чубаров, О. Н. Попов // Энергосбережение и эффективность в технических системах. – Тамбов, 2021. – С. 117–118.

3. Чубаров, Р. Ю. Влияние степени повышения давления на эффективность ГТУ / Р. Ю. Чубаров, О. Н. Попов // Цифровая трансформация в энергетике. – Тамбов, 2022. – С. 9–10.

ПАРОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ГАЗОПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

М. Д. Злобин, О. Н. Попов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *by6639405467@me.com*)

В настоящее время в энергетических системах активно применяются двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Совершенствование технологических процессов для подобных установок зачастую идет по пути создания когенерационных систем по образу парогазовых установок [1, 2].

В статье рассматривается технология производства электроэнергии на основе ДВС и паровой турбины, которые связаны единым процессом (рис. 1).

Отработавшие газы (ОГ) газопоршневых двигателей *1*, прежде чем удалиться в атмосферу, проходят через котел-утилизатор *5*, в котором производится перегретый пар (П) путем нагрева питательной воды (ПВ).

Перегретый пар из котла-утилизатора (КУ) поступает в паровую турбину *6*, по средствам которой вырабатывается электроэнергия без дополнительного расхода топлива, что существенно повышает электрический КПД электростанции. Далее отработанный пар поступает в конденсатор *7*. Образовавшийся конденсат (К) с помощью конденсатного насоса *8* поступает в КУ. Охлаждение отработавших газов в КУ до 100 °С достигается за счет применения газового подогревателя конденсата (ГПК). После ГПК конденсат направляется в деаэратор *10*. Питательная вода из деаэратора направляется на вход водяного экономайзера (ЭК), где нагреваясь до температуры насыще-

ния, поступает в барабан (Б). Из барабана вода поступает в испарительный контур (ИСП), где нагревается и превращается в насыщенный пар. Образовавшийся насыщенный пар возвращается в барабан, где сепарируется и направляется в пароперегреватель (ПП), где за счет теплоты отработавших газов превращается в перегретый пар.

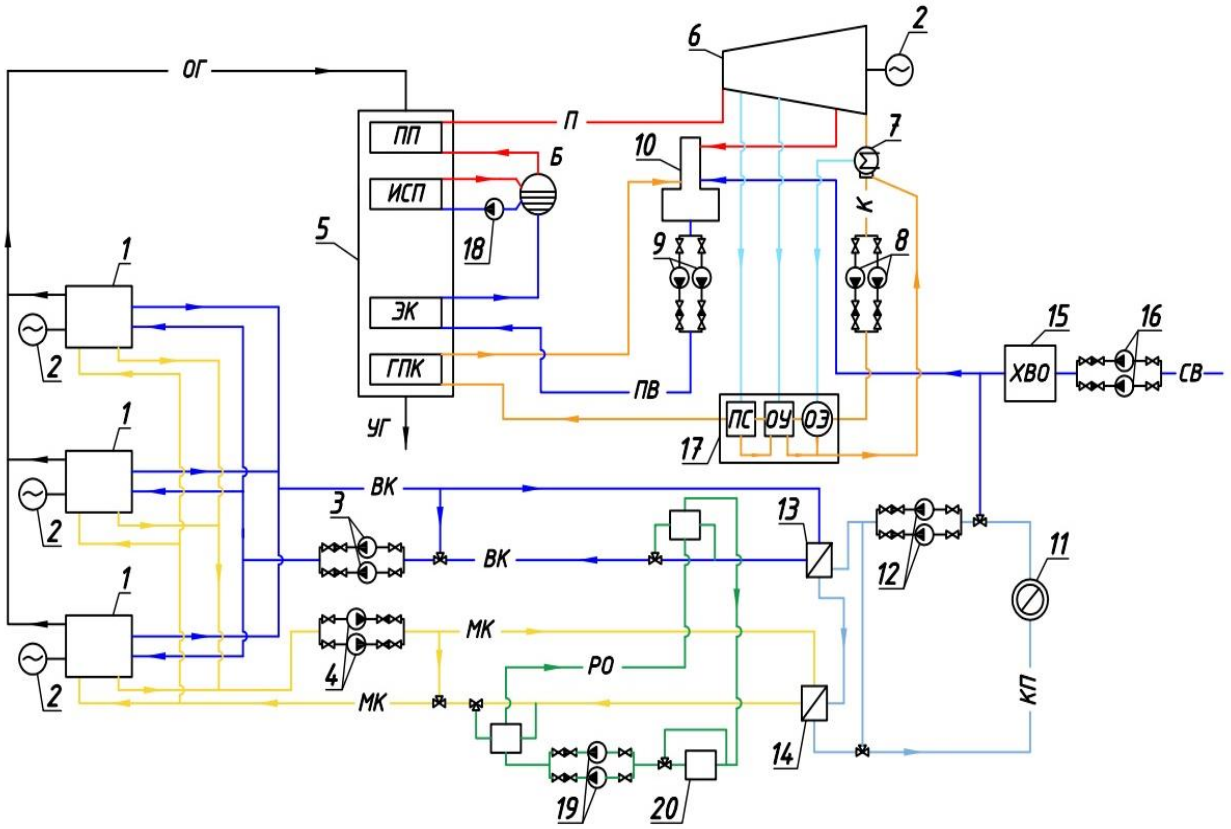


Рис. 1. Принципиальная схема парогазовой установки на основе газопоршневого двигателя:

1 – газопоршневые двигатели; *2* – электрогенератор; *3, 4, 18, 19* – циркуляционные насосы; *5* – котел-утилизатор; *6* – паровая турбина; *7* – конденсатор; *8* – конденсатный насос; *9* – насос питательной воды; *10* – деаэратор; *11* – потребитель; *12* – сетевой насос; *13, 14* – теплообменные аппараты; *15* – химводоочистка; 16 – насос сырой воды; *17* – система подогрева основного конденсата; *20* – чиллер; КП – контур потребителя; СВ – сырая вода; УГ – уходящие газы

Для исключения попадания входных труб ГПК в зону «точки росы» температура конденсата на входе в КУ должна составлять 55…60 °С. Для подогрева конденсата используются вспомогательные теплообменные аппараты (охладитель пара основного эжектора (ОЭ), охладитель пара эжектора уплотнений (ОУ), сальниковый подогреватель (ПС)). Если температура конденсата на выходе из сальникового подогревателя превышает допустимую величину, то включается линия рециркуляции.

В процессе работы двигателей образуется отходящее тепло, источниками которого являются контуры (водяной (ВК) и масляный (МК)) систем охлаждения двигателей, отводящие тепло от деталей двигателя, турбокомпрессора, наддувного воздуха и масла. Жидкости, циркулирующие в водяном и масляном контурах, нагревают теплоноситель системы теплоснабжения в теплообменниках *13*, *14*. Циркуляция в контурах охлаждения осуществляется с помощью насосов *3*, *4*.

В схеме предусмотрен резервный контур охлаждения (РО), представляющий собой комплекс тепломеханического оборудования, утилизирующий избыточную теплоту водяного и масляного контуров двигателей.

Представлен способ генерации энергии на основе газопоршневых двигателей и паровой турбины, объединенных единым технологическим процессом, в котором цикл ДВС занимает область высоких температур, а цикл Ренкина – низких.

Библиографический список

1. Щинников, П. А. Комбинированная мини-ТЭС на базе газопоршневой установки и паровой турбины / П. А. Щинников, Н. В. Марасанов // Известия высших учебных заведений. – 2016. – № 11-12. – С. 10 – 17.

2. Рыжов, В. В. Комбинированная мини-ТЭС на базе газопоршневой установки и паровой турбины / В. В. Рыжов, М. Д. Злобин, В. В. Попов // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Пятой Междунар. науч. конф. – Тамбов, 2023. – С. 35 – 37.

ПРИМЕНЕНИЕ RTL-SDR-РАДИОПРИЕМНИКА С КВАДРИФИЛЯРНОЙ СПИРАЛЬНОЙ АНТЕННОЙ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ МЕТЕОСПУТНИКОВ

А. И. Иванин, Р. Ю. Курносов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *ivanin-3@yandex.ru*; *romankurnosov@yandex.ru*)

В период развития цифровых технологий и возрастающей потребности в эффективном управлении ресурсами вопросы энергоэффективности и энергосбережения становятся ключевыми факторами при проектировании и внедрении новых технических решений. В этой связи особое значение приобретает применение высокотехнологичных инструментов, способных обеспечить высокий уровень производительности при минимальных затратах энергии. Совре-

менные методы беспроводной связи предъявляют высокие требования к качеству приема и обработки сигналов. С учетом постоянного роста числа пользователей и увеличения объема передаваемых данных, вопросы обеспечения надежности и точности передачи информации становятся критически важными задачами. Традиционные подходы к обработке сигналов не всегда способны решить такие задачи, поэтому необходимы инновационные решения, способные обеспечить высокую производительность и стабильность работы в сложных условиях. Одним из таких решений является применение радиоприемников на базе RTL-SDR (Software Defined Radio) и специализированных антенн, например, применение квадрифилярной спиральной антенны (КСА). RTL-SDR (программно-определяемая радиоплатформа) представляет собой универсальный радиоприемник, созданный на базе чипов DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial), который позволяет принимать широкий диапазон радиочастот (от 500 кГц до 1,7 ГГц) и обрабатывать сигналы в цифровом виде [1]. За счет применения цифровых методов обработки сигналов, которые требуют меньше мощности, современные RTL-SDR-приемники потребляют относительно мало электроэнергии по сравнению с традиционными радиоприемниками, что делает их энергоэффективными. Программное обеспечение для таких типов приемников дает возможность демодуляции и анализа полученных сигналов, а автоматизированное управление режимами работы радиоприемных устройств снижает энергопотребление в периоды простоя. Обобщенная структурная схема программно-определяемой радиопларформы с подключением КСА представлена на рис. 1.

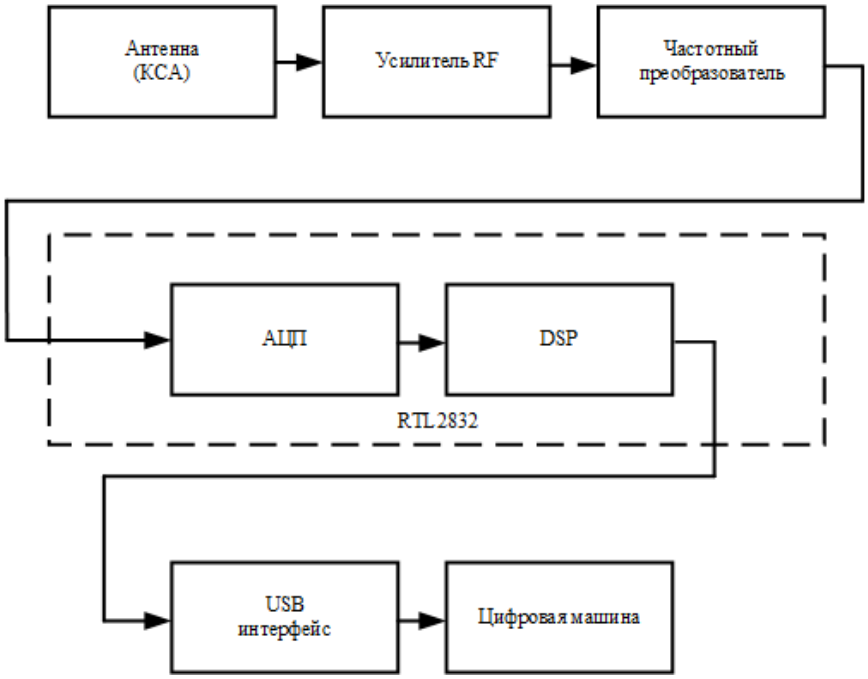


Рис. 1. Обобщенная структурная схема программно-определяемой радиопларформы с подключением КСА

В данной статье в качестве устройства для приема радиоволн рассматривается КСА, состоящая из четырех излучателей на частоте 1,7 ГГц. Применение такого типа антенны позволяет повысить качество принимаемого сигнала без увеличения энергозатрат, обладая при этом высокой направленностью и стабильным коэффициентом усиления, что снижает необходимость в усилителях сигнала. Антенна состоит из двух рамок, повернутых друг относительно друга на 90°, обеспечивая круговую поляризацию и усиление сигнала на 4…5 дБ [2]. Радиочастотный усилитель (RF) увеличивает мощность принимаемого сигнала, улучшая соотношение сигнал/шум. Частотный преобразователь переводит высокочастотные сигналы в более низкие частоты для дальнейшей обработки в целях преобразования частотного диапазона и соответствия сигнала рабочей частоте приемника. Усиленный сигнал, пройдя через частотный преобразователь, выводит его на блок аналого-цифрового преобразования. Далее АЦП преобразует сигнал в цифровое представление, которое отправляется на блок DSP для его обработки. Модуль DSP является основным элементом для извлечения полезной информации из принятого сигнала, выполняя функции фильтрации, демодуляции и декодирования. USB-интерфейс позволяет подключить RTL-SDR к компьютеру для передачи цифровых данных, который может служить в качестве оконечного устройства.

Таким образом система, на основе программно-определяемой платформы RTL-SDR и квадрифилярной спиральной антенны представляет собой современное эффективное решение и надежный инструмент для приема и цифровой обработки сигналов с метеоспутников, отвечает высоким стандартам качества и энергоэффективности.

Библиографический список

1. Фрейман, В. И. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие / В. И. Фрейман // Лань: электронно-библиотечная система. – Пермь : ПНИПУ, 2021. – 114 с. – URL : https://e.lanbook.com/book/239828

2. Синтез квадрифилярного излучателя для радиолокационных станций аэрологического зондирования / М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, А. Ю. Дмитриевцев, М. М. Кирюпин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 345 – 355.

ШИРОКОПОЛОСНАЯ НАПРАВЛЕННАЯ АНТЕННА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

А. А. Иванков[1], Д. С. Попова[2]

[1]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(*e-mail*: *ivankov.a.a@bk.ru*)
[2]*Тамбовский государственный унивеситет им. Г. Р. Державина, Тамбов, Россия*
(*e-mail*: *popova06_02@mail.ru*)

Одним из способов повышения экономической эффективности объектов теплоэнергетического комплекса является внедрение энергоэффективных автоматизированных систем теплогенерации, водозабора, водоподготовки и др., работающих без постоянного присутствия персонала. Контроль и управление такими объектами осуществляется с использованием радиоканалов дистанционной передачи данных. В настоящее время в системах автоматики широко внедряются каналы управления на основе технологии LoRa, действующей в диапазоне 868 МГц [1]. Для устойчивой работы цифровых каналов передачи данных необходима разработка высокоэффективных широкополосных антенн направленного действия для диапазона 800…900 МГц. Линейные антенны, удовлетворяющие указанным критериям, имеют ряд существенных недостатков – значительные размеры и довольно сложную конструкцию, что не всегда приемлемо для современных компактных автоматизированных систем. Эти недостатки отсутствуют у спиральной антенны, которая обладает большой широкополосностью и позволяет получить приемлемые направленные свойства при компактных размерах.

Произведем расчет цилиндрической спиральной антенны (ЦСА) для заданных технических условий по методике, изложенной в работе [2].

Расчету подлежат ее геометрические характеристики, которые представлены на рис. 1.

Для повышения коэффициента направленного действия (КНД) необходимо выбрать режим осевого излучения, для которого должны выполняться условия: $n > 4$, а $2\pi a \approx \lambda$ [2]. Выберем максимальное рекомендуемое количество витков $n = 8$.

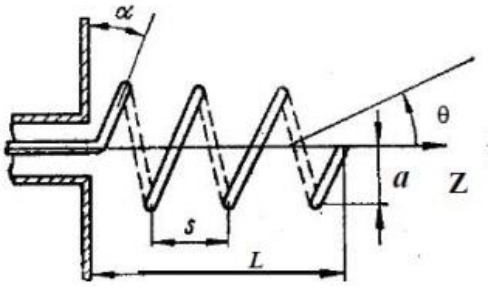


Рис. 1. Цилиндрическая спиральная антенна:
L – осевая длина антенны; l_1 – длина одного витка; α – угол намотки; a – радиус спирали; s – шаг намотки спирали; D – диаметр экрана; θ – ширина диаграммы направленности

Определим среднее значение длины волны $\lambda_{ср}$ для заданного диапазона:

$$\lambda_{ср} = \frac{\lambda_{max} + \lambda_{min}}{2} = 0{,}35,\ м, \quad (1)$$

где

$$\lambda_{min} = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{8 \cdot 10^8} = 0{,}37,\ м; \quad (2)$$

$$\lambda_{max} = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{9 \cdot 10^8} = 0{,}33,\ м. \quad (3)$$

Тогда $a = \frac{\lambda_{ср}}{2\pi}$ = 0,056 м.

В режиме осевого излучения вдоль оси ЦСА распространяется замедленная волна. Это происходит при условии, что вдоль витка спирали укладывается одна длина волны, т.е.

$$l_1 = 2\pi a = \lambda_{ср}. \quad (4)$$

Угол намотки для выбранного режима лежит в пределах α = 12…15°.

Осевой режим сохраняется при условии [2]:

$$\frac{\cos\alpha}{1+\sin\alpha} \le ka \le \frac{\cos\alpha}{1-\sin\alpha}, \quad (5)$$

что гарантированно выполняется при α = 12°. Шаг намотки рассчитывается по формуле

$$s = 2\pi a \cdot \sin\alpha \approx 0{,}2\lambda_{ср} = 0{,}07,\ м. \quad (6)$$

Длина антенны $L = ns$ = 0,56 м. Диаметр экрана D = 0,7…0,9$\lambda_{ср}$ ≈ 0,25 м.

При этом энергетические характеристики полученной антенны будут следующими [2]:

– ширина диаграммы направленности вдоль оси ЦСА

$$2\theta_{0,5} = 85\sqrt{\frac{\lambda}{L}} = 53°; \quad (7)$$

– коэффициент направленного действия

$$D_0 = 15\left(\frac{l_1}{\lambda}\right)^2 \frac{L}{\lambda} = 24. \quad (8)$$

Библиографический список

1. Свидетельство о регистрации ноу-хау № 2022-0004 от 18.10.2022. Система автоматики водозаборных скважин на основе беспроводного помехоустойчивого канала связи / И. И. Пасечников, А. В. Воспитанюк, А. С. Волков, А. С. Назаров, М. Ф. Гасанов, В. В. Тарасов, Д. С. Нахтигал, К. С. Дунаев, М. В. Тарасов, А. М. Поздняков ; ФГБОУ ВО «ТГУ им. Г. Р. Державина».

2. 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», 2014. – 240 с.

ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Иванов, А. В. Иванов

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

Введение. При разработке информационно-измерительных систем для определения координат и параметров движения подвижных объектов, когда сигналы датчиков, устройств и систем, входящих в их состав, являются случайными функциями времени, используются методы оценивания случайных процессов. Использование этих методов для разработки алгоритмов обработки информации в информационно-измерительных системах предполагает выполнение нескольких этапов, а именно [1]:

– выполнение постановки задачи;

– синтез алгоритмов обработки информации и разработка на их основе практически реализуемых алгоритмов;

– разработка структурной схемы информационно-измерительной системы на основе разработанных алгоритмов;

– анализ качества (точности, помехоустойчивости) разработанной информационно-измерительной системы, а также оценка чувствительности к отклонению исходных данных от заданных значений.

Рассмотрим постановку задачи на разработку системы оценивания псевдодальности на выходе следящей системы в аппаратуре приема сигналов спутниковых радионавигационных систем. Пусть подлежащий оцениванию вектор состояния $\mathbf{X}(t_k) = [D(t_k), V(t_k)]^T$ включает две компоненты, псевдодальность и псевдоскорость, и описывается разностным векторно-матричным стохастическим уравнением

$$\mathbf{X}(t_{k+1}) = \mathbf{\Phi}_{xx}(t_{k+1}, t_k)\mathbf{X}(t_k) + \mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1}, t_k)\mathbf{N}_x(t_k), \qquad (1)$$

где $\mathbf{\Phi}_{xx}$ – фундаментальная матрица; $\mathbf{N}_x(t_k)$ – вектор формирующих стандартных гауссовских случайных величин; $\mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1}, t_k)$ – переходная матрица возмущения. Наблюдение $\Xi(t_{k+1}) = \xi(t_{k+1})$ включает сигнал на выходе следящей системы за псевдодальностью и в дискретные моменты времени t_{k+1}, $k = 0, 1, 2, ...,$ описывается выражением

$$\Xi(t_{k+1}) = \mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{X}(t_{k+1}) + \theta(t_{k+1})\Phi_{yy}(t_{k+1}) + \Gamma_{\Xi}(t_{k+1})\mathrm{N}_{\Xi}(t_{k+1})], \qquad (2)$$

где $\mathbf{H}(t_{k+1})$ – вектор наблюдения; $\theta(t_{k+1})$ – случайный дискретный параметр, принимающий одно из значений $\theta_j(t_{k+1})$, $j = \overline{1, r}$; $\Phi_{yy}(t_{k+1})$ некоторая постоянная; $\mathrm{N}_{\Xi\Gamma}(t_{k+1}) = n_{\xi}(t_{k+1})$ – шум наблюдения; $\Gamma_{\Xi}(t_{k+1}) = \sigma_{\xi}$ – среднеквадратическая ошибка шума наблюдения.

При наблюдении процесса (2) решение задачи идентификации и адаптивного оценивания получается на основе использования вектора совместных апостериорных распределений $\mathbf{P}\left[t_{k+1}, \mathbf{X}(t_{k+1}), \boldsymbol{\theta}(t_{k+1}), \Xi(t_{k+1}) \middle| \Xi^{t_k}\right]$, который может быть найден согласно рекуррентному уравнению Стратоновича. Важную роль в этом уравнении играет плотность вероятности перехода $\pi_1[\mathbf{X}(t_{k+1}), \Xi(t_{k+1}) | \mathbf{X}(t_k), \theta(t_k), \Xi(t_k)]$. Для ее определения из процессов $\mathbf{X}$ и Ξ образуем совместный условный по параметру θ процесс $\mathbf{Z}_1^T = [\mathbf{X}^T \Xi | \theta]$, который в соответствии с соотношениями (1), (2) можно записать в виде разностного уравнения

$$\mathbf{Z}_1(t_{k+1}) = \mathbf{\Phi}_{zz}(t_{k+1}, t_k)\mathbf{Z}_1(t_k) + \mathbf{\Phi}_{zvj}(t_{k+1})\theta(t_{k+1}) + \mathbf{\Gamma}_z(t_{k+1}, t_k)\mathbf{N}_z(t_k), \qquad (3)$$

где $\mathbf{\Phi}_{zz}(t_{k+1}, t_k) = [\mathbf{\Phi}_{zx}(t_{k+1}, t_k) \vdots \mathbf{\Phi}_{z\Xi}(t_{k+1}, t_k)]$, $\mathbf{\Phi}_{zx}(t_{k+1}, t_k) = \begin{bmatrix} \mathbf{\Phi}_{xx}(t_{k+1}, t_k) \\ \mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{\Phi}_{xx}(t_{k+1}, t_k) \end{bmatrix}$;

$\mathbf{\Phi}_{z\Xi}(t_{k+1}, t_k) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$, $\mathbf{\Phi}_{zv}(t_{k+1}) = \begin{bmatrix} 0 \\ \Phi_{yy}(t_{k+1}) \end{bmatrix}$, $\mathbf{\Gamma}_z(t_{k+1}, t_k) = \begin{bmatrix} \mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1}, t_k) & 0 \\ \mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1}, t_k) & \Gamma_{\Xi}(t_{k+1}) \end{bmatrix}$;

$\mathbf{N}_z^T(t_{k+1}) = [\mathbf{N}_x^T(t_k)\, \mathrm{N}_{\Xi}(t_{k+1})]$.

Так как случайные дискретные процессы $\mathbf{X}$ и Ξ являются гауссовскими, то условная матрица плотности вероятности перехода $\pi_1[\mathbf{X}(t_{k+1}), \Xi(t_{k+1}) | \mathbf{X}(t_k), \theta(t_k), \Xi(t_k)]$ будет диагональная размером $(r \times r)$ с элементами $\pi_{1jj}[\mathbf{X}(t_{k+1}), \Xi(t_{k+1}) | \mathbf{X}(t_k), \theta_j(t_k), \Xi(t_k)]$, $j = \overline{1, r}$, которые также являются гауссовскими

$$\pi_{1jj}\left[\mathbf{X}(t_{k+1}),\ \Xi(t_{k+1})\middle|\mathbf{X}(t_k),\ \theta_j(t_k),\Xi(t_k)\right]=\mathrm{N}\left\{\mathbf{Z}_1(t_{k+1})-\mathbf{M}_{Z_j}(t_{k+1});\ \mathbf{B}_{ZZ}(t_{k+1})\right\},\ j=\overline{1,r},$$

где $\mathbf{M}_{Z_j}(t_{k+1})$ – вектор математического ожидания; $\mathbf{B}_{ZZ}(t_{k+1})$ – матрица центральных моментов второго порядка.

Для определения вектора математического ожидания $\mathbf{M}_{Z_j}(t_{k+1})$ выполним осреднение выражения (3). В результате получим

$$\mathbf{M}_{Z_j}(t_{k+1})=M\left\{\mathbf{Z}_1(t_{k+1})\right\}=\begin{bmatrix}\mathbf{\Phi}_{xx}(t_{k+1},t_k)\mathbf{X}(t_k)\\ \mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{\Phi}_{xx}(t_{k+1},t_k)\mathbf{X}(t_k)+\theta_j(t_{k+1})\Phi_{yy}(t_{k+1})\end{bmatrix}.$$

Для определения матрицы центральных моментов второго порядка $\mathbf{B}_{ZZ}(t_{k+1})$ выполним осреднение выражения $\mathbf{Z}_1(t_{k+1})\mathbf{Z}_1^T(t_{k+1})$. В результате получим

$$\mathbf{B}_{ZZ}(t_{k+1})=M\left\{\mathbf{Z}_1(t_{k+1})\mathbf{Z}_1^T(t_{k+1})\right\}=\begin{bmatrix}\mathbf{B}_{xx}(t_{k+1}) & \mathbf{B}_{x\Xi}(t_{k+1})\\ \mathbf{B}_{\Xi x}(t_{k+1}) & \mathbf{B}_{\Xi\Xi}(t_{k+1})\end{bmatrix},$$

где $\mathbf{B}_{ZZ}(t_{k+1})$ – блочная матрица с элементами:
$\mathbf{B}_{xx}(t_{k+1})=\mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1},t_k)\mathbf{\Gamma}_{xx}^T(t_{k+1},t_k)$, $\mathbf{B}_{x\Xi}(t_{k+1})=\mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1},t_k)\mathbf{\Gamma}_{xx}^T(t_{k+1},t_k)\mathbf{H}^T(t_{k+1})$;
$\mathbf{B}_{\Xi x}(t_{k+1})=\mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1},t_k)\mathbf{\Gamma}_{xx}^T(t_{k+1},t_k)$;
$\mathbf{B}_{\Xi\Xi}(t_{k+1})=\mathbf{H}(t_{k+1})\mathbf{\Gamma}_{xx}(t_{k+1},t_k)\mathbf{\Gamma}_{xx}^T(t_{k+1},t_k)\mathbf{H}^T(t_{k+1})+\Gamma_{\Xi}^2(\mathrm{t}_{\mathrm{k+1}})$.

Библиографический список

1. Иванов, А. В. Обработка многомерных сигналов. Нелинейная многомерная обработка сигналов спутниковых радионавигационных систем в комплексах самолетовождения / А. В. Иванов. – М. : Радиотехника, 2012. – 176 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ НА АММИАЧНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТАХ

К. С. Комбаров,
научный руководитель: канд. техн. наук И. В. Рогов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *kombarov.kirill2017@yandex.ru*)

Проблемы снижения потребления предприятиями тепловой и электрической энергии, повышения КПД промышленных установок и улучшения экологической обстановки весьма актуальны. Одним из рациональных решений

является возврат части теплоты, выделяемого в технологических процессах, в производственный цикл.

Для холодильных установок целесообразно отводить теплоту от охлаждаемой среды посредством нагрева теплоносителя и далее отпускать ее на технологические или коммунально-бытовые нужды [1].

На рисунке 1 изображена схема верхней ветви каскада холодильной установки на аммиачных компрессорных агрегатах с утилизацией теплоты.

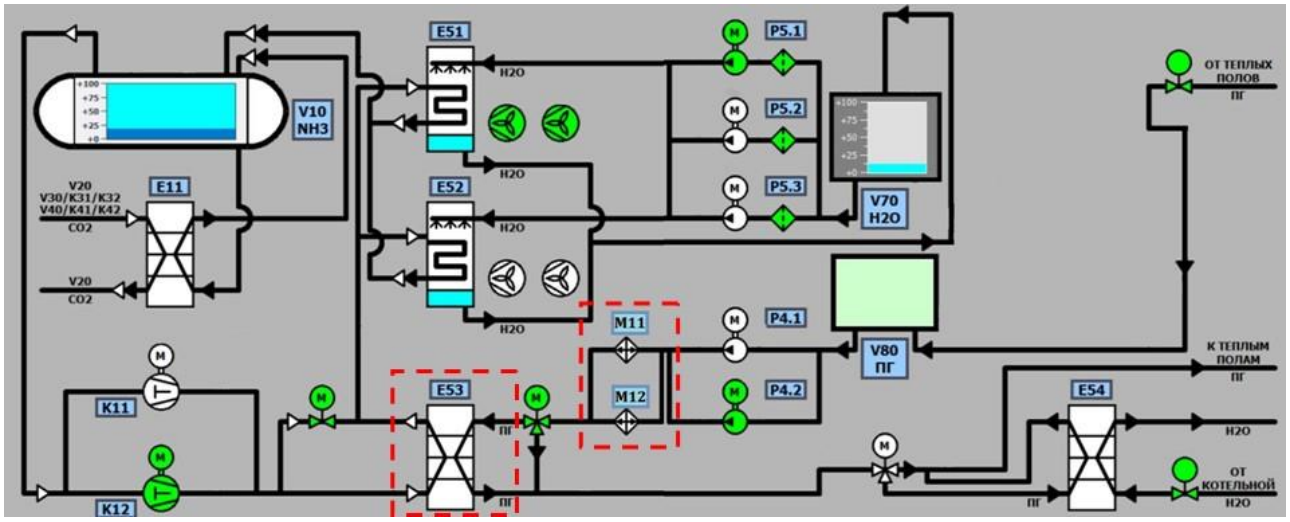


Рис. 1. Схема верхней ветви каскада холодильной установки с утилизацией теплоты:

К11, К12 – компрессорные агрегаты; Е51, Е52 – испарительные конденсаторы; Е53 – форконденсатор; Е54 – теплообменник; V10 – отделитель жидкости; Е11 – испаритель-конденсатор; М11, М12 – маслоохладители компрессорных агрегатов; V70 – емкость с водой; V80 – буферный бак с теплоносителем; Р4.1, Р4.2 – насосы теплоносителя; Р5.1, Р5.2, Р5.3 – водяные насосы

На данной схеме реализована система утилизации теплоты от масла компрессорных агрегатов, а также теплоты горячего аммиака с линии нагнетания холодильных агрегатов путем нагрева пропиленгликоля, циркулирующего в системе теплых полов производственного корпуса.

Схема утилизации теплоты включает маслоохладители холодильных агрегатов М11 и М12 и форконденсатор Е53.

Количество теплоты, необходимое для подогрева теплоносителя горячей водой в теплообменнике Е54 без системы утилизации теплоты, находят из уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{т}} = G_{\text{т}} c_{\text{т}} (t_2 - t_1), \qquad (1)$$

где $G_{\text{т}}$ – расход теплоносителя, $G_{\text{т}}$ = 10,6 кг/с; $c_{\text{т}}$ – удельная теплоемкость теплоносителя (водного раствора пропиленгликоля), $c_{\text{т}}$ = 3,6 кДж/(кг·К); t_1 – темпера-

тура теплоносителя на входе в теплообменник Е54, t_1 = 25 °С; t_2 – температура теплоносителя на выходе из теплообменника Е54, t_2 = 50 °С.

Тогда количество теплоты, необходимое для подогрева теплоносителя в теплообменнике Е54, без системы утилизации теплоты по уравнению (1), составит

$$Q_{\text{т}} = 10{,}6 \cdot 3{,}6 \cdot (50 - 25) = 954 \text{ кВт}.$$

Количество теплоты, необходимое для подогрева теплоносителя горячей водой в теплообменнике Е54, с учетом системы утилизации теплоты находят из уравнения теплового баланса:

$$Q'_{\text{т}} = G_{\text{т}} c_{\text{т}} (t_6 - t_1). \quad (2)$$

Температуру теплоносителя на выходе из форконденсатора Е53 находят из уравнений тепловых балансов:

$$G_{\text{NH}_3} c_{\text{NH}_3} (t_7 - t_8) = G_{\text{т}} c_{\text{т}} (t_6 - t_5), \quad (3)$$

где t_5 – температура теплоносителя после маслоохладителей на входе в форконденсатор Е53, t_5 = 35 °С; t_6 – температура теплоносителя на выходе из форконденсатора Е53; G_{NH_3} – расход аммиака, G_{NH_3} = 4,18 кг/с; c_{NH_3} – удельная теплоемкость аммиака в парообразном состоянии, c_{NH_3} = 2,136 кДж/(кг·К); t_7 – температура аммиака на входе в форконденсатор Е53, t_7 = 70 °С; t_8 – температура аммиака на выходе из форконденсатора Е53, t_8 = 40 °С.

Подставив значения величин в уравнения (3) и (2), получим:

$$4{,}18 \cdot 2{,}136 \cdot (70 - 40) = 10{,}6 \cdot 3{,}6 \cdot (t_6 - 35), \quad t_6 = 42\,°\text{C},$$

$$Q'_{\text{т}} = 10{,}6 \cdot 3{,}6 \cdot (42 - 25) = 649 \text{ кВт}.$$

Экономия теплоты при использовании системы утилизации составит

$$\Delta Q = Q_{\text{т}} - Q'_{\text{т}} = 954 - 649 = 305 \text{ кВт}.$$

Расчет был произведен для реальной установки с тепловой нагрузкой на отопление при расчетных параметрах наружного воздуха для г. Тамбова.

Таким образом, приведенный расчет показывает, что использование систем утилизации низкопотенциальной теплоты холодильной установки на аммиачных компрессорных агрегатах позволяет существенно снизить затраты теплоты на отопление.

Библиографический список

1. Анализ эффективности теплонасосной системы утилизации теплоты от компрессорной установки с учетом взаимного влияния эксплуатационных характеристик оборудования / А. Н. Ганжа, Э. Г. Братута, О. В. Круглякова и др. // Энергосбережение. – 2013. – Вып. № 5(111). – С. 14 – 18.

КОПЛАНАРНЫЕ СВЧ-ВОЛНОВОДЫ С НИЗКИМИ ОТРАЖЕНИЯМИ

И. С. Коробенко

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *korobenkois@student.bmstu.ru*)

В современной энергетике методы неразрушающего контроля с использованием СВЧ-сигналов применяются для детектирования дефектов. Генератор посылает сигнал, и приемник фиксирует отраженное излучение, что позволяет выявлять коррозию, трещины и утонение стенок металлоконструкций трубопроводов и теплообменников благодаря высокой разрешающей способности микрометровых волн.

Для реализации таких систем используются волноводы, в том числе печатные, обеспечивающие высокую степень интеграции. Особо эффективны копланарные волноводы – трехпроводные линии передачи, выполненные в виде двух параллельных щелей в металлическом слое на диэлектрической подложке.

Таким образом, возникает необходимость проектирования таких линий передач с низкими отражениями. Для эффективного решения задачи недостаточно использовать только аналитические методы. В современных САПР имеется возможность создать модель линии передачи, максимально приближенной к реальному волноводу: ведется учет потерь коаксиально-копланарного перехода, шероховатостей и протрава меди, потерь на рассеяние в диэлектрике и прочих факторов.

На рисунке 1 представлена полученная модель копланарного СВЧ-волновода на основе диэлектрика FR-4 толщиной 0,5 мм. Линия передачи состоит из SMA-разъемов, диэлектрического основания, медной фольги толщиной 35 мкм и переходных отверстий диаметром 0,4 мм, расположенных вдоль копланарной линии передачи и предотвращающих утечку энергии из волновода. Также установлены границы моделирования в виде воздушного параллелепипеда. САПР Ansys HFSS использует метод конечных элементов для расчета параметров электромагнитного поля в каждом элементе с использованием уравнений Максвелла. Результатом моделирования могут служить графические зависимости от частоты, среди которых коэффициент стоячей волны (КСВН), S-параметры, фаза СВЧ-сигнала и др.

График коэффициента отражения (параметр S11), не превышающего 20 дБ в диапазоне от 1 до 10 ГГц, изображен на рис. 2. Такая линия обеспечивает высокую степень передачи СВЧ-излучения между частями установки, что позволит достичь высокой точности измерения дефектов при неразрушающем контроле.

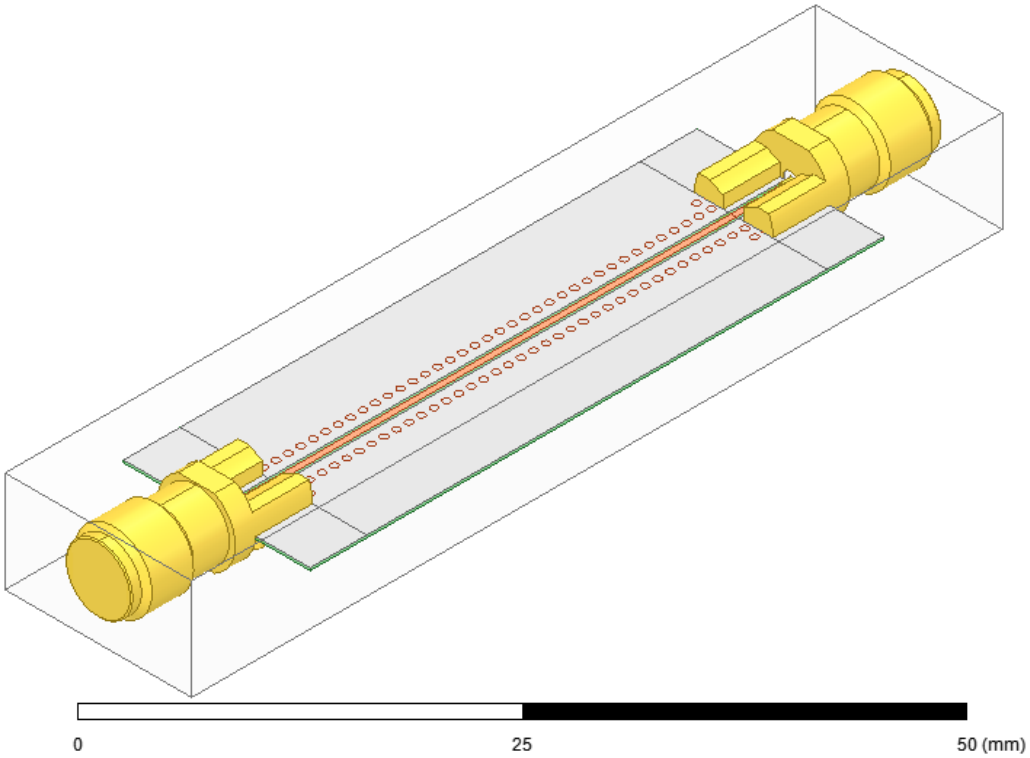


Рис. 1. 3D-модель копланарной линии передачи с установленными коаксиальными SMA-разъемами

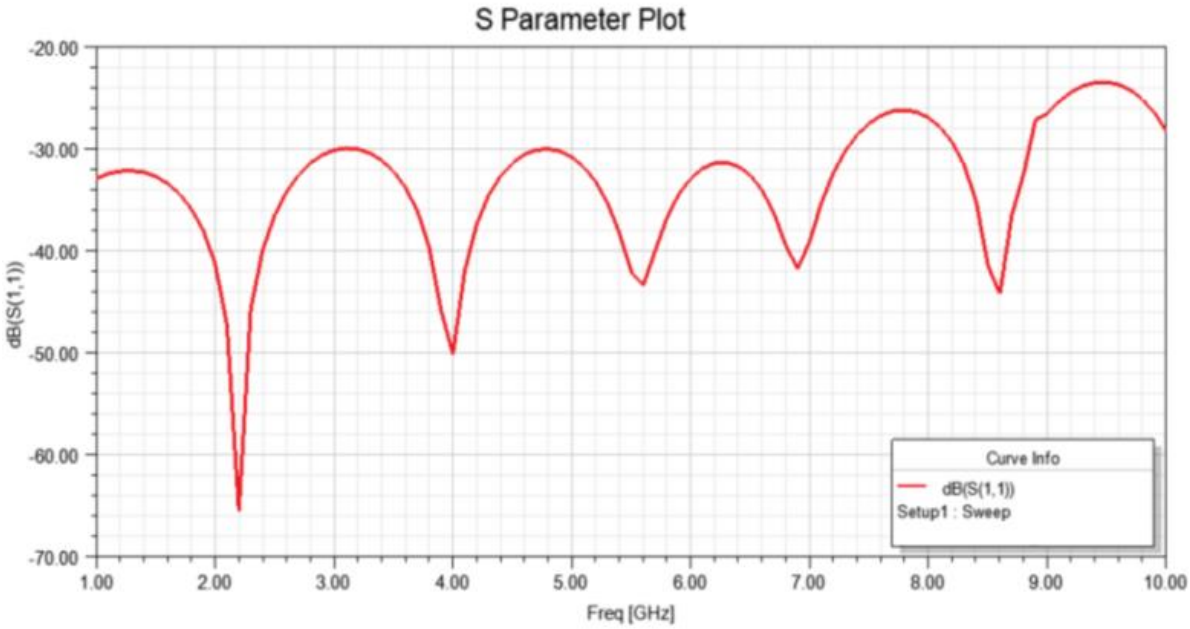


Рис. 2. Коэффициент отражения модели копланарной линии передачи

Библиографический список

1. Абышев С. В. СВЧ устройства неразрушающего метода контроля / С. В. Абышев // Universum: технические науки. – 2019. – № 4(61). – URL : https://7universum.com/ru/tech/archive/item/7205 (дата обращения: 29.11.2024)

2. Лавров, А. В. Минимизация потерь сигналов в линиях передач в СВЧ диапазоне / А. В. Лавров, А. С. Голанов, Я. А. Семкин // Технологии инженерных и информационных систем. – 2023. – № 4. – С. 87 – 107.

3. Введение в технологию коммутационных структур электронных средств : учебное пособие / В. Н. Гриднев, Г. Н. Гриднева, В. П. Жалнин и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024. – 539, [2] с. (Библиотека «Приборостроение». Т. 9).

4. Pozar, D. M. Microwave Engineering / D. M. Pozar. – 4th ed. – New York : John Wiley & Sons, 2012. – 739 p.

5. Банков, С. Е. Проектирование СВЧ устройств и антенн с Ansoft HFSS / С. Е. Банков, А. А. Курушин. – М. : Солон-Пресс, 2009. – 736 с.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ ЛЕТАЮЩЕГО БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ОСНОВЕ ГНСС

Н. А. Лежнева

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *nataliya.lezhneva@wunder.haus*)

Введение. Последнее время широкое распространение получили летающие беспилотные транспортные средства. Созданием таких транспортных средств занимаются во многих странах мира: в Нидерландах разработан для серийного производства двухместный автомобиль Pal-V (Personal Air and Vehicle) Liberty; в Израиле фирмой Urban Aeronautics – шестиместный летающий автомобиль CityHawk; в Словакии компанией Klein Vision – автомобиль AirCar; в Германии – двухместный летающий автомобиль VoloCity, который прошел успешное испытание в аэропорту Хельсинки и центре Сингапура, а также концепт летающего пятиместного беспилотника Lilium Jet; в Китае – двухместный коптер-беспилотник eHang; в Японии – коптер-беспилотник NEC; в Англии фирма Rolls-Royce разрабатывает летающее такси на пять человек; в России институт теплофизики Сибирского отделения РАН – летающий автомобиль «Циклокар» [1, 2].

Для обеспечения полета, а также взлета и посадки летающие беспилотные транспортные средства должны оснащаться информационно-измери-тельными системами, которые обеспечивали бы решение данных задач. Основу всех

современных информационно-измерительных систем (навигационных систем), обеспечивающих решение задач определения координат и параметров движения беспилотных транспортных средств, в том числе и летающих, составляет аппаратура приема (АП) сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Аппаратура приема, как правило, является совмещенной, многоканальной и позволяет принимать сигналы ГНСС ГЛОНАСС, NAVSTAR (GPS), Галилео (Galileo), Бэйдоу (BeiDou).

В работе для измерения высоты полета и вертикальной скорости летающего беспилотного транспортного средства было предложено ввести в состав информационно-измерительной системы (навигационной системы), помимо АП сигналов ГНСС, барометрический датчик измерения высоты (барометрический высотомер (БВ)) и инерциальную навигационную систему (ИНС). Была произведена постановка задачи, и методами марковской теории оптимального оценивания случайных процессов [3 – 5] синтезированы оптимальные алгоритмы обработки информации. На основе полученных алгоритмов разработана структурная схема обработки информации в навигационной системе. Схема представлена на рис. 1. В состав структурной схемы обработки информации входят сумматоры, усилители и линии задержки. В дискретные моменты времени t_{k+1} на схему обработки поступают измеренные значения: высоты $H^{\text{СРНС}}(t_{k+1})$ от ГНСС; высоты $H^{\text{БВ}}_{\text{ОТН}}(t_{k+1})$ от БВ и вертикального ускорения $a_Z^{\text{ИНС}}(t_{k+1})$ от ИНС. Предполагается, что преобразование информации в цифру выполняется в самих измерителях. На выходе схемы обработки вектор состояния $\mathbf{X}^{\bullet}(t_{k+1})$ включает оптимальные оценки высоты и вертикальной скорости.

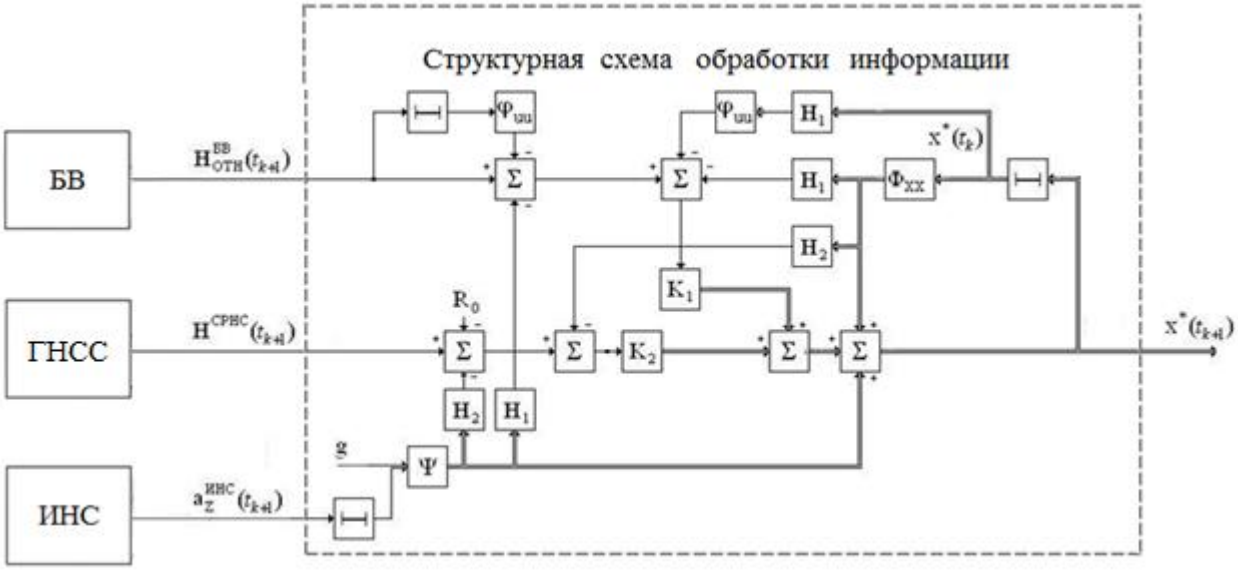


Рис. 1. Структурная схема обработки сигналов ГНСС, ИНС и БВ

Произведена оценка потенциальных характеристик точности оценивания высоты и вертикальной скорости в разработанной информационно-измерительной (навигационной системе). В результате расчетов получено, что стационарное значение апостериорной среднеквадратической ошибки оценивания высоты составляет 0,072 м при времени переходного процесса порядка 30 с, а стационарное значение апостериорной среднеквадратической ошибки оценивания вертикальной скорости составляет 0,0038 м при времени переходного процесса порядка 10 с.

Библиографический список

1. Топ летающих машин, существующих в реальности: обзор, цена, особенности. – URL : https:/ habr.com>ru/articles/684892/
2. На работу без пробок: какое будущее ждет летающие автомобили. – URL : https:/ trends.rbc.ru (дата обращения: 25.11.2024)
3. Ivanov, A. V. Optimal Algorithms of Data Processing in Navigation Complexes of on-Earth Mobile Objects with Autonomous Integrity Monitoring of Navigation Data of Satellite Radio Navigation Systems / A. V. Ivanov, D. V. Komrakov // Journal of Communications Technology and Electronics. – 2017. – V. 62, No. 4. – P. 360 – 370.
4. 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 / A. V. Ivanov, D. V. Komrakov, V. O. Surkov // Journal of Communications Technology and Electronics – 2020. – No. 6(65). – P. 609 – 618.
5. Study of problem solution quality for detection of discrete failure parameter by complex adaptive data processing algorithms for mobile ground object navigation systems / A. V. Ivanov, V. O. Surkov, M. P. Belyaev, et al. // Journal of Physics : Conference Series. – 2019. – V. 1260, Is. 3, article id. 032020.

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ОТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Т. А. Листопадская, А. А. Балашов

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

Теплопередача при свободной конвекции от вертикальных поверхностей играет важную роль в различных областях инженерии, включая теплоэнергетику, холодильную технику и климатические системы. Свободная конвекция – это процесс теплопередачи, который происходит в результате изменения плотности воздуха из-за температурных градиентов. Когда воздух нагревается от вертикальной поверхности трубы, его плотность уменьшается, и он поднимается, создавая конвективные потоки. Этот процесс играет важную роль в различных инженерных приложениях, включая системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Основные уравнения, описывающие теплопередачу, – это уравнение Навье–Стокса и уравнение теплопроводности Фурье. Уравнение Навье–Стокса описывает движение вязкой жидкости и является основным уравнением в гидродинамике, которое учитывает влияние вязкости на движение жидкости, а уравнение теплопроводности описывает процесс теплопередачи в веществе.

Отличительной особенностью теплообмена от вертикальной стенки высотой *l* является условие формирования пограничного слоя толщиной δ (рис. 1).

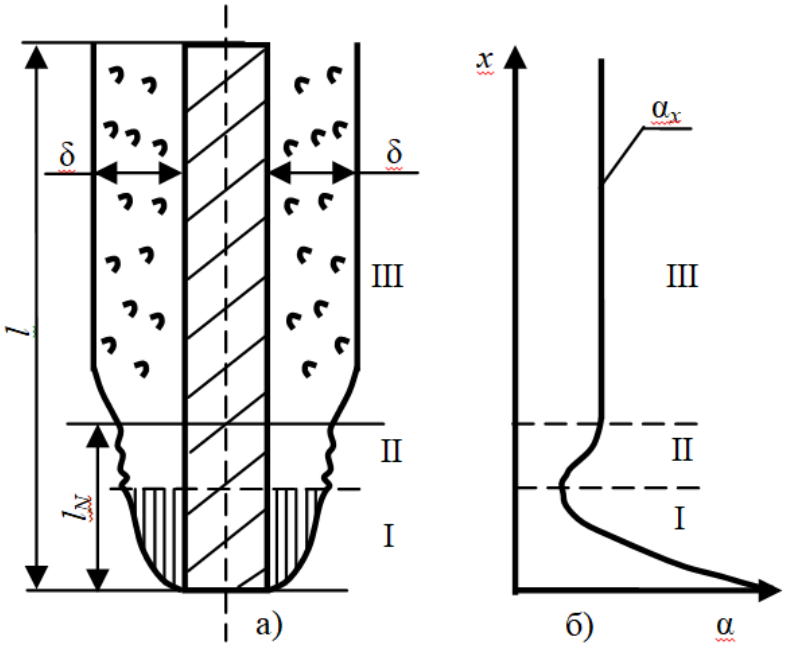


Рис. 1. Изменение коэффициента теплоотдачи α_x от толщины пограничного слоя δ, изменяющегося с высотой *l*

Можно отметить три явно выраженных режима течения жидкости вдоль вертикальной стенки: I – начальный участок, движение ламинарное; II – участок переходного режима течения; III – участок установившегося турбулентного течения, показывает изменение местного значения коэффициента теплоотдачи α_x (см. рис. 1, *б*). На участке I значение α падает из-за увеличения толщины пограничного слоя. На участке II наблюдается повышение коэффициента теплоотдачи вследствие появления турбулентных пульсаций. На участке III устойчивый турбулентный режим течения, и значение α стабилизируется. Следовательно, вдоль вертикальной поверхности мы имеем смешанный режим течения при свободной конвекции. В данной работе мы определяем среднее значение коэффициента теплоотдачи $\overline{\alpha}$ для всей высоты *l*.

Его значение будет сильно зависеть от отношения $\frac{l}{l_N}$ (см. рис. 1, *а*). Для высоких вертикальных поверхностей $\frac{l}{l_N}$ мало и влияние незначительно, для малых отношений $\frac{l}{l_N}$ влияние на $\overline{\alpha}$ начального участка существенно. С учетом сказанного, в данной работе используется труба высотой l = 2 м и в безразмерных числах подобия Нуссельта (Nu) и Грасгофа $\mathrm{Gr} = \frac{g\beta\Delta t l_{\text{р}}^3}{\nu^2}$ в качестве определяющего размера берется длина расчетного участка $l_{\text{р}}$. Здесь $g = 9{,}81$ – ускорение свободного падения для нашей широты, м/с^2; β – коэффициент термического расширения жидкости, для идеальных газов $\beta = \frac{1}{T_{\text{ж}}}$, 1/К; $\Delta t = (t_{\text{с}} - t_{\text{ж}})$ – разность температур между стенкой и жидкостью, К; $l_{\text{р}}$ – определяющий размер, м; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м^2/с.

Подобие граничных условий выполняется при равенстве чисел Нуссельта:

$$\mathrm{Nu} = \frac{\overline{\alpha} l_{\text{р}}}{\lambda},$$

где $\overline{\alpha}$ – среднее значение коэффициента теплоотдачи, Вт/(м^2·К); $l_{\text{р}}$ – определяющий размер, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Таким образом, теория свободной конвекции, описанная через уравнения Навье–Стокса и теплопроводности, является основой для понимания теплопередачи от вертикальных поверхностей, таких как трубы. Эти концепции позволяют проводить анализ и моделирование процессов, что имеет важное значение для инженерных приложений в теплоэнергетике.

ТЕПЛОВОЙ ОБМЕН В НЕОНАТАЛЬНОМ ИНКУБАТОРЕ. СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ

М. А. Любавина, Т. А. Фролова

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

Неонатальный инкубатор – это медицинское оборудование, предназначенное для обеспечения оптимальных условий для недоношенных новорожденных. Эти устройства предоставляют контролируемую среду, включающую стабильные уровни температуры и влажности, что критично для нормальной жизнедеятельности новорожденных. Температура тела ребенка должна оставаться относительно стабильной, и для этого необходимо минимизировать теплопотери, которые происходят через различные механизмы: лучистый, конвективный и кондуктивный теплообмен, а также испарение влаги с поверхности кожи. Основной задачей неонатального инкубатора является создание оптимального микроклимата, который позволит уменьшить эти потери [1 – 6].

Тепловой баланс обозначает соотношение между количеством тепла, поступающего в инкубатор, и количеством тепла, которое теряется. Компоненты теплового баланса включают поступление тепла от источников, таких как керамические обогреватели, инфракрасные лампы и системы активного обогрева. Потеря тепла происходит через вентиляцию, контакт с холодными поверхностями и конвекцию. Важно минимизировать утечки тепла, чтобы поддерживать постоянную температуру. Циркуляция воздушного потока в инкубаторе может осуществляться за счет нагретого и увлажненного воздуха, который поднимается от боковой стенки и, циркулируя вдоль поверхности купола, создает оптимальные условия для новорожденного. Здесь воздух движется от ног к голове ребенка, а затем опускается вниз вдоль противоположной стенки к вытяжному отверстию, обеспечивая равномерное распределение тепла.

Сервоконтроль температуры позволяет отслеживать теплообмен между телом ребенка и воздухом внутри инкубатора, поддерживая заданные условия окружающей среды. Также важен контроль за уровнем влажности и концентрацией кислорода, что необходимо для поддержания оптимального уровня увлажнения, а также для контроля насыщения кислорода при подключении аппарата к кислородной магистрали. Современные неонатальные инкубаторы используют боковые двойные стенки, которые устанавливаются спереди и сзади. Эти стенки не только ускоряют прогрев, но и уменьшают потери лучистой энергии от ребенка, что важно для сохранения тепла.

Двойные стенки направляют поток разогретого и увлажненного воздуха в камеру вдоль стенок инкубатора, что способствует благоприятной циркуляции и значительно снижает вероятность термических ожогов в случае неисправности оборудования или неправильно настроенных параметров. Комбинирование двойных стенок и циркуляции воздуха создает тепловую завесу, минимизируя тепловые потери при проведении медицинских манипуляций, особенно при доступе к младенцу через специальные порты или при открытой передней стенке. Неонатальные инкубаторы обеспечивают температурный режим, максимально приближенный к условиям внутри утробы, с оптимальной температурой, варьирующейся от 32 до 36 °С. Контроль температуры осуществляется с помощью термостатов, термометров и автоматических систем.

Регулярный мониторинг уровня влажности также критически важен, так как его изменения могут привести к различным осложнениям. Окружающая среда, в которой расположен инкубатор, играет важную роль. Температура, влажность и качество воздуха в комнате могут накладывать ограничения на возможность поддержания оптимального теплового баланса. При высоких температурах в помещении инкубатор может потребовать дополнительной мощности для поддержания нужной температуры, что может привести к перегреву устройства.

Библиографический список

1. Использование нейроконтроллера и электрохромного остекления в инкубаторах для новорожденных для адаптивной имитации смены дня и ночи / А. Ю. Потлов, С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Медицинская техника. – 2024. – № 4. – С. 14 – 16.

2. Фролов, С. В. Неонатальный мониторинг / С. В. Фролов // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. Восьмой Всерос. молодежной науч. конф., Тамбов, 10 мая 2023 года. – Тамбов, 2023. – С. 332 – 334.

3. Фролов, С. В. Экспериментальная установка для исследования особенностей управления микроклиматом в неонатальных инкубаторах с использованием гидродинамического фантома новорожденного / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2024. – Т. 27, № 2. – С. 52 – 59.

4. Построение имитационной модели неонатального инкубатора с нейроконтроллером / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям. – 2024. – Т. 1. – С. 573 – 577.

5. Структурно-параметрический синтез нейросетевой системы управления неонатальным инкубатором / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // Информационные технологии и технические средства управления (ICCT-2024) = International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT-2024) : материалы VIII Междунар. науч. конф., 1 – 5 октября 2024 г. – Владикавказ, 2024. – С. 323 – 325.

6. Use of a neural controller and electrochromic glazing in incubators for neonates for adaptive simulation of day/night changes / A. Yu. Potlov, S. V. Frolov, A. A. Korobov, K. S. Savinova // Biomedical Engineering. – 2024. – V. 58, Is. 4.

КАЧЕСТВО СБОРОК ЭЛЕКТРОННЫХ ЯЧЕЕК

Н. В. Макушина, А. А. Солодняков

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *nath@inbox.ru*; *solodniakoff@gmail.com*)

Современные технологии формирования электрического контакта в электронных сборках требуют тщательного контроля качества, так как дефекты, возникающие на различных этапах производства, могут существенно снизить надежность изделий. Развитие технологий, миниатюризация компонентов и ужесточение требований усложняют процесс диагностики и устранения дефектов.

Нерешенные проблемы становятся причиной дефектов. Эти дефекты приводят либо к полному отказу изделия, или приводят к частичному отказу после многолетней эксплуатации изделия. Проблемы могут появляться на любом этапе технологического цикла: этапы проектирования, изготовления элементов, сборки или пайки не застрахованы от осложнений. Различные проблемы часто приводят к почти одинаковым дефектам, поэтому очень сложно определение конкретной причины появления того или иного дефекта.

В связи с этим возникает необходимость рассмотреть три основные задачи. Первое, выяснить, какие дефекты могут появиться. Второе, определить, какие из проблем приводят к этим дефектам. Третье, как устранить имеющиеся проблемы.

К основным проблемам в пайке электронных сборок можно отнести: различные компоненты и методы монтажа предъявляют свои специфические требования к технологии пайки, появление новых типов компонентов (например,

поверхностного монтажа) требует адаптации существующих методик контроля качества.

Дефекты могут быть причиной полного отказа изделий или их выхода из строя в процессе эксплуатации. Отказ любого типа свидетельствует о низкой надежности, которая является ключевым показателем качества продукции.

В определении причин дефектов часто возникают различные трудности. Разные проблемы на этапах проектирования, сборки или пайки могут приводить к схожим внешним дефектам. Многофакторный характер дефектов затрудняет их диагностику и требует использования комплексных подходов.

Нейросетевые методы успешно применяются для анализа изображений печатных плат, включая использование рентгеновских и оптических систем [1]. Это позволяет выявлять скрытые дефекты, недоступные для обнаружения традиционными визуальными методами.

Современные системы автоматизированного контроля на основе нейронных сетей значительно ускоряют процесс выявления дефектов, минимизируя влияние человеческого фактора [3].

Прогностические модели на основе машинного обучения позволяют оценивать вероятность отказа функциональных элементов, что особенно важно для высокотехнологичных отраслей, таких как ракетно-космическая техника [5].

Использование статистического управления технологическим процессом (СУТП) и нейросетевых методов позволяет регулировать параметры процесса в реальном времени, снижая риск дефектов [4].

Современные размеры компонентов поверхностного монтажа делают визуальный контроль недостаточно точным. Применение нейронных сетей обеспечивает высокую точность диагностики даже для сверхминиатюрных соединений [2].

Надежность изделий во многом определяется запасом качества, закладываемым на этапе проектирования. Небольшой запас повышает вероятность выхода изделий за допустимые границы, увеличивая количество дефектов.

Развитие методов визуальной декомпозиции и глубокого обучения открывает новые горизонты в диагностике дефектов. Комплексные подходы, включающие автоматизированные системы и нейросетевые технологии, становятся стандартом в отрасли.

Обеспечение качества сборок электронных ячеек требует использования передовых методов анализа и контроля, включая статистические подходы и нейронные сети. Интеграция таких технологий позволяет улучшить надежность продукции, снизить количество дефектов и повысить конкурентоспособность производителей на рынке.

Благодарности

Отдельные результаты получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

Библиографический список

1. Нейросетевые методы дефектоскопии печатных плат / А. И. Власов, В. Н. Гриднев, П. Константинов, А. В. Юдин // Электронные компоненты. – 2004. – № 8. – С. 148 – 155.
2. Вирясова, А. Ю. Нейросетевые методы дефектоскопии интегральных структур / А. Ю. Вирясова, А. И. Власов, А. А. Гладких // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2019. – № 2. – С. 54 – 67.
3. Буянов, А. И. Применение нейросетевых методов при дефектоскопии печатных плат / А. И. Буянов, А. И. Власов, А. В. Загоскин // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2002. – № 3. – С. 42 – 70.
4. Применение нейронных сетей в обнаружении дефектов печатных плат / А. И. Власов, Н. В. Завьялов, К. В. Селиванов, И. И. Скальченков // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2022. – Т. 24, № 6. – С. 5 – 19.
5. Способы прогнозирования отказов функциональных элементов изделий ракетно-космической техники с применением визуальной декомпозиции и машинного обучения / А. Ю. Вирясова, А. И. Власов, Д. И. Климов и др. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2024. – Т. 26, № 1. – С. 54 – 66.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ТЕПЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В. А. Матис,
научный руководитель: канд. техн. наук И. В. Рогов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *matis801@gmail.com*)

В системах, состоящих из слоев с уникальными тепловыми свойствами, необходимо учитывать взаимодействие между ними и влияние периодических изменений температуры. Каждый слой, например металл и полимер, имеет свои характеристики, такие как теплопроводность и теплоемкость, что влияет на распределение температуры. Изучение гармонического теплового воздействия полезно в полимерной промышленности, где оно помогает контролировать процессы кристаллизации и стеклования, влияя на прочность и гибкость

изделий. В энергетике солнечных коллекторов и тепловых насосов это воздействие может оптимизировать теплообмен и повысить эффективность систем. В области наноматериалов гармоническое тепловое воздействие используется для создания и модификации наноструктур, открывая новые возможности для разработки. Также гармоническое тепловое воздействие может быть использовано при разработке измерительных систем для определения теплофизических свойств материалов [1].

Математическая модель теплопереноса в системе двух тел выглядит следующим образом: ограниченная пластина – первое тело, приведена в идеальный тепловой контакт со вторым – полуограниченным телом (рис. 1).

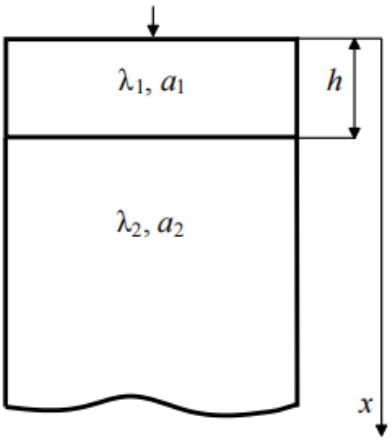


Рис. 1. Система ограниченного и полуограниченного тел

Термические коэффициенты тел: λ_1, λ_2 – теплопроводность первого и второго тел; a_1, a_2 – температуропроводность первого и второго тел. Толщина ограниченного тела – h. В начальный момент времени на поверхность ограниченного тела с начальной температурой T_0 начинает действовать гармоническое тепловое воздействие $T(0, \tau) = T_m\cos(\omega\tau) + T_0$.

Необходимо найти распределения значений температуры (T_1, T_2) по длине ограниченного и полуограниченного тел в любой момент времени. В математическом виде задача на квазистационарной стадии описывается следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial T_1(x,\tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial T_1^2(x,\tau)}{\partial x^2} \quad (0 < x < h);$$

$$\frac{\partial T_2(x,\tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial T_2^2(x,\tau)}{\partial x^2} \quad (x > h);$$

$$T_1(0,\tau) = T_m \cos(\omega\tau) + T_0;$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(h,\tau)}{\partial x} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2(h,\tau)}{\partial x};$$

$$T_1(h,\tau)=T_2(h,\tau);$$
$$T_2(\infty,\tau)=0.$$

Решение задачи для квазистационарной стадии, в которой начальные условия перестают оказывать влияние на тепловой процесс, имеет вид [2]:

$$T_1(x,\tau)=T_m\exp(\omega\tau\iota)(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\frac{\exp\left(\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}(x-h)\right)h^*+\exp\left(\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}(x-h)\right)}{\exp\left(\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}\right)(\varepsilon_1+\varepsilon_2)+\exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}\right)(\varepsilon_1-\varepsilon_2)}+T_0;$$

$$T_2(x,\tau)=T_m\varepsilon_1\exp(\omega\tau\iota)\frac{2\exp\left(\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}(h-x)\right)}{\exp\left(\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}\right)(\varepsilon_1+\varepsilon_2)+\exp\left(-\sqrt{\frac{\omega}{a_1}\iota}\right)(\varepsilon_1-\varepsilon_2)}+T_0.$$

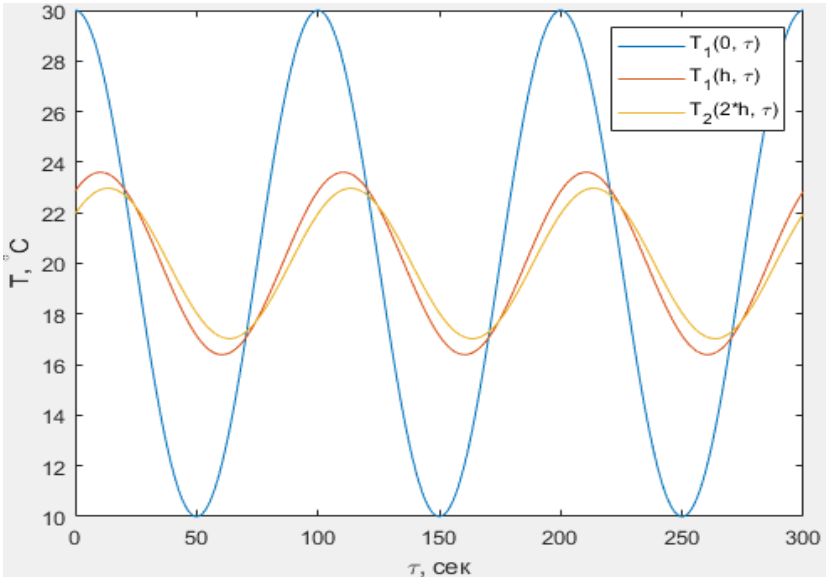


Рис. 2. Зависимость температур от времени в системе ограниченного и полуограниченного тел

Расчет температурных полей в рассматриваемой системе проводился с использованием среды MATLAB [3]. Результаты одного из расчетов приведены на рис. 2. На рисунке кривые описывают: $T_1(0, \tau)$ – изменение температуры свободной поверхности ограниченного тела; $T_1(h, \tau)$ – изменение температуры на границе тел; $T_2(2h, \tau)$ – изменение температуры внутри полуограниченного тела.

Результаты моделирования температурных полей могут быть использованы при расчете геометрических параметров измерительной ячейки для системы определения теплофизических свойств сыпучих материалов.

Библиографический список

1. Теплофизические измерения и приборы / Е. С. Платунов и др. ; под общ. ред. Е. С. Платунова. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 256 с.
2. Моделирование теплопереноса в системе двух тел при гармоническом тепловом воздействии / И. В. Рогов, Н. Ф. Майникова, О. Н. Попов, С. В. Молодов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Т. 17, № 2. – С. 360 – 364.
3. Амос, Г. MATLAB. Теория и практика / Г. Амос ; пер. с англ. Н. К. Смоленцева. – 5-е изд. – М. : ДМК Пресс, 2016. – 416 с.

ТОРРЕФИКАЦИЯ БИОМАССЫ ПЕРЕГРЕТЫМ ПАРОМ

К. И. Милованов, С. Н. Кузьмин

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

Торрефикация (низкотемпературный пиролиз при температуре 200…300 °C) позволяет улучшать физические свойства и химический состав биомассы для дальнейшего ее энергетического использования. В ходе процесса три основных компонента биомассы (целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин) термически разлагаются в разной степени, что приводит к образованию неконденсируемых газов (CO, CO_2) и конденсируемых летучих веществ [1]. Конденсируемая летучая фракция, помимо воды, содержит ценные химические вещества (например, фурфурол, уксусную кислоту, метанол, муравьиную кислоту), которые могут быть использованы в качестве реагентов платформы [19]. В связи с этим использование перегретого пара в качестве агента торрефикации представляет большой интерес, поскольку позволяет проводить быстрый и равномерный процесс и легко извлекать летучие вещества [2].

Тепло конденсации можно рекуперировать, чтобы сделать весь процесс более энергоэффективным. При этом сокращаются выбросы парниковых газов и достигается цель климатической нейтральности к 2050 г. в Европейском «зеленом» соглашении [3].

Проведение процесса в аппарате с кипящим слоем, где пар переводит частицы биомассы в состояние псевдоожижения, позволяет многократно сократить время обработки и перейти от периодического процесса к непрерывному, тем самым обеспечить коммерциализацию.

Эксперимент по торрефикации листьев оливы проводился на установке, технологическая схема которой представлена на рис. 1.

В таблице 1 представлены термохимические характеристики исследуемых растительных отходов.

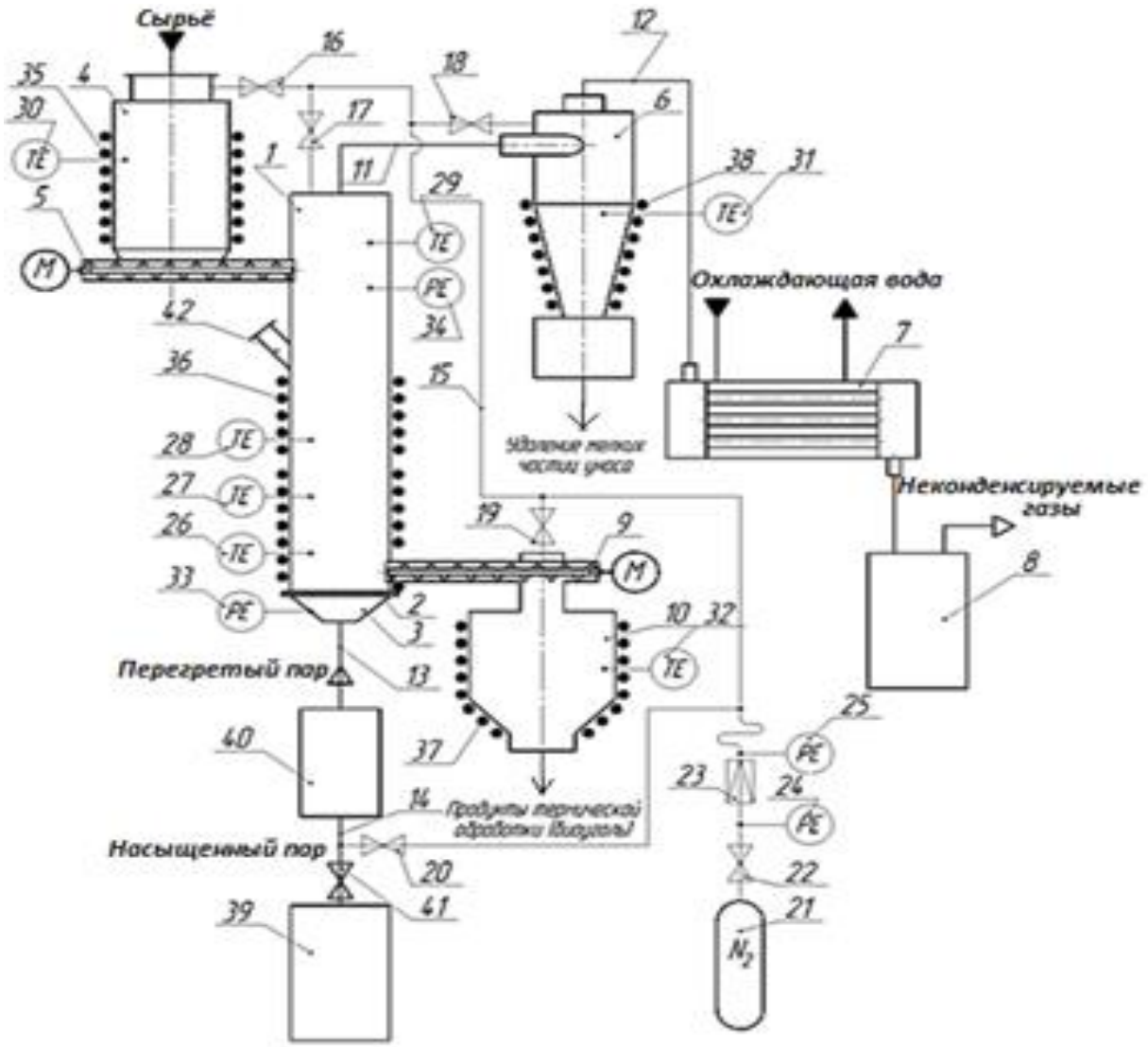


Рис. 1. Технологическая схема установки для исследования торрефикации биоотходов в состоянии кипящего слоя в перегретом паре:

1 – реактор; *2* – газораспределительная решетка; *3* – подрешеточный конус; *4* – бункер для исходного сырья; *5* – шнековый питатель бункера сырья с электроприводом; *6* – циклон; *7* – теплообменник для охлаждения конденсата; *8* – емкость для сбора конденсата; *9* – шнековый питатель биоугля с электроприводом; *10* – бункер для биоугля; *11*, *12* – газоходы; *13*, *14* – паропроводы; *15* – линия продувки; *16* – *20* – вентили; *21* – баллон с азотом; *22* – вентиль баллона; *23* – редуктор; *24*, *25* – датчики давления на редукторе; *26* – *32* – датчики температуры; *33*, *34* – датчики давления пара; *35* – *38* – электроподогреватели; *39* – электропарогенератор; *40* – пароперегреватель; *41* – вентиль парогенератора; *42* – смотровое окно

1. Характеристики торрефицированных листьев оливы

Наименование показателя, единицы измерений	Аналити-ческая проба	Рабочее состояние топлива	Сухое состояние топлива	Сухое беззольное состояние топлива	Методика (метод) измерений (испытаний)
Влага, %	3,42	3,42	–	–	ГОСТ 32975.3–2014
Зольность, %	11,57	11,57	11,98	–	ГОСТ 32988–2014
Сера общая, %	0,0S	0,08	0,05	0,06	ГОСТ 33256–2015
Углерод общий, %	52,0	52,0	53,8	61,2	ГОСТ 32985–2014
Водород общий, %	6,03	6,05	6,26	7,12	
Азот, %	1,60	1,60	1,66	1,88	
Содержание кислорода, %	25,31	25,31	26325	29,74	
Теплота сгорания высшая, ккал/кг	5180	–	5370	6100	ГОСТ 33106–2014
Теплота сгорания низшая, ккал/кг	–	4850	5040	5730	

Библиографический список

1. Progress in biomass torrefaction: Principles, applications and challenges Prog. Energy Combust / W.-H. Chen, B.-J. Lin, Y.-Y. Lin, et al. // Sci. – 2021. – No. 82. – 100887.
2. Characteristics of Hydrochar and Liquid Products Obtained by Hydrothermal Carbonization and Wet Torrefaction of Poultry Litter in Mixture with Wood Sawdust / R. Isemin, N. Muratova, S. Kuzmin, et al. // Processes. – 2021. – No. 9. – 2082.
3. Towards Net-Zero Emissions in The Eu Energy System by 2050: Insights from Scenarios in Line With the 2030 and 2050 Ambitions of the European Green Deal / I. Tsiropoulos, W. Nijs, D. Tarvydas, P. Ruiz // JRC Technical Reports JRC118592. – JRC : Luxembourg, 2020.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА

Д. А. Минаев, О. Н. Попов

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

Вихревые трубы, принцип работы которых основан на эффекте Ранка–Хилша, применяются в различных технологических процессах. Как правило, выбор оптимальных геометрических параметров вихревых труб осуществляется с помощью проведения физических экспериментов [1]. Однако в настоящее время наряду с физическими экспериментами выбор параметров можно осуществлять с помощью численного моделирования в современных пакетах вычислительной гидродинамики. Численное моделирование экономит время и средства при проработке разных конструктивных решений [2].

В статье рассматривается численная модель делящей вихревой трубы (рис. 1), входящей в состав лабораторной установки, подробно описанной в работе [3].

Для создания трехмерной цифровой модели вихревой трубы загрузили в *Ansys SpaceClaim*, вычерченные в *AutoCAD* элементы, где собрали их в единую конструкцию, представленную на рис. 2.

Рис. 1. Лабораторный образец вихревой трубы

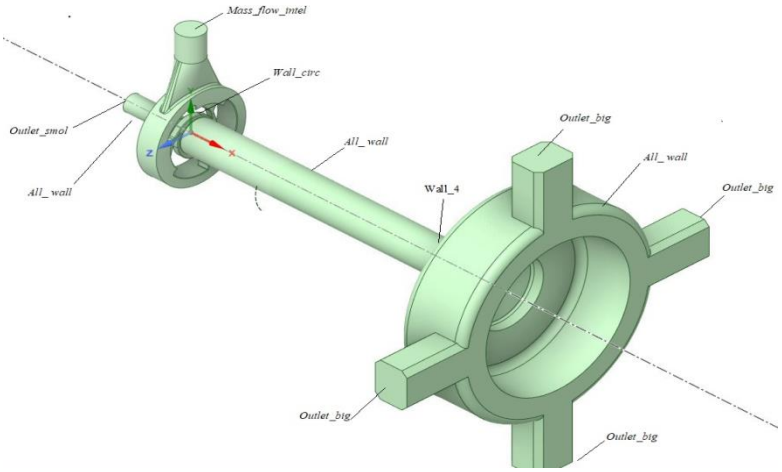


Рис. 2. Геометрическая модель

Для решения задачи проводится дискретизация расчетной области геометрической модели. Воспользовавшись автоматическим построением сетки, получили сеточную модель вихревой трубы (рис. 3) с двумя размерами ячеек (1,0 и 2,5 мм) и внутреннюю сетку модели, в которой движется поток газа [4].

На основе созданной сеточной модели в подпрограмме *Ansys Fluent* создана расчетная модель вихревой трубы путем задания начальных и граничных условий, параметров рабочего тела, настроек решателя.

Результаты исследования проведены до условий сходимости по невязкам численных экспериментов. Вихревой эффект температурного разделения получен для делящей вихревой трубы (рис. 4).

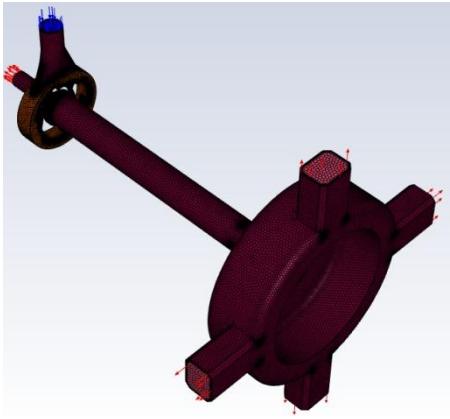


Рис. 3. Модель с расчетной сеткой

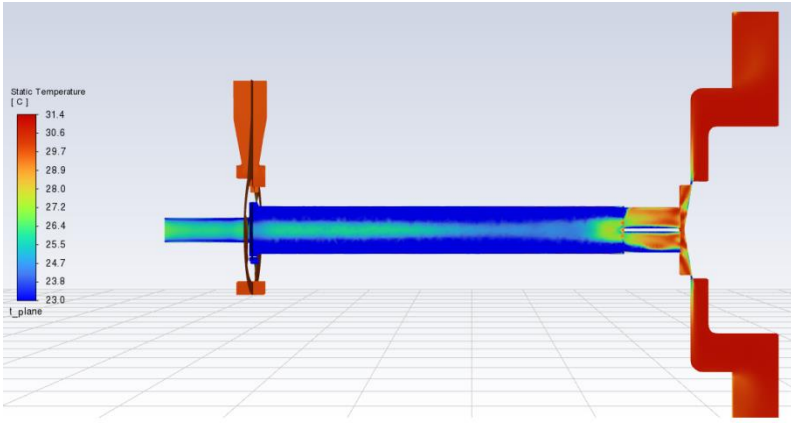


Рис. 4. Деление потока воздуха на температурные зоны

Проведено численное моделирование трехмерного течения потока газа в вихревой трубе А. П. Меркулова. Получены термодинамические и гидродинамические характеристики, которые подтверждают эффект температурного разделения потока.

Библиографический список

1. Меркулов, А. П. Вихревой эффект и его применение в технике / А. П. Меркулов. – М. : Машиностроение, 1969. – 184 с.

2. Черепенников, И. А. Вихревая труба / И. А. Черепенников, Б. В. Панков, В. И. Быченок. – Тамбов : Тамбовский институт химического машиностроения, 1991. – 24 с.

3. Батурин, О. В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluen / О. В. Батурин, Н. В. Батурин, В. Н. Матвеев. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 146 с.

4. Минаев, Д. А. Численное моделирование вихревого эффекта в вихревой трубе А. П. Меркулова / Д. А. Минаев, О. Н. Попов // Виртуальное моделирование, прототирование и промышленный дизайн : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., 2024 г. – Тамбов, 2024. – С. 117 – 120.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Д. Д. Миронова

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *daria.dmir20@yandex.ru*)

Современные энергетические системы, включая тепловые электростанции, атомные электростанции и промышленные установки, работают в условиях высокой сложности и интенсивности. Эффективное функционирование таких систем напрямую зависит от поддержания оптимального температурного режима в различных ее элементах. Нестабильность температурного режима ведет к снижению эффективности работы, увеличению износа оборудования, росту эксплуатационных расходов и потенциальной угрозе безопасности. Постоянное стремление к повышению эффективности, надежности и экологичности энергетических систем делает задачу обеспечения оптимальных температурных условий чрезвычайно актуальной.

Методы обеспечения температурного режима в энергетических системах включают пассивные и активные подходы, часто комбинируемые для оптимального результата. Пассивные методы используют физические свойства материалов и конструкцию для управления температурой без внешних источников энергии: теплоизоляция (минимизация теплопотерь), радиационное охлаждение (излучение тепла), естественная конвекция (естественное перемещение теплоносителя) и оптимизация геометрии оборудования для улучшения теплоотвода. Активные методы требуют внешних источников энергии: принудительная конвекция (насосы, вентиляторы для циркуляции теплоносителя), жидкостное охлаждение (вода, масло, хладагенты), воздушное охлаждение (естественное или принудительное), фазовые переходы (использование испарения/конденсации), холодильные машины (для низких температур) и тепловые трубы (эффективный перенос тепла) [1 – 3].

Недостатки существующих методов обеспечения температурного режима в энергетических системах многогранны и зависят от конкретного применяемого метода, но ряд общих проблем можно выделить. Низкая эффективность многих традиционных методов приводит к потерям энергии и высоким эксплуатационным расходам, особенно в устаревших системах. Высокие капитальные затраты на установку и обслуживание, особенно сложных систем охлаждения, ограничивают их применение. Эффективность некоторых систем сильно зави-

сит от внешних факторов, таких как температура окружающей среды. Многие системы работают лишь в узком диапазоне температур, ограничивая их применение. Кроме того, активные системы охлаждения могут потреблять значительное количество энергии, увеличивая общие затраты. Наконец, проблемы с масштабируемостью ограничивают применение некоторых систем для работы с установками различной мощности. Решение этих проблем стимулирует исследования и разработки новых, более эффективных и экологичных методов.

Наиболее перспективные направления исследований и разработок в области обеспечения оптимальных температурных режимов энергетических систем включают: создание инновационных теплоносителей с улучшенными теплофизическими свойствами (наножидкости, ионные жидкости, биологические теплоносители) [4]; применение искусственного интеллекта и машинного обучения для адаптивного управления температурой в реальном времени, включая предиктивное моделирование [5]; разработку цифровых двойников для оптимизации систем до их физического воплощения [6].

Эффективное управление температурными режимами критически важно для современной энергетики. Анализ показал ограничения традиционных методов, но новые технологии (инновационные теплоносители, интеллектуальные системы управления, цифровое моделирование) открывают путь к созданию более эффективных, надежных и экологичных систем. Дальнейшие исследования должны фокусироваться на интеграции этих технологий для решения специфических задач различных типов энергетических систем.

Библиографический список

1. Гель, П. П. Конструирование самолетной радиоэлектронной аппаратуры : учебное пособие / П. П. Гель ; под ред. Н. К. Иванова-Есиповича ; М-во связи СССР. Ленингр. электротехн. ин-т связи им. проф. М. А. Бонч-Бруевича. – Ленинград, 1965. – 143 с.

2. Дульнев, Г. Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры : учебное пособие для студентов втузов / Г. Н. Дульнев, Н. Н. Тарновский. – Л. : Энергия, 1971. – 247 с.

3. Муратов, А. В. Способы обеспечения тепловых режимов РЭС : учебное пособие / А. В. Муратов, Н. В. Ципина. – Воронеж : ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. – 96 с.

4. Макеев, А. Н. Проблемы и перспективы использования наножидкостей в теплоэнергетике / А. Н. Макеев, Я. А. Кирюхин // Вестник Дагестанского государственного технологического университета. Технические науки. – 2022. – № 3. – С. 24 – 31.

5. Сейидов, С. А. Роль искусственного интеллекта в оптимизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) / С. А. Сейидов, Ш. Х. Тиркешов, М. А. Якубов // Вестник науки. – 2024. – № 5(74). – С. 1522 – 1525.

6. Салов, И. В. Применение цифровых двойников и киберфизических систем на объектах тепловой и электрической энергии / И. В. Салов, И. А. Щербаков, Ю. А. Салова // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – № 3. – С. 57 – 62.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Н. Р. Моргунов, Е. В. Сеченева

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *morgunov68ru@gmail.com*)

Перед современной термоэлектрической промышленностью стоит множество задач, таких как повышение эффективности, снижение затрат, минимизация воздействия на окружающую среду и обеспечение надежности оборудования. Использование цифровых технологий становится одним из ключевых инструментов для решения этих задач. Одной из наиболее перспективных инноваций является технология цифровых двойников, которая представляет собой виртуальную копию физического объекта или процесса. Цифровой двойник позволяет отслеживать, анализировать и оптимизировать работу оборудования в реальном времени, создавая новые возможности для управления теплоэнергетическими процессами.

Актуальность применения цифровых двойников обусловлена растущими требованиями к эффективности и экологичности энергетических систем. Традиционные методы управления производственными процессами часто оказываются недостаточно гибкими и простыми в использовании, что приводит к снижению их эффективности. В связи с этим возникает особый спрос на использование цифровых двойников. Новизна этого подхода заключается в том, что цифровые двойники объединяют физические и виртуальные системы, а также позволяют управлять сложными процессами с использованием больших данных и алгоритмов машинного обучения.

Принцип работы цифрового двойника основан на интеграции данных, собранных с физического оборудования с помощью датчиков, с математиче-

скими моделями, обрабатываемыми в режиме реального времени. Датчики фиксируют ключевые параметры, такие как температура, давление, расход топлива и состояние компонентов, а собранная информация передается в виртуальную платформу, где происходит моделирование и прогнозирование. Использование искусственного интеллекта и облачных технологий позволяет быстро обнаружить отклонения, проанализировать поведение системы и выработать рекомендации по оптимальным сценариям вождения.

Технология цифровых двойников уже применяется в различных направлениях теплоэнергетики. Например, для оптимизации процесса сжигания топлива в котельных установках цифровой двойник помогает моделировать процесс в режиме реального времени, снижая расход топлива и вредные выбросы. На теплоэлектростанциях цифровые модели оборудования используются для прогнозирования износа компонентов, что позволяет проводить профилактическое обслуживание и избегать аварийных ситуаций. Цифровые двойники также используются в тепловых сетях для обнаружения утечек тепла и минимизации его потерь. Эти установки демонстрируют, что технология цифрового двойника не только экономит ресурсы, но и повышает надежность всей системы.

К основным преимуществам цифрового согласования относятся повышение общей эффективности оборудования, снижение эксплуатационных расходов, минимизация выбросов благодаря более точному управлению процессом и повышение надежности за счет прогнозирования неисправностей. Однако внедрение этой технологии сопряжено с определенными трудностями. Например, создание и интеграция цифрового двойника требует значительных инвестиций, а также цифровой инфраструктуры и квалифицированного персонала. Кроме того, важно учитывать вопросы кибербезопасности, поскольку управление системами в режиме реального времени требует защиты данных от возможных атак.

Несмотря на эти вызовы, перспективы технологии цифровых двойников выглядят многообещающими. Ожидается, что в ближайшем будущем будут разработаны более адаптируемые и доступные модели, а технология станет доступной не только для крупных тепловых электростанций, но и для небольших систем. Кроме того, интеграция цифровых двойников и интеллектуальных сетей создаст новые возможности для управления спросом на энергию и ее распределения.

Таким образом, цифровые двойники становятся ключевым инструментом для трансформации теплоэнергетики. Они обеспечивают возможность не только повышения производительности и экономичности, но и снижения экологического следа. Для успешного внедрения таких решений предприятиям важно

инвестировать в модернизацию оборудования, развитие цифровой инфраструктуры и обучение специалистов. Будущее теплоэнергетики явно связано с цифровыми технологиями, и цифровые двойники играют в этом процессе одну из ведущих ролей.

Библиографический список

1. Фролов, С. В. Система поддержки принятия врачебных решений в кардиологии на основе цифрового двойника сердечно-сосудистой системы / С. В. Фролов, А. А. Коробов, А. Н. Ветров // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2023. – Т. 11, № 1(40). – С. 3–4.

2. Ильин, А. А. Цифровые технологии в теплоэнергетике: вызовы и перспективы / А. А. Ильин // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В. И. Вернадского. – 2021. – Вып. 64. – С. 112 – 120.

ОСОБЕННОСТИ СОНИФИКАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИФИКИ ТОНАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ

Т. А. Нгуен

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *anbmstu@yandex.ru*)

В настоящее время при представлении необходимой информации используют в основном визуальные методы: вывод информации на экран компьютера, на экран электронного микроскопа и т.д. Использование сонификации [1] позволяет перейти к многомодальному интерфейсу [2], который способен существенно разгрузить визуальный канал пользователя.

Сонификация относится к процессу преобразования данных в звук. Она позволяет нам слышать информацию, которая обычно представлена в виде графиков, диаграмм или других визуальных форм.

Информацию можно разделить на количественную (числовую) и качественную (вербальную). Конструкция звукового дисплея, содержащего количественные данные, может полностью отличаться от конструкции дисплея, отображающего качественную информацию.

Одной из биологически важных особенностей звука является его идентичность; то есть спектровременные характеристики звука, которые позволяют нам извлечь соответствующую информацию, представленную звуком.

Слуховая система человека позволяет различать тон, высоту звука и его длительность.

Вьетнамский язык относится к тональным языкам. Тон – надсегментарная единица, он выражается в слоге или всей голосовой части слога, включая начальный звук, средний звук, основной звук и конечный звук. Тон может привезти к изменению значения языковых единиц. Звук при изменении тона приобретает совершенно иной смысл.

Всего во вьетнамском языке 6 тональных знаков: без знака (ровный тон), восходящий тон, нисходящий тон, нисходяще-восходящий тон, прерывистый тон, резко нисходящий тон. Анализ тонов позволяет предложить следующую классификацию изменения звуков во вьетнамском языке.

Для передачи информации можно использовать следующие параметры звука: частота звука (постоянная, уменьшающаяся, увеличивающаяся, изменяющаяся: понижается и повышается), длительность звука (стандартная, короткая). Для изменяющейся частоты звука также возможно два варианта: стандартное изменение и быстрое изменение.

Таким образом, систему сонификации, предложенную в работах [3, 4], можно модифицировать путем расширения набора звуков, используемых для передачи информации.

Благодарности

Отдельные результаты получены в рамках Госзадания FSFN-2024-0086.

Библиографический список

1. The sonification handbook. Logos Verlag / T. Hermann, A. Hunt, J. G. Neuhoff, et al. – Berlin, Germany, 2011. – 586 с.

2. Information representation and processing in cognitive nanoinformatics / V. Shakhnov, L. Zinchenko, E. Rezchikova, I. Kosolapov // Proc. 5th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom). – 2014. – P. 43 – 47.

3. Тютин, А. К. Использование методов сонификации в задачах классификации нанотрубок / А. К. Тютин, В. В. Казаков, В. А. Верстов // Политехнический молодежный журнал. – 2017. – № 1. – С. 1 – 9.

4. Sonification of single-walled carbon nanotubes properties for engineering applications / V. A. Shakhnov, V. N. Chernyshov, L. A. Zinchenko, et al. // Int. J. Nanotechnol. – 2019. – V. 16, No. 6/7/8/9/10. – P. 576 – 584.

СИСТЕМА ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

К. В. Нгуен

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *nguenv5@student.bmstu.ru*)

Современные системы обработки сигналов требуют применения эффективных фильтров для выделения полезной информации из шумов и помех. Одним из распространенных элементов таких систем является четырехполюсник, который представляет собой линейную активную или пассивную схему с четырьмя портами для подачи и вывода сигналов. Важной областью применения четырехполюсников является фильтрация сигналов в радиотехнических устройствах, где требуется точная настройка характеристик фильтра для различных частотных диапазонов.

Четырехполюсники используются для описания характеристик фильтров, таких как полосы пропускания, затухание, а также для анализа поведения фильтров в различных частотных диапазонах. Каждый четырехполюсник может быть описан через параметры, которые определяются отношением выходных и входных величин. Наиболее распространенные параметры для описания четырехполюсников – это: Передаточные функции: характеризуют связь между входным и выходным сигналами. Сопротивление входа и выхода, которое влияет на согласование цепей. Коэффициенты передачи мощности: определяют, какая часть энергии передается от одного порта к другому.

Для фильтрации сигнала применяют различные схемы четырехполюсников, например схемы с нулевыми и полюсными характеристиками, которые позволяют настраивать частотные характеристики фильтра. Фильтрация сигнала на основе четырехполюсников позволяет создавать системы с необходимыми характеристиками частотного отклика.

Разработанная система фильтрации представляет собой четырехполюсник, реализованный на основе RC-цепей и операционного усилителя. Основной задачей модуля является подавление сигналов высоких частот, сохраняя сигналы в низкочастотной области. На выходе системы амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) демонстрирует поведение типичного фильтра нижних частот с частотой среза около 5 кГц. С помощью четырехполюсников можно построить низкочастотные фильтры (Low-pass filters) на рис. 1, которые пропускают сигналы ниже определенной частоты, эффективно блокируя высокочастотные помехи. Резисторы R1 (22 кОм), R2 (220 кОм) и конденсаторы C1, C2 (1 нФ) образуют базовую схему фильтра нижних частот.

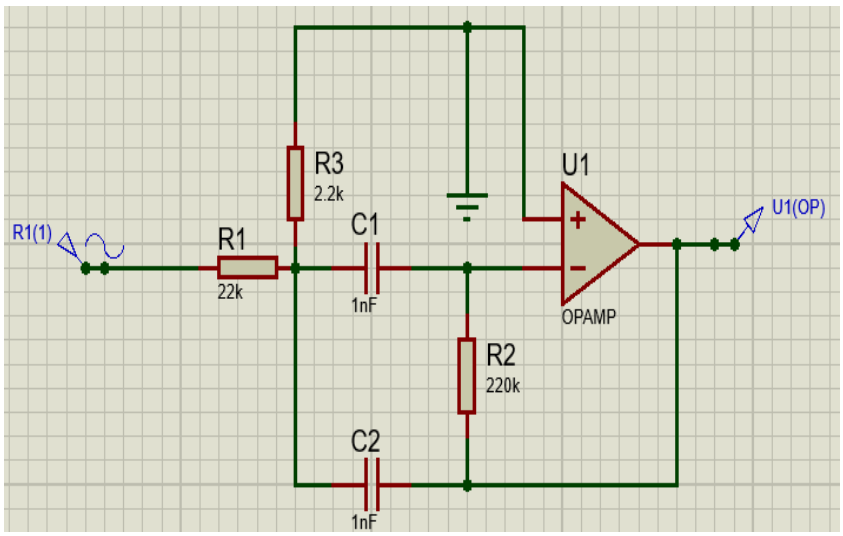


Рис. 1. Схема низкочастотного фильтра (Low-pass filters) на основе четырехполюсника в Proteus

На рисунке 2 видно, что частота среза составляет около 5 кГц, что соответствует ожидаемому значению на основе расчетов схемы. В диапазоне ниже частоты среза сигнал сохраняет амплитуду практически без изменений, тогда как на частотах выше 5 кГц наблюдается значительное снижение усиления, достигающее –20 дБ и более. Фазовая характеристика указывает на увеличение фазового сдвига в области частоты среза, что подтверждает свойства фильтра второго порядка. Система подходит для использования в задачах подавления высокочастотных шумов и выделения полезных сигналов низкочастотного диапазона.

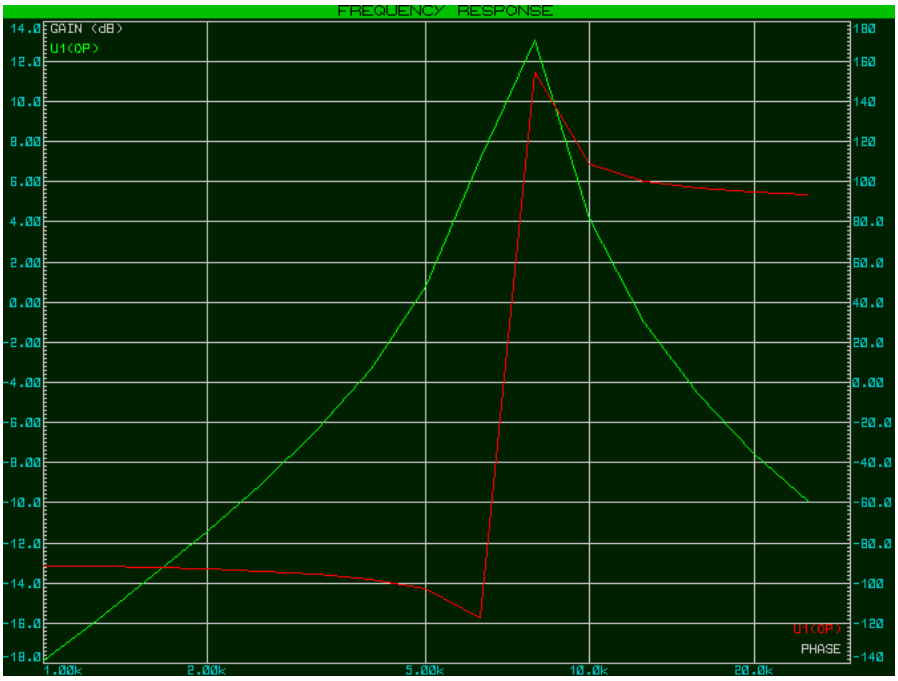


Рис. 2. График изменения усиления в зависимости от частоты

Четырехполюсники позволяют точно настраивать такие фильтры с заданными параметрами, что делает их важным инструментом в проектировании радиочастотных и звуковых фильтров.

Библиографический список

1. Лощилов, А. Г. Цифровой измерительный комплекс для измерения частотных и импульсных характеристик четырехполюсников / А. Г. Лощилов, Э. В. Семенов, Н. Д. Малютин // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2006. – Т. 309, № 8. – С. 37 – 41.

2. FFT Analysis of Amplitude Frequency Response of Quadripoles Using a Square Waveform Reference Input Signal / P. M. Tzvetkov, et al. // 2022 XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). – IEEE, 2022. – P. 1 – 4.

3. Федотов, А. И. Исследование частотных характеристик четырехполюсников / А. И. Федотов, А. С. Каширин // Молодежь и современные информационные технологии : сб. тр. XVI Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 3 – 7 декабря 2018 г., г. Томск. – Томск, 2019. – 2019. – С. 293–294.

4. Артемьев, Б. В. Системы ввода, вывода и хранения информации : курс лекций / Б. В. Артемьев. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024.

5. 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.

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

А. Н. Нури

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

Введение. Использование оптической локации для технической диагностики высоковольтных кабельных линий привлекло значительное внимание благодаря ее способности улучшать обнаружение неисправностей и повышать эксплуатационную эффективность. Были разработаны различные методологии, объединяющие передовые технологии, такие как географические информаци-

онные системы (ГИС) и виртуальная реальность (VR), для достижения точной локализации неисправностей.

Методы локализации повреждений оптического кабеля. Системы на основе ГИС: исследования показывают, что ГИС может значительно повысить точность обнаружения неисправностей в оптических кабелях. Анализируя данные о неисправностях в реальном времени и визуализируя их на картах ГИС, система может эффективно выявлять неисправности, повышая эффективность обработки [1].

Интеграция VR-ГИС: предложен новый подход с использованием VR-GIS, позволяющий построить виртуальную модель оптических кабельных линий. Сообщается, что этот метод обеспечивает точность позиционирования менее ±15 м и время локализации неисправностей около 5,9 с [2].

Дополнительные методы обнаружения. Обнаружение акустооптических соединений: интеграция акустической визуализации с инфракрасным измерением температуры обеспечивает комплексный диагностический инструмент для высоковольтных кабелей. Этот метод совместного обнаружения использует преимущества обоих методов для повышения точности диагностики неисправностей [3, 4].

Методы оптической локации для технической диагностики высоковольтных кабельных линий включают использование передовых оптических методов для оценки состояния и целостности кабелей. Эти методы могут включать:

1. Оптическую рефлектометрию во временной области (OTDR): этот метод включает передачу светового импульса по оптоволоконному кабелю и измерение времени, необходимого для восстановления света после отражения любых неисправностей или неоднородностей. Это позволяет точно определить местоположение и охарактеризовать такие проблемы, как разрывы или повреждения изоляции.

2. Распределенное измерение температуры (DTS): используя оптоволокно для измерения колебаний температуры по всей длине кабеля, DTS может выявлять горячие точки, которые могут указывать на такие проблемы, как перегрузки или износ изоляции.

3. Датчики с оптоволоконной решеткой Брэгга (FBG): эти датчики могут быть встроены в кабель для мониторинга деформации и изменений температуры. Любые ненормальные показания могут указывать на потенциальные точки отказа.

4. Визуальный осмотр с помощью оптических камер: оптические камеры высокого разрешения можно использовать для визуального осмотра кабельных

линий, особенно в труднодоступных местах. Это может помочь выявить физические повреждения или износ.

5. Лазерное сканирование: этот метод позволяет создавать трехмерные модели кабельных прокладок, позволяющие анализировать структурную целостность и выявлять потенциальные риски.

6. Дистанционное зондирование: оптические методы дистанционного зондирования могут использоваться для мониторинга условий окружающей среды вокруг высоковольтных кабелей, помогая прогнозировать и предотвращать проблемы, связанные с внешними факторами.

Заключение. Хотя оптические методы определения местоположения являются многообещающими, проблемы с вычислительной эффективностью и необходимостью дальнейшего совершенствования алгоритмов обнаружения неисправностей остаются. Применение методов оптического определения местоположения повышает надежность и безопасность высоковольтных кабельных систем за счет предоставления данных в реальном времени и раннего обнаружения неисправностей.

Библиографический список

1. Research and implementation of optical cable line fault location assistant system based on GIS / C. Liu, Y. Shen, G. Xia and J. Ran // 6th International Conference on Electronics and Communication, Network and Computer Technology (ECNCT). – Guangzhou, China, 2024. – P. 52 – 55.

2. Optical Cable Fault Accurate Location Method Based on VR-GIS / G. Hou, Y. Li, Y. Xiao, H. Zhou and Z. Zhang // 3rd International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS). – Changchun, China, 2023. – P. 143 – 147.

3. Селиванова, З. М. Интеллектуализация информационно-измерительных систем неразрушающего контроля теплофизических свойств твердых материалов : монография / З. М. Селиванова. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 207 с.

4. 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.

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ ПРИ НАЛИЧИИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

П. А. Палатов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *palatov.pavel01@gmail.com*)

Одной из ключевых проблем современной промышленности является сокращение энергопотребления теплотехнологическими установками в целях снижения себестоимости и увеличения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Одним из перспективных и актуальных направлений энергосбережения является разработка и внедрение современных систем управления энергоемкими теплотехнологическими объектами.

Теплотехнологические объекты с точки зрения автоматизации и управления имеют следующие ключевые особенности: наличие множества контролируемых и регулируемых параметров; необходимость учета возмущающих воздействий, оказывающих существенное влияние на функционирование объекта в процессе реальной эксплуатации; наличие векторного управления, включающего множество управляющих воздействий, которые могут отличаться типами энергоносителей; сложность критерия оптимальности при решении задач оптимального управления [1].

Одним из наиболее сложных и трудоемких этапов разработки системы управления теплотехнологическим объектом является создание ее алгоритмического обеспечения, в связи с чем появилась идея создания программного модуля для проведения имитационного моделирования системы энергосберегающего управления в целях исследования влияния случайных возмущений на результат решения задачи энергосберегающего управления теплотехнологическим объектом. Применяемый математический аппарат подробно рассмотрен в работах [2, 3].

В результате проделанной работы разработан программный модуль на языке программирования C# [4]. Данный язык был выбран из-за его широкого функционала по созданию пользовательского интерфейса и возможностей легкого подключения различных модулей.

Основные функции программного модуля:

– моделирование «белых» и «цветных» шумов различной интенсивности;

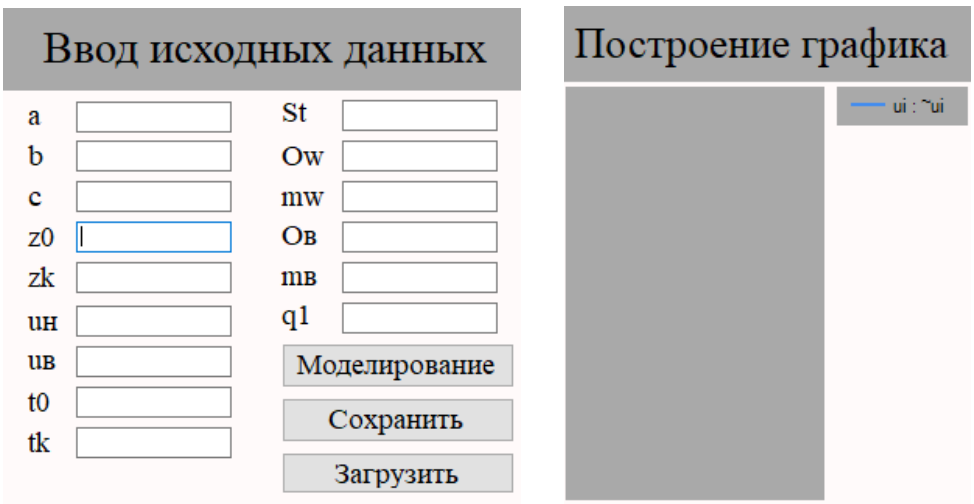
– расчет значений оптимального управляющего воздействия по критерию минимума затрат энергии;

– реализация алгоритма прогнозирования и компенсации возмущений;

– построение графиков фазовых координат и управляющих воздействий;

– сохранение массивов исходных данных и результатов работы программного модуля в базе данных.

Графический интерфейс программного модуля показан на рис. 1.



а) *б*)

Рис. 1. Интерфейс программного модуля:

а – окно ввода исходных данных; *б* – окно вывода результатов (построения графика)

Практическое применение разработанного программного модуля позволит снизить затраты времени на разработку алгоритмического обеспечения систем управления теплотехнологическими объектами.

Библиографический список

1. Грибков, А. Н. Информационно-управляющие системы многомерными технологическими объектами: теория и практика : монография / А. Н. Грибков, Д. Ю. Муромцев. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 164 с.

2. Артемова, С. В. Влияние интенсивности помех на минимизируемый функционал при энергосберегающем управлении с оптимальной фильтрацией / С. В. Артемова, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 8, № 3. – С. 402 – 409.

3. Артемова, С. В. Прогнозирование и компенсация возмущения в системах оптимального управления / С. В. Артемова, Д. Ю. Муромцев, А. Н. Грибков // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 4. – С. 632 – 637.

4. Васильев, А. Н. Программирование на C# для начинающих. Особенности языка / А. Н. Васильев. – М. : Эксмо, 2019. – 528 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНВЕКТОРОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

К. С. Попов,
научный руководитель канд. техн. наук И. В. Рогов

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

В настоящее время рынок отопительных приборов (рис. 1) отличается многообразием предлагаемых решений, значительную долю которых представляют конвекторы различных типов. Важнейшая роль отводится правильному подбору конвекторов, что позволяет создать комфортную среду в отопляемом помещении и сэкономить денежные средства [1].

Основной целью данной работы является проведение сравнительного анализа эффективности конвекторов различного типа (табл. 1). Такой анализ позволяет принять рациональное решение об установке конвекторов при проектировании систем отопления, что позволит избежать таких проблем, как: недостаточный обогрев или перегрев отопляемого помещения, нарушение эстетического вида помещения, нерациональная трата денежных средств.

Для проведения анализа будем использовать конвекторы бренда SPL [2], которые соответствуют техническим требованиям согласно ГОСТ 31311–2022. Приборы отопительные. Общие технические условия [3].

В качестве показателя эффективности конвектора будем использовать объемную тепловую характеристику, рассчитываемую по формуле

$$q_v = \frac{Q_{\text{ном}}}{V}, \tag{1}$$

где $Q_{\text{ном}}$ – номинальный тепловой поток конвектора; V – объем, занимаемый конвектором.

Поскольку ключевую роль при оценке тепловой эффективности конвекторов играет теплообменник, для справедливости расчетов будем использовать конвекторы, схожие по габаритам и одинаковые по типу используемого теплообменника. В нашем случае это медный с гофрированными алюминиевыми ламелями 2/1: 2 – количество трубок теплообменника, 1 – количество рядов трубок по высоте [2].

Используя формулу (1), проведем расчет объемной тепловой характеристики для всех типов конвекторов и сведем полученные результаты в табл. 2.

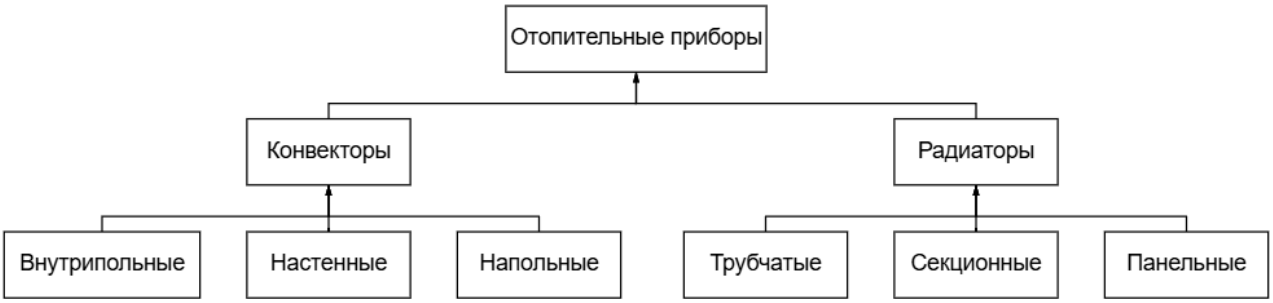


Рис. 1. Основные типы отопительных приборов

1. Преимущества и недостатки конвекторов различного типа

Тип	Преимущества	Недостатки	Сфера применения
Настенный	Универсальный вариант, который подходит в большинстве случаев, простота монтажа, эксплуатации, широкий выбор габаритов	Не подходит для помещений с панорамным остеклением и низкими подоконниками, занимает пространство у подоконника, что может мешать в бытовых условиях	Универсальны ко всем сферам применения
Напольный	Подходят для помещений с низкими подоконниками, максимально простой монтаж	Неудобство в эксплуатации, помехи в бытовом использовании, ограниченность модельного ряда по высоте	Помещения с низкими подоконниками или при невозможности монтажа настенных конвекторов
Внутрипольный	Подходят для помещений с панорамным остеклением, удобство эксплуатации, не занимает пространства в помещении	Сложность монтажа, строгие требования по габаритам, необходимость докупать декоративную решетку, возможность монтажа исключительно в стяжку пола (фальш-пол)	Помещения с панорамным остеклением, квартиры с достаточной высотой стяжки пола

2. Рассчитанные характеристики конвекторов различного типа [3]

Тип конвектора	Габариты, $L \times H \times B$, м	Занимаемый объем V, м^3	Тип теплообменника	Номинальный тепловой поток $Q_{ном}$, Вт	Объемная тепловая характеристика q_v, Вт/м^3
Настенный	0,18×0,3×0,081	$4{,}37 \cdot 10^{-3}$	2/1	1295	296 339
Напольный	0,18×0,09×0,14	$2{,}27 \cdot 10^{-3}$	2/1	1271	559 911
Внутрипольный	0,18×0,11×0,2	$3{,}96 \cdot 10^{-3}$	2/1	661	166 919

Таким образом, можно сделать вывод, что самым эффективным с точки зрения соотношения занимаемого объема и тепловой производительности является напольный конвектор. Стоит отметить, что фактически из-за особенностей монтажа внутрипольный конвектор не занимает объема помещения. Результаты этого анализа можно использовать для выбора оптимального по удобству, эстетическому виду и тепловой производительности конвектора исходя из своих предпочтений.

Библиографический список

1. Дацюк, Т. А. Результаты моделирования микроклимата жилых помещений при различных типах отопительных приборов / Т. А. Дацюк, Ю. П. Ивлев, В. А. Пухкал // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 6(41). – С. 12 – 21.
2. Ассортиментный каталог. Линейка отопительного оборудования SPL [Электронный ресурс]. – URL : https://splpro.ru/wp-content/uploads/2023/08/КАТАЛОГ-Конвекторы-SPL_compressed.pdf (дата обращения: 07.11.2024).
3. ГОСТ 31311–2022. Приборы отопительные. Общие технические условия. – Введ. 2023-02-01. – М. : Российский институт стандартизации, 2022. – 15 с.

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДМИНИСТРАТИВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ПРАВОНАРУШЕНИЯ В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА (ЖКХ)

О. А. Пугина

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

Сфера ЖКХ находится на стыке различных отраслей права. Процесс эксплуатации жилищного фонда регулируется нормами как Жилищного и Гражданского кодекса Российской Федерации, так и административно-правовыми нормами КоАП РФ. А правила предоставления коммунальных услуг регламентируются постановлениями Правительства РФ [1].

Правонарушения в этой области посягают сразу на несколько сфер общественных отношений. А специальной главы, посвященной нарушениям при эксплуатации жилого фонда, как, например, гл. 9 о правонарушениях в области

энергетики, в КоАП РФ нет. Поэтому многочисленные контролирующие органы, компетенция которых не всегда точно определена и зачастую пересекается, могут привлечь за одно и то же правонарушение по различным статьям КоАП. Так, например, подача питьевой воды, не соответствующей санитарно-эпидемиологическим требованиям, может быть квалифицирована по ст. 6.5 КоАП РФ (нарушение санитарно-эпидемиологических требований к питьевой воде); ст. 7.23 (нарушение нормативов обеспечения населения коммунальными услугами) или ч. 2 ст. 14.4 (оказание населению услуг с нарушением требований технических регламентов и санитарных правил). А неправильная квалификация правонарушения, равно как и принятие постановления о привлечении к административной ответственности неуполномоченным органом, является основанием для отмены постановления о привлечении к административной ответственности.

За последнее время самыми насущными проблемами в жилищно-коммунальном хозяйстве стали капитальный ремонт многоквартирных жилых домов и вывоз мусора. Эксперты назвали проблемы реализации программы капремонта в России: недостатки планирования в регионах; неправильная организация работ; нарушения при закупках; отсутствие активности со стороны собственников жилья. Предлагается формировать планы по ремонту за год до начала реализации и избегать внесения изменений. Исключить проведение объединенных торгов, когда проектные работы совмещаются со стройкой. В противном случае подобные сдвоенные аукционы приводят к тому, что подрядчик заинтересован в максимизации прибыли. Использование электронных площадок при закупках позволит сэкономить время и деньги всем участникам процесса и, в первую очередь, самим собственникам. Собственники многоквартирного дома должны получить соответствующие уведомления, согласиться с планом или внести в него корректировки, согласовать их с оператором и провести общее собрание. Только после этого оператор программы может приступить к организации капремонта [3].

Что же касается проблем по предоставлению коммунальной услуги потребителям по своевременному вывозу мусора, то они, к сожалению, очевидны. Президиум Верховного суда утвердил новый обзор практики по делам об обращении с твердыми коммунальными отходами. В нем прописали, что договор между оператором и всеми потребителями из его зоны считается заключенным, даже когда они не оформили единый документ. А если владелец отходов докажет, что оператор некачественно оказал услуги, то оплату за них пересчитают.

Еще ВС запретил устанавливать контейнерные площадки слишком близко к домам и объяснил, кто должен устранить незаконную свалку. Если ее организатор не известен, то убраться обязан владелец земли [4]. Но, к сожалению, как говорится, мусор и ныне там.

Таким образом, для решения проблем административной ответственности в сфере предоставления коммунальных услуг потребителям предлагается:

- уточнить в законодательстве определение понятия «административная ответственность»;
- поддержать инициативу о создании федеральной государственной инспекции, осуществляющей контроль за региональными отделениями;
- избегать обозначенных проблем при реализации капитального ремонта многоквартирных домов и не повышать ответственности собственников, а выполнять обязанности по договору;
- повысить штрафные санкции за несвоевременный вывоз мусора и образования несанкционированных свалок;
- создать специальную главу в КоАП РФ, которая объединяет все составы административных правонарушений, государственные органы и другие ответственные лица, а также санкции в сфере предоставления жилищно-коммунальных услуг потребителям.

Библиографический список

1. О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов : постановление Правительства РФ от 06.05.2011 № 354 (ред. от 24.05.2024). – URL : https://www.consultant.ru/document/ (дата обращения: (25.11.2024).

2. О некоторых вопросах, возникших в судебной практике при рассмотрении дел об административных правонарушениях : постановление Пленума ВАС РФ от 02.06.2004 № 10 п. 9. – URL : https://www.consultant.ru/document/ (дата обращения: 25.11.2024).

3. Эксперты назвали 5 проблем реализации программы капремонта в России. Подробнее на РБК. – URL : https://realty.rbc.ru/news/ (дата обращения: 27.11.2024).

4. Обзор судебной практики по делам, связанным с обращением с твердыми коммунальными отходами (утв. Президиумом Верховного Суда РФ 13.12.2023). – URL : https://www.consultant.ru/document/ (дата обращения: 25.11.2024).

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

А. А. Расюк

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *rasyuk2a@gmail.com*)

При рассмотрении энергетики в масштабах страны одним из ключевых факторов энергообеспечения является обширная территория, имеющая различные районы с различными типами энергоснабжения, такими как: централизованное, автономное и распределенное [1, 2]. Если централизованное энергоснабжение может быть достаточно эффективным и оптимизированным в промышленных масштабах, то автономное энергоснабжение чаще всего не стандартизировано и реализуется по факту необходимости, из-за чего возникает проблема высокой стоимости и низкого КПД автономных энергосистем.

Из структуры производства электроэнергии можно сделать вывод, что возобновляемые источники энергии имеют низкий процент распространения и применения, хотя несут в себе высокий потенциал. Потенциал обусловлен наличием большого количества районов с высокой ветроэнергетикой, а также хоть и немногочисленными, но и имеющимися районами с продолжительной среднегодичной солнечной активностью.

Возобновляемые источники энергии при правильном использовании могут обеспечивать существенный процент пользовательских энергозатрат [3, 4], но для эффективного использования необходимо точно рассчитывать и предсказывать количество ветрогенераторов и солнечных батарей. Исходя из среднестатистического энергопотребления и исторических погодных данных, можно разработать систему, практически независящую от внешних или централизованных источников энергии.

Опираясь на вышеописанные проблемы и применяя подходы к созданию автоматизированных предиктивных систем с использованием информационных технологий [5, 6], разработана модель, позволяющая минимизировать использование сторонних источников энергии. Алгоритм работы модели реализован посредством написания программного обеспечения под описанную задачу. На вход модели подаются данные о погодных условиях за продолжительный промежуток времени (периодом от года) в конкретной местности.

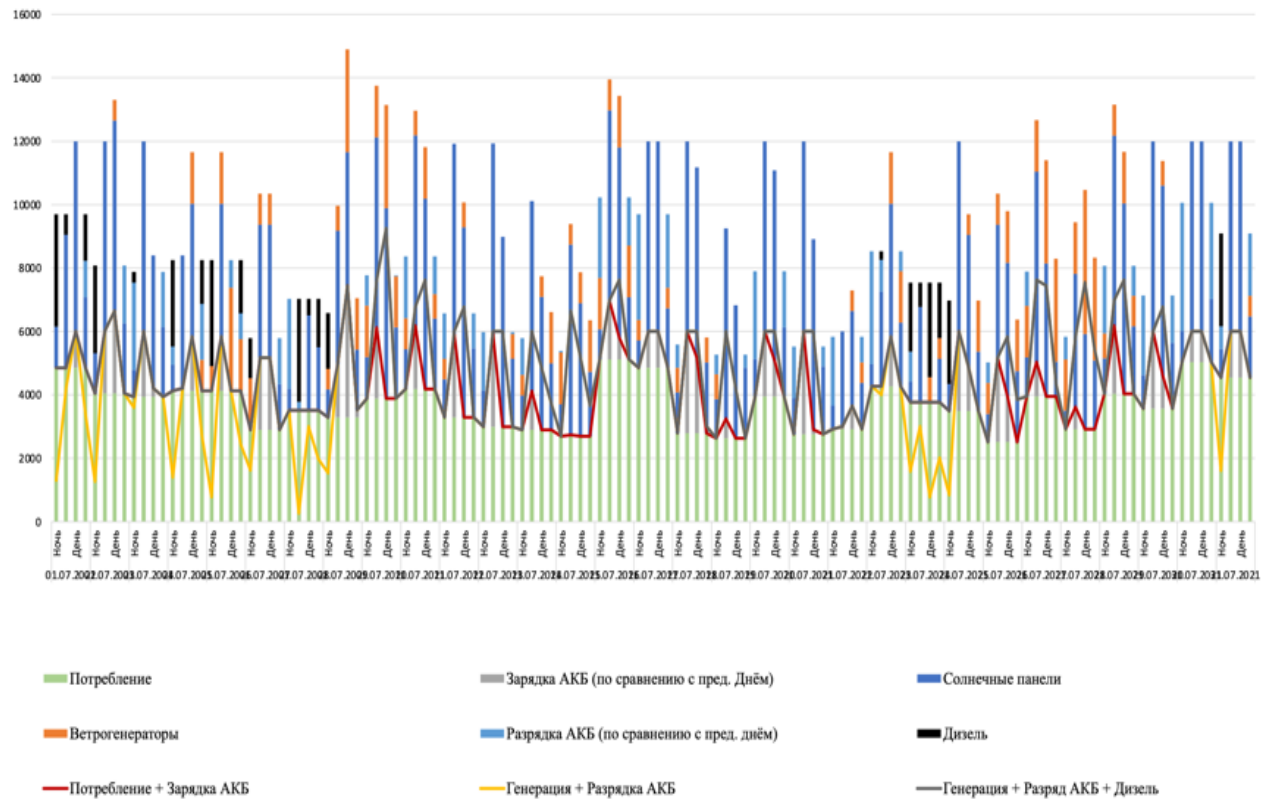


Рис. 1. Результаты расчета генерирующих мощностей на базе возобновляемых источников энергии

Также вводятся данные среднестатистического потребителя и умножаются на случайные коэффициенты (0,8…1,2) для имитации отклонений. На каждом шаге алгоритма вычисляется суммарное количество энергии, полученной от внешних источников на протяжении года.

В ходе перебора различного количества солнечных панелей и ветрогенераторов находится такая комбинация, которая использует меньше энергии из сторонних источников и в то же время является самой дешевой по себестоимости. На графике, представленном на рис. 1, можно увидеть результат работы модели и полученные значения расхода энергии по дням.

Реализованное программное обеспечение позволяет предиктивно проанализировать систему с возобновляемыми источниками энергии и путем подбора необходимой конфигурации ветрогенераторов и солнечных панелей минимизировать затраты энергии от внешних источников.

Библиографический список

1. Sustainable energy systems in the digital economy: concept of smart machines / V. A. Shakhnov, S. S. Filin, A. I. Krivoshein, A. I. Vlasov // Entrepreneurship and Sustainabil-ity Issues. – 2019. – V. 6, No. 4. – P. 1975 – 1986.

2. Modeling energy-efficient consumption at industrial enterprises / G. N. Todorov, E. E. Volkova, A. I. Vlasov, N. I. Nikitina // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2019. – V. 9, No. 2. – P. 10 – 18.

3. Prospects and Challenges of the Machine Learning and Data-Driven Methods for the Predictive Analysis of Power Systems: A Review / W. Strielkowski, A. Vlasov, K. Selivanov, et al. // Energiesthis link is disabled. – 2023. – No. 16(10). – 4025.

4. Trend Analysis in the De-velopment 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.

5. Design methods of teaching the development of internet of things components with considering predic-tive maintenance on the basis of mechatronic devices / A. V. Yudin, M. A. Salmina, V. A. Shakhnov, et al. // International Journal of Ap-plied Engineering Research. – 2017. – No. 12(20). – P. 9390 – 9396.

6. An information system of predictive maintenance analytical support of industrial equipment / V. V. Echeistov, A. I. Krivoshein, V. A. Shakhnov, et al. // Journal of Applied Engineering Science. – 2018. – V. 16, No. 4. – P. 515 – 522.

ВЫЯВЛЕНИЕ ДЛИН ВОЛН ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ САХАРА В ИСХОДНОМ СЫРЬЕ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

Н. О. Сорока, Д. С. Баршутина

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *rus68-00@mail.ru*; *dafge5@yandex.ru*)

Интенсивное развитие сельского хозяйства в России, в частности бурное развитие сахарной отрасли, ставит перед специалистами новые вызовы. Ключевой среди них – повышение эффективности и точности контроля качества на всех этапах производства, начиная с анализа исходного сырья. Традиционно российские сахарные заводы полагаются на химический анализ для определения содержания сахарозы в свекле или тростнике. Однако этот метод, несмотря на свою точность, обладает существенными недостатками.

Известны методы измерения сахара, базирующиеся на поглощении инфракрасного излучения в диапазоне длин волн 950…970 нм. Анализ источников по определению сахара в различных растворах показал интенсивные попытки разработки рассматриваемых методов в области медицины. Однако реальных образцов приборов, которые реализуют методы контроля сахара и находятся в продаже, выявлено не было. В основном это связано с низкой чувствительностью методов. В отличие от медицинского применения, методы контроля сахара в исходном сырье сахарных заводов не требуют высокой чувствительности при определении сахара, так как получаемая при подготовке к контролю субстанция обладает высоким содержанием сахара от 11 до 21%. Для медицинского применения сахар в крови необходимо определять с содержанием от 0,07 до 0,38%, что соответствует 2 ммоль/л и 11 ммоль/л соответственно. Кроме малых концентраций, на точность измерения сахара в крови при неинвазивном методе контроля оказывают другие компоненты крови, соответственно отсутствующие в контрольной субстанции исходного сырья сахарных заводов.

В диапазоне длин волн от 780 до 1100 нм валентные колебания связи С–Н проявляются через второй и третий обертоны, имеющие длины волн 1100 и 910 нм соответственно. В случае комбинации Н–С–Н в этом диапазоне наблюдается только третий обертон с длиной волны 930 нм, в то время как второй обертон имеет длину волны 1215 нм.

В водных растворах, содержащих сахар, связь О–Н присутствует как в молекуле воды, так и в молекуле глюкозы, что затрудняет выделение колебаний О–Н для каждой из этих молекул.

Напротив, колебания связи С–Н являются более стабильными при изменении температуры. Эта стабильность делает третий обертон колебаний С–Н полезным для применения в методах измерения и калибровки, которые используются для определения содержания сахара как в водных растворах, так и в образцах крови человека.

Рассмотрим спектр поглощения инфракрасного диапазона молекулой сахара в растворе воды (рис. 1).

Таким образом, для воды во втором обертоне валентного колебания с длиной волны 970 нм вероятность проявления колебаний выше. Однако на этой длине волны невозможно точно определять концентрацию глюкозы в водном растворе, поскольку глюкоза в диапазоне длин волн от 950 до 980 нм имеет минимальный коэффициент поглощения. Наиболее подходящий диапазон для проведения измерений находится между 1020 и 1050 нм, так как именно в этом диапазоне наблюдается максимальный коэффициент поглощения.

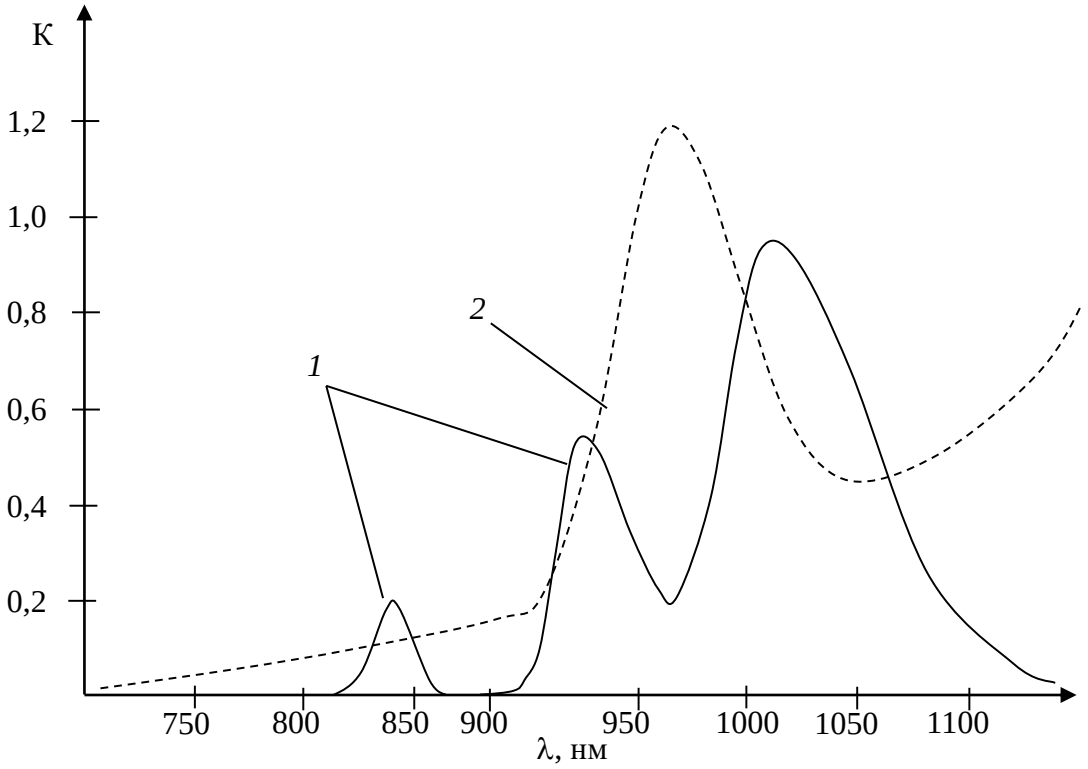


Рис. 1. Спектры поглощения глюкозы (*1*) и воды (*2*)

Библиографический список

1. Баршутина, Д. С. Колебательные спектры молекул глюкозы в растворах воды / Д. С. Баршутина, А. С. Баршутина, С. Н. Баршутин // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. IX Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Тамбов, 07 мая 2024 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2024. – С. 351–352.
2. Пат. № 2574571 C1 Российская Федерация, МПК A61B 5/145, A61B 5/00. Способ неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови / Крыжановский Э. В., Аджемов А. С., Григорян А. Г. ; № 2014152166/14 ; заявл. 22.12.2014 ; опубл. 10.02.2016.
3. Баршутина, Д. С. Исследование вероятности переизлучения глюкозой в живых организмах / Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : сб. тр. Восьмой Всерос. молодежной науч. конф., Тамбов, 10 мая 2023 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 244 – 246.

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ЧЕТЫРЬМЯ НЕЗАВИСИМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА г. ОРЛА

В. П. Шарупич[1, 2], П. В. Шарупич[2], С. В. Шарупич[2], Т. С. Шарупич[2]

[1]*Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина, г. Орел, Россия*
(*e-mail*: *patent48@mail.ru*)
[2]*Общество с ограниченной ответственностью «Патент», г. Орел, Россия*
(*e-mail*: *tssharupich@yandex.ru*)

Современное геополитическое и социально-экономическое положение России на мировой арене требует усиления межотраслевой консолидации и увеличения государственного регулирования при реализации инновационных разработок, которые могут дать необходимый сегодня эффект, но до настоящего времени не реализованы [1 – 4].

Одно из наиболее важных и актуальных в этой связи – государственная реализация совмещенных технологий, различных отраслей. Целью работы является применение совмещенных технологий теплоэлектроснабжения – метода «Две сестры» типа ДС (методология расчета), обеспечивающих снижение установленной мощности и повышение надежности электротеплоснабжения с 4 независимыми источниками (методология расчета) на примере перспективного Центрального района г. Орла.

Поставленная цель достигается путем решения следующих задач.

1. Безубыточность и максимальная энергоэффективность отраслей.

2. Совмещение технологий в отраслях теплоэлектроснабжения, промышленности, градостроительства, обороны, МЧС.

3. Разработка методологии расчета мощности и надежности:

3.1. Разработка методики расчета мощности электротеплоснабжения перспективного Центрального района г. Орла:

3.1.1. Определение свободной мощности первого энергетического кольца перспективного Центрального района г. Орла;

3.1.2. Определение свободной мощности второго энергетического кольца перспективного Центрального района г. Орла;

3.1.3. Определение свободной мощности третьего энергетического перспективного кольца перспективного Центрального района г. Орла;

3.1.4. Определение суммарной свободной мощности перспективного Центрального района г. Орла;

3.2. Разработка методики расчета надежности теплоэлектроснабжения с 4 независимыми источниками и надежность мТЭЦ перспективного Центрального района г. Орла.

4. Обеспечение увеличения продолжительности жизни человека.

5. Обеспечение государственного регулирования через Россовтехнадзор.

Разработка методологии расчета мощности и надежности теплоэлектроснабжения с 4 независимыми источниками перспективного Центрального района г. Орла методом «Две сестры» типа ДС, обеспечение перехода технологии теплоэлектроснабжения в отрасли промышленности, градостроительства, обороны, МЧС, АПК, обеспечение самоокупаемости жилых зданий, увеличение продолжительности жизни человека, обеспечение общегосударственного регулирования через Россовтехнадзор являются важнейшими задачами, решением которых в настоящий момент интенсивно занимаются компании «Патент», «ЦК», ФГБУ ВО «Орловский ГАУ имени Н. В. Парахина», НИПИ «Градоагроэкопром», «Воля» совместно с другими организациями.

Выводы.

1. Разработана нормативная база, проектные решения для обеспечения безубыточности и максимальной энергоэффективности отраслей теплоэлектроснабжения.

2. Разработана нормативная база для обеспечения перехода технологии теплоэлектроснабжения в отраслях промышленности, градостроительства, обороны, МЧС, АПК.

3. Разработаны методологии расчета мощности и надежности теплоэлектроснабжения мТЭЦ перспективного Центрального района г. Орла. Метод «Две сестры» типа ДС. Государственный подход.

4. Подготовлена учебная и нормативно-правовая база государственного регулирования через Россовтехнадзор.

Библиографический список

1. Методология расчета социальной экологичности, надежности электроснабжения, увеличения продолжительности жизни человека и развития территорий в системе электроснабжения типа «Андреевский крест» / В. П. Шарупич, С. В. Шарупич, П. В. Шарупич и др. // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 2, № 8. – С. 35 – 40.

2. Шарупич В. П. Бессмертие : учебник для вузов / В. П. Шарупич. – Орел : Изд-во «Патент-Град-РИЦ». – 2020. – Т. 1. – 892 с.

3. Комплексное развитие сельских территорий на основе планетарно-прогностического блочно-модульного размещения объектов как механизм продовольственной безопасности / В. П. Шарупич, П. В. Шарупич, С. В. Шарупич, Т. С. Шарупич // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2022. – Т. 12, № 6А. – С. 114 – 123.

4. Теоретические основы исследований, проектирования, изготовления, строительства и эксплуатации многоэтажных интеллектуальных живых самоокупаемых домов серии СИЖ142-Т-S-A-n.T.5 / В. П. Шарупич, П. В. Шарупич, С. В. Шарупич, С. Ю. Королев. – Орел : Изд-во «Патент-Град-РИЦ». – 2020. – 584 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ГИДРОТУРБИНЫ

Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, А. А. Шитиков

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

Повышение энергоэффективности здания является актуальной и важной темой в современном мире. С учетом изменения климатических условий и повышения расходов энергии, обеспечение энергоэффективности зданий становится неотъемлемой частью строительной индустрии [1, 2].

Для повышения энергоэффективности здания предлагается использовать свободно движущийся поток системы водоотведения. Энергию стоков предлагается преобразовывать в электрическую энергию посредством использования мини-турбин [3].

Эффективность работы ротора турбины характеризуется его способностью отбирать у потока часть мощности. Доля этой мощности оценивается коэффициентом использования энергии потока

$$C_N = N/N_f ,$$

где N – полезная мощность, создаваемая вращающимся ротором; N_f – мощность потока.

Формула показывает, что коэффициент использования энергии потока C_N является главной характеристикой ротора. Поэтому при выполнении расчета ротора необходимо знать зависимость коэффициента от основных безразмерных параметров (коэффициента быстроходности, геометрических параметров ротора, числа лопастей, коэффициента заполнения, угла атаки).

Мощность потока

$$N_f = \frac{1}{2}\rho\upsilon^3 S,$$

где ρ – плотность среды потока, кг/м^3; S – площадь поверхности лопатки, м^2; υ – скорость потока, м/с.

Полезная мощность, создаваемая вращающимся ротором:

$$N = M\omega,$$

где ω – угловая скорость вращения ротора, рад/с; M – крутящий момент, Н·м.

Момент можно определить двумя способами:

– произведением результирующей силы на плечо

$$M = Rb,$$

где R – результирующая сила, стремящаяся повернуть лопатку; b – хорда;

– через экспериментальный безразмерный коэффициент момента

$$M = C_m\rho\upsilon^2 Sb/2,$$

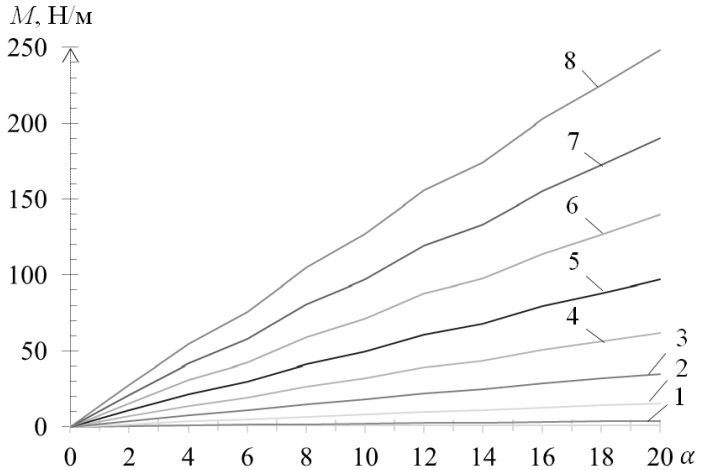
где C_m – экспериментальный безразмерный коэффициент момента, который зависит от профиля лопатки.

Исходные данные для расчета: хорда b = 0,02 м; радиус лопасти r = 0,045 м; площадь лопаток S = 0,026 м^2, длинна лопаток l = 0,14 м; диапазон скорости потока 1…8 м/с.

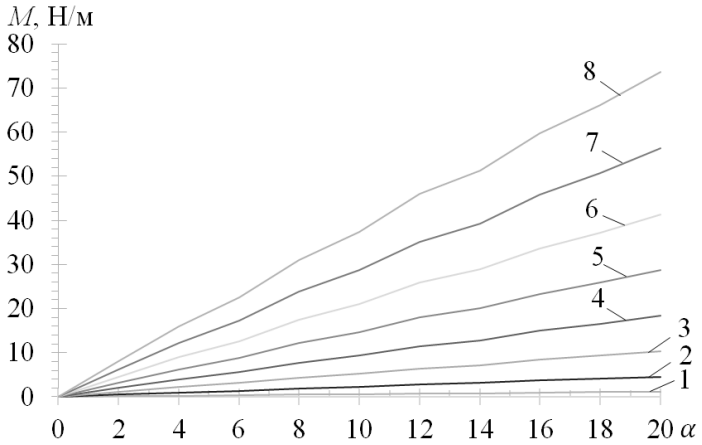
В качестве профиля лопастей турбины выбран профиль *NACA*-0021 [4].

Для различных углов атаки при изменении скорости потока определены полярные точки. После определения подъемной силы и силы сопротивления были получены значения проекции результирующей силы R на хорде профиля. По полученным данным построены диаграммы, представленные на рис. 1.

Согласно данным, представленным на рис. 1, изменение крутящего момента осуществляется в диапазоне 2…250 Н·м. Полученные данные позволят оценить эффективность работы турбины, устанавливаемой в системе водоотведения.



а)



б)

Рис. 1. Диаграмма распределения момента силы от скорости потока и угла атаки:
а – через коэффициент момента силы; *б* – через силу на плечо;
1 – 1 м/с; *2* – 2 м/с; *3* – 3 м/с; *4* – 4 м/с;
5 – 5 м/с; *6* – 6 м/с; *7* – 7 м/с; *8* – 8 м/с

Библиографический список

1. Колесников, Г. Д. Повышение энергоэффективности многоквартирного дома / Г. Д. Колесников, О. Н. Попов // Энергосбережение и эффективность в технических системах. – Тамбов, 2019. – С. 195–196.

2. Колесников, Г. Д. Перспективы развития систем индивидуального теплоснабжения / Г. Д. Колесников, О. Н. Попов // Энергетика, проблемы и перспективы развития. – Тамбов, 2019. – С. 35–36.

3. Повышение энергоэффективности многоквартирного дома / Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, И. С. Простомолотов, С. Р. Ястребов // Цифровая трансформация в энергетике. – Тамбов, 2023. – С. 46 – 48.

4. Ширманов, П. М. Атлас аэродинамических характеристик авиационных профилей / П. М. Ширманов, В. П. Горский. – М. : ОНТИ ИКТП СССР. Государственное авиационное и автотракторное издательство, 1932. – 410 с.

Секция 2

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМАХ РЭС

Д. Р. Антоничев, И. Д. Рябов

Тамбовский государственный технический университет, Россия, Тамбов
(*e-mail*: *neitherhow@gmail.com*; *20theilyarid01@gmail.com*)

Рассмотрим использование цифровых методов для исследования алгоритмов в системах радиоэлектронных средств (РЭС) на примере случайной структуры РЭС при сопровождении воздушных судов (ВС) с использованием двухмерных и трехмерных моделей дальномерного канала [1 – 3]:

двухмерная модель:

$$Д_1(k) = Д_1(k-1) + V_1(k-1)\tau + 0{,}5a_1(k-1)\tau^2; \quad (1)$$

$$V_1(k) = V_1(k-1) + a_1(k-1)\tau; \quad (2)$$

$$a_1(k) = (1-\alpha_ф\tau)a_1(k-1) + \xi_a(k-1), \quad (3)$$

трехмерная модель:

$$Д_2(k) = Д_2(k-1) + V_2(k-1)\tau; \quad (4)$$

$$V_2(k) = (1-\alpha_ф\tau)V_2(k-1) + \xi_v(k-1); \quad (5)$$

модель наблюдения системы измерителя дальности

$$Д_и(k) = Д(k-1) + \xi_Д(k-1)\tau, \quad (6)$$

где Д, V и a – дальность, скорость и ускорение воздушного судна по линии визирования; $\alpha_ф$ – постоянная времени маневра; $\xi_a(k-1)$ – гауссовский шум.

С учетом моделей (1) – (6) получим модель системы для совместной оценки дальности воздушного судна со случайной скачкообразной структурой:

$$Д_o(k) = \sum_{m=1}^{2} W_m(k-1)\, Д_{om}(k-1), m = 1, 2, \dots, \quad (7)$$

где W_m – весовые коэффициенты оценок фильтрации 1-го и 2-го фильтров.

На основании выражений (1) – (7) и алгоритмов калмановской фильтрации [2 – 5] проведено моделирование 1-го, 2-го фильтров и совместной оценки двух фильтров (зависимости СКО дальности от времени) – рис. 1.

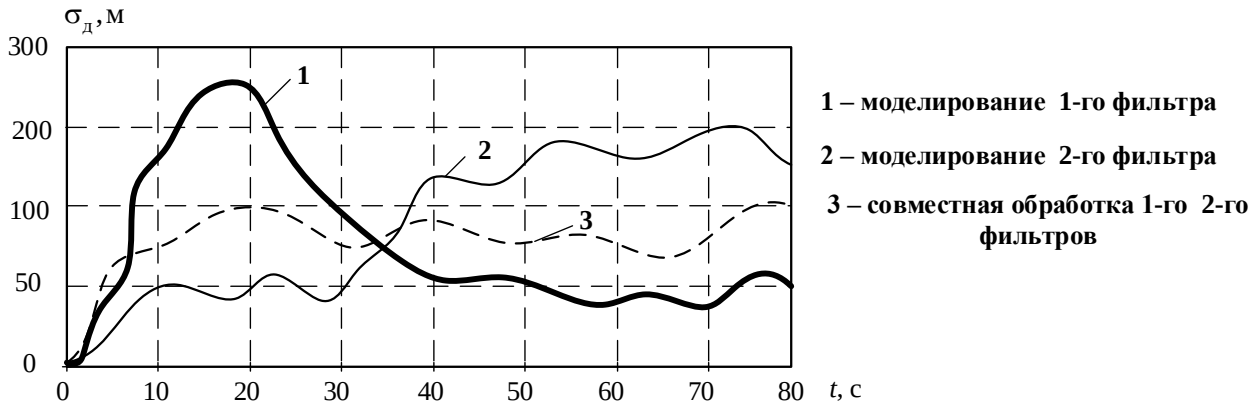


Рис. 1. Зависимости СКО дальности от времени

Таким образом, использование двух фильтров со случайной структурой измерителя дальности позволяет повысить точность траекторной обработки информации при сопровождении воздушных судов на всех этапах маневра ВС.

Библиографический список

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

2. 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.

3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

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

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. Р. Бегдамиров

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

Электроэнергетика – один из важнейших видов промышленного производства, включающий в себя производство, передачу и сбыт электроэнергии и являющийся основой функционирования экономики и жизнеобеспечения населения. Важным условием конкурентоспособности энергетики является внедрение энергосберегающих технологий во всех звеньях экономики и, в частности, повышение экономической эффективности использования энергоресурсов в промышленности.

Важнейшим производителем электроэнергии в области является филиал ПАО «Квадра» – «Тамбовская генерация», производство электроэнергии осуществляют также блокстанции сахарных заводов и предприятий других видов экономической деятельности.

Из всех нетрадиционных источников энергии наиболее эффективными и экологически чистыми являются солнечные электростанции и ветрогенераторы.

В настоящие время в Тамбовской области наиболее экономически целесообразно и имеет все перспективы к развитию получение с помощью ветрогенераторов не электрической энергии промышленного качества, а постоянного или переменного тока (переменной частоты), с последующим преобразованием его с помощью ТЭНов в тепло для обогрева жилья и получения горячей воды. Эта схема имеет несколько преимуществ: отопление является основным энергопотребителем любого дома в области; схема ветрогенератора и управляющей автоматики кардинально упрощается; потребление тепла не так требовательно к качеству и бесперебойности.

В нашей Тамбовской области среднегодовая скорость ветра не превышает 5 м/с, в связи с чем более целесообразно использование ветрогенератора с вертикальной осью вращения, так как ему достаточно 1 м/с, чтобы начать вырабатывать электричество. Применение такого рода ветрогенераторов в Тамбовской области поможет снять ограничения по использованию энергии ветра в целях электроснабжения. Наиболее прогрессивная технология – сочетание в одном устройстве генераторов двух видов – вертикального ветрогенератора и ФЭМ

(фотоэлектрические модули) – солнечные панели. Дополняя друг друга, совместно они смогут гарантировать производство достаточного количества электроэнергии на любых открытых территориях (например, в полях) в климатических условиях Тамбовской области, достаточных, например, для уличного освещения или питания объектов инженерно-технической инфраструктуры.

Таким образом, эффективное использование нетрадиционных источников энергии в энергетических системах сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области имеет значительный потенциал для обеспечения энергетической независимости, снижения затрат на энергоресурсы и улучшения экологической обстановки. Для реализации данного потенциала необходимо не только использование передовых технических решений в области энергоэффективного электроснабжения, но и усиление государственной поддержки и разработка мер по стимулированию использования нетрадиционных источников энергии на сельскохозяйственных предприятиях.

Библиографический список

1. Германович, В. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли, биомассы / В. Германович, А. Турилин. – СПб. : Наука и техника, 2011.

2. Солнечная энергия : учебное пособие для школ / под ред. А. Агеева. – Волгоград : Книга, Международный Центр просвещен. «Вайленд – Волгоград», 2000.

КОНЦЕПЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ И КАЧЕСТВА ПОСТАВЛЯЕМОЙ ИМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СРЕДСТВАМИ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4…10,0 кВ

А. В. Виноградов

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Москва, Россия
(*e-mail*: *winaleksandr@gmail.com*)

Как отмечается в выступлениях представителей ПАО «Россети», посвященных цифровой трансформации электросетевого комплекса, «распределительные сети напряжением 6…10/0,4 кВ становятся центральным звеном в структуре распределения электроэнергии и в сфере ответственности электро-

сетевой компании». Целью работы является создание концепции повышения надежности электроснабжения сельских потребителей и качества поставляемой им электроэнергии средствами цифровой трансформации электрических сетей 0,4…10,0 кВ. Для этого выполняется анализ текущего состояния электрических сетей, надежности электроснабжения сельских потребителей и качества поставляемой им электроэнергии. Предлагаются принципы управления конфигурацией электрических сетей, указывается основное оборудование реализации этих принципов.

В настоящее время имеется ряд проблем с надежностью электрических сетей 0,4…10,0 кВ, обусловленных, в первую очередь, несовершенством конфигурации сетей. Так, средняя протяженность линий 0,4 кВ по филиалам ПАО «Россети Центр» и «ПАО «Россети Центр и Приволжье» составляет от 737 до 985 м. 95% линий 0,4 кВ радиальные и радиальные с отпайками. С использованием самонесущих изолированных проводов (СИП) выполнено по разным филиалам от 2 до 56%. Более половины оборудования сетей находятся в эксплуатации более 35 лет [1].

Завышенная протяженность совместно с износом сетей приводит к тому, что поток отказов в них доходит до 37 год$^{-1}$ на 100 км и более, а время восстановления – до 8 ч. Ущербы от недоотпуска электроэнергии составляют порой более 300 руб./(кВт·ч) [2].

Качество электрической энергии также ухудшается из-за завышенной длины ЛЭП 0,4 кВ. Например, в Орловской области за 2021 год потребители обращались по поводу искажений качества электроэнергии 1076 раз, а за период с 2018 по 2021 год – 5215 раз [1].

Концепции построения сельских сетей 0,4…10,0 кВ, принятые в 50 – 70-х годах прошлого века устарели, и требуется создание новых, учитывающих тенденции развития всего электросетевого комплекса, включая появление и развитие в структуре систем электроснабжения сельских потребителей ВИЭ, систем накопления электроэнергии.

Предлагаемая концепция основывается на следующих принципах управления конфигурацией и цифровой трансформации электрических сетей: обеспечение наблюдаемости, управляемости, гибкости конфигурации, сегментируемости, интеллектуализации сетевого оборудования, интегрированности в экономику. Оборудование сети должно оснащаться соответствующими программными средствами, средствами связи, позволяющими объединять их в единые системы мониторинга, учета, контроля и управления, системы диспетчеризации сети. На основе получаемых от устройств данных осуществляются прогнозирование, планирование, управление в электрических сетях.

Ключевыми техническими средствами, позволяющими осуществлять концепцию, являются разрабатываемые устройства секционирования и резервирования электрической сети 0,4 кВ, универсальные микроконтроллерные блоки управления, устройства мониторинга, цифровые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ, устройства и системы адаптивного автоматического регулирования напряжения и др.[2].

Применение указанных видов оборудования позволяет решать вопросы повышения надежности электроснабжения сельских потребителей и повышения качества поставляемой им электроэнергии за счет реализации новых способов, технических решений для сезонного резервирования питания потребителей, сокращения потерь электроэнергии, секционирования и резервирования электрических сетей [3].

Библиографический список

1. Виноградова, А. В. Энергосистема Орловской области: обзор статистической информации : монография / А. В. Виноградова, А. А. Лансберг, А. В. Виноградов ; под ред. А. В. Виноградова. – Орел : Изд-во «Картуш», 2023. – 360 с.

2. Виноградов, А. В. Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации : монография / А. В. Виноградов. – Орел : Изд-во «Картуш», 2022. – 392 с.

3. Новые решения для сельских электрических сетей: управление конфигурацией. Сокращение потерь. Обеспечение наблюдаемости / А. В. Виноградов, В. Е. Большев, А. В. Виноградова и др. – Орел : ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2024. – 236 с.

ЭВОЛЮЦИЯ СТАНДАРТОВ В ТРАНСФОРМАТОРОСТРОЕНИИ: ОТ ГОСТ 401–41 ДО ГОСТ 12965–67

Е. В. Винокуров, Р. А. Тендетник, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев

Орловский государственный аграрный университет им. Н. В. Парахина, г. Орел, Россия

(*e-mail*: *Vinokurov.228@bk.ru*)

История развития стандартизации в России берет свои корни в царской эпохе, когда существовали первые стандарты и нормативные документы, касающиеся качества товаров. Процесс стандартизации начал набирать силу

в начале XX века, особенно после создания Министерства финансов в 1860 году, которое стало ответственным за товарную сертификацию и контроль качества.

Одним из первых систематизированных подходов в данной области стал «Устав о весах и мерах», принятый в 1835 году. Этот документ установил единые меры и весы для торговли, что положило начало организации и унификации норм в сфере коммерции. В 1913 году был принят «Закон о товарных знаках», который также касался вопросов качества и идентификации товаров, утвердив важные принципы защиты прав потребителей и производителей.

Тем не менее современная система государственного стандарта, известная как ГОСТ (Государственный стандарт), начала формироваться лишь в советский период – с 1925 года. С тех пор система ГОСТ претерпела значительные изменения и дополнения, охватывая широкий спектр отраслей и продукции, что свидетельствует о важности и необходимости стандартизации в условиях современного рынка.

Трансформаторы являются важнейшими элементами электрических систем, обеспечивая передачу и распределение электроэнергии. Эффективное и безопасное функционирование трансформаторов зависит от соблюдения стандартов и норм, что стало возможным благодаря разработке и введению государственных стандартов (ГОСТ) на данное оборудование.

В январе 1965 года был одобрен стратегический план по комплексной стандартизации в области трансформаторостроения, который включал перечень государственных стандартов, касающихся трансформаторов, их компонентов и материалов, требующих разработки или пересмотра. В рамках данного плана предусматривалась разработка 32 стандартов, из которых 12 были направлены на замену устаревших действующих нормативов. Из общего числа стандартов 10 посвящены трансформаторам, в то время как 22 относятся к комплектующим изделиям и электротехническим материалам, используемым в трансформаторостроении.

Стандартизации подлежали различные аспекты, включая общие технические требования к трансформаторам, стандартизированные методы испытаний, нормы испытательных и разрядных напряжений, силовые трансформаторы с напряжением от 6 до 500 кВ, трансформаторы для электропечей, трансформаторное масло и т.п.

ГОСТ 401–41, действовавший до 1 июля 1968 года, устанавливал основные технические требования и характеристики для масляных трансформаторов с номинальными напряжениями до 110 кВ и мощностью до 60 000 кВА, являясь

фактически единственным стандартом, регулирующим использование силовых трансформаторов [1].

Базовый стандарт, регулирующий силовые трансформаторы, был установлен в 1965 году Комитетом стандартов в форме ГОСТ 11677–65 «Трансформаторы (и автотрансформаторы) силовые. Общие технические требования». Он представляет собой основной стандарт, который охватывает почти все силовые трансформаторы общего назначения как масляного, так и сухого типа (при этом ГОСТ 401–41 касался исключительно масляных трансформаторов) [2].

Согласно стандарту, предусмотрено как изготовление трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН), так и устройств с переключением напряжения без возбуждения (ПБВ). Кроме того, установлен срок службы контактов переключающих устройств РПН, которые должны выдерживать разрывающий ток при переключении. Минимальное количество переключений для таких устройств должно составлять: 30 000 – для токоограничивающих реакторов и активных капаситивных сопротивлений при номинальном токе до 100 А; 40 000 – для активных сопротивлений при токах до 1000 А и 20 000 переключений для токов более 1000 А [2]

В ГОСТ 11677–65 были внедрены новые конструктивные аспекты того времени, улучшающие эксплуатационную надежность трансформаторов по сравнению с ГОСТ 401–41. Среди них: съемные вводы; защита трансформаторного масла; съемное дно расширителя; съемные баки; современные охлаждающие устройства. Внедрение указанных мероприятий увеличило гарантийный срок трансформаторов [2].

Таким образом переход от ГОСТ 401–41 к новым стандартам, таким как ГОСТ 11677–65, стал знаковым этапом в развитии трансформаторостроения в России. Основные технические изменения, внедренные в новые стандарты, не только расширили диапазон мощностей и напряжений для трансформаторов, но и повысили их эксплуатационные характеристики и надежность.

Библиографический список

1. ГОСТ 401–41. Масляные трансформаторы. Технические требования и характеристики // Росстандарт. – М. : Издательство стандартов, 1962. – 36 с. – URL : http://www.gost.ru (дата обращения: 10.11.2024).

2. ГОСТ 11677–65. Трансформаторы (и автотрансформаторы) силовые. Общие технические требования // Росстандарт. – М. : Издательство стандартов, 1965. – 50 с. – URL: http://www.gost.ru (дата обращения: 10.11.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ ЯЗЫКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

М. М. Волынкина, Д. Е. Широков

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

(*e-mail*: *volynckina.masha@yandex.ru*; *den123140@gmail.com*)

В работе рассматривается применение визуальных языков при создании интегрированной системы контроля и передачи информации. Целью является разработка методики проектирования с использованием унифицированного языка моделирования (XtUML). Для решения этой задачи рассматривается структура данного языка, его преимущества и способы интеграции средств визуального проектирования в процесс разработки подобных систем. Результатом работы является методика разработки, которая обеспечивает эффективное проектирование сложных интегрированных систем.

В производственных процессах электроэнергетики используются системы, собирающие данные с датчиков в реальном времени и передающие их для дальнейшей обработки. Разработка данных систем требует каскадирования процесса разработки, что сложно без согласованного и формализованного представления создаваемых систем на разных уровнях абстракции. Применение визуального языка XtUML (Executable and Translatable UML) способствует этому.

В работе рассматривается методика применения XtUML для разработки интегрированной системы контроля и передачи информации о параметрах работы объекта электроэнергетики. Основное внимание уделено интеграции XtUML с языками программирования и схемотехническими решениями. Проанализированы методы и инструменты взаимодействия визуальных моделей и кода, предложен маршрут разработки сложных систем управления с использованием визуальных инструментов.

Моделирование на языке XtUML происходит на нескольких уровнях абстракции. Результатами этого моделирования являются пять основных моделей: вариантов использования, деятельности, компонентов, развертывания и размещения [1]. Последовательное формирование каждой модели предусматривает разработку соответствующих диаграмм, что позволяет структурировать процесс перехода от анализа технического задания (ТЗ) к написанию программного кода и разработке схемотехнического решения, что приводит

к уменьшению количества ошибок и неопределенностей, возникающих в процессе разработки [2].

Используя средства языка XtUML, можно получить следующий маршрут разработки системы контроля и передачи информации:

I Этап. Цель: Анализ ТЗ [3].

После прочтения ТЗ необходимо выбрать парадигму и язык программирования. Составить список задач, выполняемых системой. Принять решение об использовании микроконтроллера.

II Этап. Цель: Формирование диаграммы предметной области.
Происходит выделение крупных подсистем – доменов, определение их взаимных требований и связей. На следующих шагах маршрут разделяется на независимые ветви, соответствующие выделенным доменам.

III Этап. Цель: Формирование диаграммы классов.

Выделяются классы для объектов, сходных по функционалу или структуре, определяются их методы и функции. Для ранее определенных задач выбираются схемотехнические решения или готовые модули, описываются их функции и параметры.

IV Этап. Цель: Формирование диаграммы состояний.

Необходимо составить диаграммы состояний системы с точки зрения пользователя и внутренних процессов для каждого домена.

V Этап. Цель: Формирование диаграммы действий.

Описывается алгоритм работы доменов и системы в целом. Алгоритм может описываться с точки зрения: выполнения программы, пользователя или работы аппаратной части.

VI Этап. Цель: Завершение процесса разработки [4].

На основе разработанных моделей создается исходный код и происходит формирование принципиальной схемы системы.

Использование предложенной методики позволяет сократить время разработки. Структурированность системного проекта позволяет упростить внедрение новых технических решений.

Библиографический список

1. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон ; пер. с англ. Н. Мухина. – 2-е изд. – М. : ДМК Пресс. – 496 с.

2. Хальзев, С. Е. Применение визуальных средств для системного моделирования цифровых интегральных схем / С. Е. Хальзев, А. И. Власов, В. А. Шахнов. – М. : МЭС-2020, 2020.

3. Курносенко, А. Е. Поддержка жизненного цикла объектов приборостроения : учебное пособие / А. Е. Курносенко – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024. – 522 с. (Библиотека «Приборостроение», Т. 8).

4. Введение в технологию коммутационных структур электронных средств : учебное пособие / В. Н. Гриднев, Г. Н. Гриднева, В. П. Жалнин и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024. – 539 с. (Библиотека «Приборостроение». Т. 9).

ОЧИСТКА ОТ ОТХОДОВ ПРОДУКТА РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПУТЕМ УСТАНОВКИ ОЧИЩАЮЩИХ УСТАНОВОК

В. А. Воробьев

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(*e-mail*: *vovamba3@yandex.ru*)

Системы электроснабжения состоят из электростанций, использующих различные источники энергии, сетей электропередачи и распределительных линий. Каждый из этих компонентов может оказывать воздействие на окружающую среду на различных этапах их разработки и использования, включая строительство, производство электроэнергии, вывод из эксплуатации и утилизацию.

Только в 2023 году, по данным Международного энергетического агентства (МЭА), объемы выбросов углекислого газа (CO_2), связанные с энергетикой, увеличились на 410 млн т, или на 1,1% и достигли показателя в 37,4 млрд т. В этой связи многие компании заинтересованы в уменьшении загрязнения окружающей среды, сокращении углеродного следа и отходов, эффективном управлении ресурсами. Такое воздействие может быть разделено на эксплуатационные воздействия и строительные воздействия. Все виды производства электроэнергии в той или иной степени оказывают воздействие на окружающую среду, но угольные электростанции являются самыми загрязняющими. Сегодня большая часть электроэнергии вырабатывается путем сжигания ископаемого топлива и производства пара, который затем используется для приведения в действие паровой турбины, которая в свою очередь приводит в действие электрогенератор [1].

Для переработки отходов следует построить специальную станцию по переработке отходов путем преобразования в электричество. На заводы поступа-

ют только те отходы, что остались после сортировки и непригодны для вторичного использования. Заезжающие на территорию завода мусоровозы проходят обязательный радиационный контроль, процедуру взвешивания и учета, после чего отходы выгружаются в приемный бункер-накопитель. Здесь отходы могут накапливаться до двух недель, а затем поступают в котел, который рассчитан на 7 тыс. т отходов и представляет собой 7-этажную конструкцию. На заводе их три, и в каждом из них – по две зоны. Переработка состоит из нескольких этапов [2].

В первой – отходы термически обрабатываются при температуре 1260 °С. Такие критические температуры сжигают абсолютно все, даже ядовитые диоксины. В этой зоне экстремального высокотемпературного сжигания исчезают все вредные элементы.

Вторая зона – камера дожига газовых выбросов. Сюда поступают дымовые газы, образующиеся в процессе сжигания. Даже если допустить, что какие-то вредные вещества прошли первую зону, то при вторичном дожиге, где температура превышает 850 °С, они точно будут уничтожены. Кроме того, в камеру дожига впрыскивается специальный раствор карбамида, чтобы полностью убрать органические соединения и обезвредить дымовые газы.

Затем дымовые газы и шлак попадают в реактор. Там происходит обработка активированным углем и аммиаком, добавляются химические элементы для дополнительного обезвреживания.

Из реактора выходят уже очищенные дымовые газы, они попадают в рукавные фильтры, где очень тонкие трубки отбирают любую фракцию, вплоть до микрочастиц, которые просто витают в воздухе. Как уверяют специалисты, если взять замеры воздуха в городе и воздуха после рукавного фильтра, то на заводе он намного чище.

Итак, тонна мусора через 15 мин после поступления в котел превращается в пар. Этот пар направляется в турбогенератор для производства электроэнергии. При этом на собственные нужды завода расходуется всего 5…10% производимой энергии, остальное поступает в сеть [3].

Переработка отходов на электростанциях играет очень большую роль. Применение данной технологии улучшит состояние экологии планеты и увеличит производство электроэнергии. Уже через 10 лет состояние экологии улучшится на 30%, что говорит о существенном прогрессе в энергетике в целом, поскольку повышается индекс состояния здоровья человека и природы в целом.

Библиографический список

1. Ростех: Энергия из отходов [Электронный ресурс]. – URL : https://rostec.ru
2. УГК энергетика, группа компаний [Электронный ресурс]. – URL : https://www.urgk.ru
3. Энергетика и промышленность России [Электронный ресурс]. – URL : https://www.eprussia.ru

ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГИБРИДНЫХ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

М. С. Воронин

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(*e-mail*: *m.voron4a@mail.ru*)

Введение. Современные тенденции в области электроэнергетики и электроники требуют постоянного совершенствования методов управления качеством электрической энергии.

Теория вопроса. Гибридные фильтрокомпенсирующие устройства (ГФКУ) представляют собой одну из наиболее перспективных технологий для решения проблем, связанных с гармоническими искажениям, реактивной мощностью и колебаниями напряжения [1]. Актуальность данной темы обусловлена увеличением доли нелинейных нагрузок в энергосистемах, что приводит к ухудшению качества электроэнергии и увеличению потерь в сетях.

Методика проведения исследования. Были рассмотрены различные гибридные фильтрокомпенсирующие устройства для определения лучшего варианта гашения высших гармоник.

Описание метода исследования. Наиболее распространенной является классификация по типу используемых компонентов: активные, пассивные и гибридные устройства [2]. Активные фильтры используют электронику для компенсации гармоник, пассивные – основаны на индуктивных и емкостных элементах, а гибридные устройства сочетают преимущества обоих типов. Активные фильтры – обеспечивают высокую степень компенсации гармоник и могут адаптироваться к изменениям в сети. Пассивные фильтры – просты в конструкции и дешевы, но имеют ограничения по диапазону частот [3]. Гибридные фильтры – комбинируют активные и пассивные элементы, что позволяет достичь высокой эффективности при меньших затратах.

Вывод. Гибридные фильтрокомпенсирующие устройства обеспечивают значительное снижение уровня гармонических искажений и реактивной мощности по сравнению с традиционными пассивными фильтрами. Динамические устройства продемонстрировали наивысшую эффективность в условиях изменяющейся нагрузки, что делает их предпочтительными для применения в современных энергосистемах.

Заключение. Гибридные фильтрокомпенсирующие устройства представляют собой важный инструмент для обеспечения качества электроэнергии в условиях современных электросетей. Их разнообразие структур и классификаций позволяет выбрать оптимальное решение для различных условий эксплуатации. В дальнейшем необходимо продолжать исследования в этой области для разработки новых решений, способствующих улучшению характеристик ГФКУ и расширению их областей применения.

Библиографический список

1. Магеррамов, Р. В. Активные и пассивные электрические фильтры / Р. В. Магеррамов // Молодой ученый. – 2017. – № 2(136). – С. 148 – 152.
2. Скамьин, А. Н. Влияние напряжения на параметры электропотребления при наличии высших гармоник / А. Н. Скамьин, В. С. Добуш, Ю. В. Растворова // Вопросы электротехнологии. – 2020. – № 1(26). – С. 61 – 68.
3. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – 2-е изд. – М. : Интермет Инжиниринг, 2006. – 672 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АЭП ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

К. С. Гамбург, Д. С. Волобуев

Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС», Старый Оскол, Россия
(*e-mail*: *ksgam@mail.ru*; *dmut2001@yandex.ru*)

Целью нашей работы является анализ существующих методов управления автоматизированным электроприводом (АЭП) в современных вентиляционных системах в целях повышения качества управления ими. Результаты данного исследования могут быть полезны для промышленных предприятий.

Рассматриваемая в работе вентиляционная установка применяется для отвода отработанных газов из обжиговой машины [1].

Впуск и циркуляция воздуха и газа, необходимые для технологического процесса, обеспечиваются за счет применения технологических вентиляторов. Технологический процесс обжига характеризуется извлечением максимального тепла из процесса охлаждения горячих окатышей и применением принципа непосредственной рекуперации, что означает транспортировку извлеченного горячего воздуха из первой зоны охлаждения в зону предварительного нагрева и обжига.

Вентилятор охлажденного воздуха GQ001 засасывает воздух через шумоглушитель и нагнетает этот воздух через воздуховод-коллектор в дутьевые камеры зон охлаждения I и II.

Охлаждающий воздух нагревается после прохождения через горячие окатыши и собирается в первом и втором охлаждающем кожухе. Эти кожухи устанавливаются непосредственно над слоем и уплотнены относительно движущейся колосниковой решетки. Потоки горячего воздуха возвращаются в технологический процесс в качестве «теплоносителя».

Горячий воздух, собранный во втором охлаждающем кожухе, извлекается сушильным вентилятором с восходящим потоком GQ011 и направляется в дутьевые камеры зоны сушки восходящим потоком.

Давление в дутьевой камере в зоне сушки восходящим потоком автоматически управляется заслонкой QN016, что приводит к избыточному воздуху в системе отработанных газов кожуха.

Вентилятор горячего охлаждения GQ071 производит забор горячего воздуха из газохода вентилятора GQ011 и холодного воздуха с атмосферы. Смешанный до оптимальных температур воздух (100…150 °С) нагнетается в вакуум-камеры № 22–23 под давлением, близким к среднему давлению, создаваемому вентилятором GQ001 (40…60 кПа).

Из кожуха сушки восходящим потоком нагретый воздух всасывается вентилятором отработанных газов кожуха GQ061. После прохождения электростатического фильтра, где пыль будет удалена из отходящего газа, отходящий газ выталкивается в объединенную трубу для отработанных газов WP044.

Рассмотрим возможные способы управления автоматизированным электроприводом вентиляционной установки [2].

Скалярный метод – это поддержание постоянства отношения $\frac{U}{f} = \text{const}$ в рабочих диапазонах скоростей, в процессе которого ведется контроль только за величиной питающего напряжения и его частотой.

Недостатки скалярного метода:

– снижение момента на валу на низких скоростях (возможен перегрев двигателя);

– зависимость скольжения от нагрузки (частота вращения ротора по отношению к магнитному полю статора с ростом нагрузки падает);

– не представляется возможным одновременное регулирование моментом и скоростью.

Векторный метод – метод управления, который дает возможность независимо регулировать как момент на валу, так и скорость вращения вала под нагрузкой, потому что в процессе управления учитываются еще и фазы токов.

Однако векторный метод также имеет недостатки:

– большой объем вычислений при прямом и обратном взаимном преобразовании неподвижной и вращающейся систем координат;

– наличие запаздывания в формировании электромагнитного момента.

Нечеткая логика для управления АЭП промышленного вентилятора позволяет повысить его оперативную автономность, существенно поднять производительность вентиляционной установки, уменьшить влияние человеческого фактора.

Библиографический список

1. Принцип работы промышленных вентиляторов [Электронный ресурс]. – URL : https://venteler.ru/printsip-raboty-promyshlennykh-ventilyatorov/ (дата обращения: 27.09.2024).

2. StudFile. Принципы управления электроприводом [Электронный ресурс]. – URL : https://studfile.net/preview/2065839/page:5/ (дата обращения: 21.10.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЯХ

М. Л. Гогорян

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

Энергетика занимает центральную позицию в поддержании функционирования современного общества. С каждым годом она становится все более важной частью нашей жизни, обеспечивая бесперебойное снабжение электричеством жилых домов, предприятий, учреждений и инфраструктуры. В услови-

ях стремительного технологического прогресса требования к надежности и эффективности энергетических систем возрастают, и перед отраслью встает необходимость внедрения новых решений, способных обеспечить соответствие этим требованиям.

Одним из таких решений являются цифровые двойники – инновационная технология, которая обещает кардинально изменить подходы к управлению и обслуживанию энергетических объектов. Эта концепция, основанная на создании виртуальных копий реальных объектов и систем, постепенно становится неотъемлемой частью современных энергетических инфраструктур.

Цифровой двойник – это высокоточная цифровая модель физического объекта или процесса, которая воспроизводит его характеристики, параметры и поведение в реальном времени. Основная идея заключается в том, чтобы создать точную копию реальной системы, которая будет функционировать параллельно с ней, предоставляя информацию о текущем состоянии, а также позволяя предсказывать возможные сценарии развития событий. Для энергетической сферы такие двойники представляют особую ценность, так как они способны моделировать сложные процессы, происходящие внутри электростанций, линий электропередачи и подстанций. Это дает возможность операторам и инженерам лучше понимать, как работает оборудование, выявлять слабые места и прогнозировать потенциальные неисправности задолго до того, как они приведут к реальным проблемам.

Цифровое преобразование подстанций – это шаг вперед по сравнению с традиционными аналоговыми системами. Современные цифровые подстанции оснащены множеством сенсоров, контроллеров и других интеллектуальных устройств, которые собирают огромные объемы данных о работе оборудования. Эти данные затем поступают в аналитическую систему, где обрабатываются специальными алгоритмами и программными средствами, позволяющими создавать детализированные модели поведения подстанции.

Цифровые двойники играют важную роль в этом процессе, поскольку они предоставляют платформу для симуляции различных условий эксплуатации, тестирования гипотез и оценки последствий изменений в системе. Используя цифровую модель подстанции, инженеры могут экспериментировать с различными параметрами, такими как нагрузка, температура окружающей среды или состояние отдельных компонентов, без риска повредить реальные устройства.

Анализируя данные и моделируя различные сценарии, специалисты могут заблаговременно обнаружить потенциальные проблемы и предпринять необходимые действия для их устранения. Это снижает вероятность возникновения серьезных поломок и повышает общую надежность энергосистемы. Цифровые

двойники позволяют находить наиболее эффективные режимы работы оборудования, минимизируя при этом потребление ресурсов и снижая эксплуатационные расходы. Это особенно важно в условиях ограниченных бюджетов и необходимости снижения затрат на содержание и обслуживание энергетических объектов.

Виртуальные модели дают возможность оперативно оценивать последствия различных управленческих решений, что существенно ускоряет процесс принятия решений и делает его более обоснованным. Вместо долгих расчетов и экспериментов на реальном оборудовании операторы могут использовать цифровые двойники для быстрого анализа и выбора наилучшего варианта действий.

Возможность прогнозирования потенциальных неисправностей и аварийных ситуаций позволяет вовремя провести профилактическое обслуживание и предотвратить серьезные инциденты. Это не только улучшает безопасность эксплуатации, но и уменьшает финансовые потери от вынужденного простоя оборудования. Цифровые двойники легко интегрируются с другими современными технологиями, такими как искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение. Это открывает дополнительные возможности для автоматизации процессов и создания «умных» систем управления, которые будут самостоятельно адаптироваться к изменяющимся условиям и оптимально распределять ресурсы.

Проект по созданию цифрового двойника крупной гидроэлектростанции позволил специалистам точно рассчитать оптимальный режим работы турбин в зависимости от уровня воды в водохранилище, что привело к увеличению выработки электроэнергии на 7% без дополнительных инвестиций в оборудование.

Цифровые двойники становятся важным инструментом для повышения эффективности и надежности работы энергетических систем. Они открывают перед отраслью новые горизонты возможностей, позволяя не только предотвращать аварии и минимизировать затраты, но и обеспечивать устойчивое развитие энергетики в долгосрочной перспективе. Внедрение этих технологий на цифровых подстанциях – это лишь первый шаг на пути к созданию полностью автоматизированной и интеллектуальной энергетической сети будущего.

Библиографический список

1. Виноградов, А. В. Цифровые двойники как инструмент повышения эффективности управления цифровыми подстанциями / А. В. Виноградов // Энергетика XXI века. – 2020. – № 3. – С. 20 – 25.

2. Гвоздев, Д. Б. Разработка критерия оптимальной информационной нагрузки диспетчера ЦУС предприятия электрических сетей / Д. Б. Гвоздев // Вестник МЭИ. – 2013. – № 2. – С. 52 – 55.

ОЦЕНКА МЕТОДОВ РАЦИОНАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТАХ

А. А. Гордеев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *alexander.gordeeff2011@yandex.ru*)

Рациональное потребление электрической энергии – ключ к устойчивому развитию промышленных предприятий. В условиях растущих цен на энергоносители и увеличения стандартов по охране окружающей среды, оценки и внедрения энергосберегающих технологий становятся приоритетной задачей.

Современные системы мониторинга позволяют не только отслеживать текущее потребление энергии, но и анализировать исторические данные, выявляя паттерны и пики нагрузки. Такие системы могут интегрироваться с программным обеспечением для обработки больших данных, что помогает в принятии обоснованных решений по оптимизации.

Энергетический аудит – это комплексная проверка потребления энергии на предприятии. Он включает в себя анализ использования энергии всеми системами и оборудованием. Аудит позволяет выявить неэффективные участки, рекомендуя конкретные изменения и внедрение технологических новшеств.

Замена старого оборудования на энергосберегающее оборудование, которое обладает высоким коэффициентом полезного действия, позволит значительно сократить расходы на энергетические ресурсы. Примером могут служить высокоэффективные электродвигатели, системы управления освещением и климат-контроля.

Рациональная организация производственных процессов позволяет минимизировать затраты электроэнергии. Внедрение автоматизированных систем управления (АСУ) и использование программ для управления производственными потоками способствуют значительному уменьшению потерь и повышению общей эффективности.

Человеческий фактор играет немалую роль в потреблении энергоресурсов. Программы обучения для сотрудников на тематику энергосбережения помогают создать культуру бережливого использования ресурсов. Процесс должен включать регулярные тренинги и семинары для повышения осведомленности о методах снижения потребления.

Внедрение возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели, ветровые электростанции или биогазовые установки, позволяет снизить зависимость от традиционных энергоресурсов. Это не только экономически

выгодно в долгосрочной перспективе, но и усиливает репутацию предприятия как экологически ответственного.

Создание системы мониторинга результатов внедренных мероприятий позволяет отслеживать эффективность и корректировать стратегии. Постоянные улучшения на основе обратной связи будут способствовать созданию динамично развивающейся системы управления потреблением энергии.

В завершение можно сказать, что современное общество сталкивается с критически важными вызовами в сфере энергетических ресурсов и их эффективного использования. Энергоэффективность становится не просто экономической необходимостью, но и экологической ответственностью, которую должны взять на себя как предприятия, так и отдельные граждане. Внедрение современных технологий и оптимизация процессов могут значительно сократить потребление энергии и снизить углеродный след.

При этом важно учитывать, что переход к более устойчивым формам энергетики требует комплексного подхода, включающего обучение и повышение квалификации специалистов. Добровольное участие компаний в программах энергосбережения, анализ текущих практик и внедрение инноваций могут привести к улучшению общих показателей устойчивости.

Библиографический список

1. Бабич, И. С. Энергоэффективность и энергосбережение: теория и практика / И. С. Бабич. – М. : Экотехпресс, 2020.
2. Васильев, А. Н. Основы энергетического аудита / А. Н. Васильев. – СПб. : ТехноСфера, 2019.
3. Дьяков, М. В. Возобновляемые источники энергии в России: текущее состояние и перспективы / М. В. Дьяков. – Екатеринбург : УралГТУ, 2021.
4. Смирнов, Д. В. Прогнозирование аварийных ситуаций в энергетике с использованием SCADA / Д. В. Смирнов, Е. Ю. Карпов // Энергетика и автоматизация. – 2020. – № 6.
5. Михеев, М. В. Энергоэффективное оборудование: выбор и внедрение / М. В. Михеев. – Новосибирск : Изд-во Сибирского федерального университета, 2022.
6. Петрова, А. И. Технологии управления энергопотреблением на промышленных объектах / А. И. Петрова, К. П. Сидоров. – Казань : Институт управления, 2018.

АНАЛИЗ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ КАНАЛА СВЯЗИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С БПЛА

А. Ю. Дмитриевцев, А. А. Мельников

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *dmitrievcev978@gmail.com*)

Анализ помехозащищенности ИУСРС целесообразно проводить, учитывая следующие обстоятельства. БПЛА относится к объектам, имеющим особо важное тактическое значение. Это означает то, что противник будет стараться отслеживать с помощью космической, воздушной, наземной разведки с использованием разнообразных технических средств местоположение позиций БПЛА. Учитывая активный режим излучения сигналов, следует считать, что противнику будет известно точное расположение позиций, временной режим работы ИУСРС и характеристики передаваемой информации [1, 2].

Под помехозащищенностью ИУСРС понимается ее способность обеспечивать передачу опорных колебаний, команд управления с НСУ на БПЛА в заданном объеме и требуемые сроки при воздействии информационного подавления (ИП). Помехозащищенность – это слагаемое эффективности, которое описывает способность информационно-управляющей системы радиосвязи противоборствовать вредному воздействию информационного подавления. Поэтому количественный критерий помехозащищенности должен согласовываться с критерием эффективности. Исходя из того, что критерием эффективности является вероятность выполнения, то в качестве критерия помехозащищенности необходимо принять вероятность выполнения информационно-управляющей системой радиосвязи задач, которые она должна выполнять, в том числе при воздействии на нее информационного подавления [3, 4].

Радиоэлектронное противодействие (РП) является аналогом информационного подавления, которое включает в себя: радиопротиводействие и радиотехническую разведку. Радиопротиводействие позволяет создавать определенные условия, которые затрудняют работу информационно-управляющей системы радиосвязи, приводя к подрыву исполнения возложенных задач, и позволяют генерировать ложные команды управления БПЛА. Радиотехническая разведка позволяет обнаружить факт работы информационно-управляющей системы радиосвязи, определяет ее характеристики и параметры, на основании которых организуется радиопротиводействие.

Постановка намеренных помех является основным способом РП. Чем больше информации об информационно-управляющей системе радиосвязи

будет собрано, тем эффективнее окажется постановка помех. В итоге помехозащищенность информационно-управляющей системы радиосвязи зависит не только от тактико-технических характеристик используемой в данный момент радиолинии, но и от взаимного расположения аппаратуры радиоэлектронной борьбы, НСУ и БПЛА. Исходя из этого, различное сочетание этих условий и характеристик является стохастическим, поэтому помехозащищенность ИУСРС необходимо рассматривать для определенных условий.

Все средства связи являются источником полей той или иной физической природы, которые подразделяются на функциональные, создаваемые при работе средств по своему прямому предназначению, и сопутствующие, возникающие как неизбежный побочный эффект.

Процесс добывания разведывательной информации техническими средствами разведки включает, как правило, три этапа:

– добывание разведывательных данных об объектах связи различными техническими средствами разведки;

– обработка разведданных в целях получения разведывательных сведений об объектах связи на основе анализа и интерпретации разведывательных данных каждого отдельного средства разведки;

– комплексная обработка разведсведений, полученных с помощью нескольких средств разведки.

Библиографический список

1. Калашников, С. Н. Особенности построения канала связи с подвижным объектом / С. Н. Калашников // IV Научные чтения имени Александра Степановича Попова. Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией : материалы Междунар. научн. конф. (Воронеж, 15 октября 2015 г.) ; ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». – Воронеж, 2015.

2. Павлов, В. И. Особенности наведения ракеты класса «воздух–воздух» на маневрирующую цель полупассивным способом / В. И. Павлов, С. Н. Калашников // Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнологического обеспечения в управлении авиацией : VI Междунар. науч.-техн. конф. (Воронеж, 8 ноября 2017 г.) – ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». – Воронеж, 2017.

3. Павлов, В. И. Энергетические закономерности при дистанционном определении координат подвижных объектов полупассивным способом / В. И. Павлов, В. Н. Коломейцев, С. Н. Калашников // Ассоциация «Объеденный

университет им В. И. Вернадского» «Вопросы современной науки и практики. Университет им В. И. Вернадского». – Тамбов. – С. 212 – 216.

4. Калашников, С. Н. Циклическая блокировка структурных помех на входе приемного устройства беспилотного летательного аппарата / С. Н. Калашников, В. Н. Коломейцев // XXIX Всерос. науч.-техн. конф. школы-семинара «Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах». – Сочи, 2018. – С. 316 – 318.

ХАРАКТЕРИСТИКА КАНАЛА СВЯЗИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С БПЛА

А. Ю. Дмитриевцев, А. А. Мельников

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *dmitrievcev978@gmail.com*)

Канал связи (КС) между БПЛА и НСУ может обеспечивать как симплексный, так и дуплексный обмен информацией. При симплексной связи, как правило, выполняется передача команд управления с НСУ на БПЛА. При дуплексной связи происходит двухсторонний обмен информацией [1].

Указанный КС позволяет выполнять определенный ряд задач:

– в направлении НСУ-БПЛА – передача команд управления режимами работы установленного бортового оборудования с целью корректировки курса полета БПЛА;

– в направлении БПЛА-НСУ – передача сообщений, которые содержат в себе данные телеметрии и информацию, добытую с помощью установленных различных технических средств (фото- и видеофиксация).

Относительно пропускной способности канала связи радиолинии в направлениях НСУ-БПЛА и БПЛА-НСУ имеют существенное различие:

– направление НСУ-БПЛА: является узкополосным КС, количество передаваемых сообщений, в том числе суммарное значение за время выполнения полета БПЛА – невелико. Необходимая и достаточная скорость передачи сообщений в данном канале не превышает значение десятков Кбит/с;

– направление БПЛА-НСУ: КС обладает гораздо большей пропускной способностью по сравнению с предыдущим, зависит от конкретных тактико-технических характеристик БПЛА и целевого назначения установленного специализированного бортового оборудования [2 – 4].

В устройствах радиосвязи с БПЛА команды управления передаются с высоким приоритетом, а разведывательные данные (фото- и видеофиксация) отправляются на наземную станцию с пониженным приоритетом. Передача команд управления осуществляется с пульта человека-оператора наземной станции.

Условия передачи команд управления на большие дистанции диктуются необходимостью изменять навигационные параметры в течение выполнения поставленной задачи [5].

Для большинства задач, которые решаются с помощью современных комплексов беспилотных летательных аппаратов, необходимо наличие помехозащищенной линии передачи данных между НСУ и БПЛА.

Задачи разведывательного наблюдения при помощи технических средств, установленных на БПЛА, предполагают добычу ценных данных на борт и пересылку на наземную станцию управления.

В зависимости от назначения БПЛА, на его борт устанавливается симплексная или дуплексная система радиосвязи (СРС). При этом данные СРС устанавливаются как отдельно друг от друга, так и одновременно.

При использовании симплексной СРС на борту БПЛА может только принимать сообщения, в том числе команды управления.

В случае установки дуплексной СРС на борт БПЛА способен не только принимать сообщения, но и передавать данные полезной нагрузки.

Библиографический список

1. Павлов, В. И. Дистанционное измерение параметров подвижных объектов полупассивным способом / В. И. Павлов, В. Н. Коломейцев, С. Н. Калашников // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 216 – 224.

2. Калашников, С. Н. Особенности построения канала связи с подвижным объектом / С. Н. Калашников // IV Научные чтения имени Александра Степановича Попова. Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнического обеспечения в управлении авиацией : материалы Междунар. научн. конф. (Воронеж, 15 октября 2015 г.) ; ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». – Воронеж, 2015.

3. Павлов, В. И. Особенности наведения ракеты класса «воздух–воздух» на маневрирующую цель полупассивным способом / В. И. Павлов, С. Н. Калашников // Современное состояние и перспективы развития систем связи и радиотехнологического обеспечения в управлении авиацией : VI Междунар.

науч.-техн. конф. (Воронеж, 8 ноября 2017 г.) – ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина». – Воронеж, 2017.

4. Павлов, В. И. Энергетические закономерности при дистанционном определении координат подвижных объектов полупассивным способом / В. И. Павлов, В. Н. Коломейцев, С. Н. Калашников // Ассоциация «Объеденный университет им В. И. Вернадского» «Вопросы современной науки и практики. Университет им В. И. Вернадского». – Тамбов. – С. 212 – 216.

5. Калашников, С. Н. Циклическая блокировка структурных помех на входе приемного устройства беспилотного летательного аппарата / С. Н. Калашников, В. Н. Коломейцев // XXIX Всерос. науч.-техн. конф. школы-семинара «Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах». – Сочи, 2018. – С. 316 – 318.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Д. Н. Земской[1], М. А. Каменская[2], Ж. А. Зарандия[2], С. В. Артемова[3]

[1]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, Тамбов, Россия*

[2]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*

[3]*Московский институт радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия*

Надежность работы является важнейшим аспектом функционирования объектов электроэнергетики (ОЭЭ), определяя точность и стабильность измерений, которые лежат в основе контроля и управления энергосистемами [1]. Сложность современных энергосистем, усиленная внедрением умных технологий и увеличением объема данных, требует более эффективных подходов к прогнозированию надежности. Традиционные аналитические методы не всегда способны справляться с ростом объема данных и учетом сложных взаимодействий между элементами системы. Методы машинного обучения (ММО) открывают новые возможности для решения этих задач, позволяя адаптироваться к изменениям среды и анализировать большие массивы данных. ММО позволяют значительно повысить точность прогнозирования благодаря их способности выявлять скрытые зависимости [2]. Среди ключевых задач, которые решаются с использованием ММО в электроэнергетике, можно выделить:

- Модели машинного обучения помогают предсказать вероятность отказов на основе параметров эксплуатации, исторических данных и условий окружающей среды.
- Использование алгоритмов классификации позволяет оперативно выявлять и классифицировать типы неисправностей.
- Анализ больших данных дает возможность рассчитывать оптимальные интервалы калибровки приборов и планировать техническое обслуживание для предотвращения сбоев.

Разнообразие методов машинного обучения позволяет решать широкий спектр задач:

- Регрессионные модели используются для прогнозирования сроков до отказа оборудования.
- Деревья решений и ансамблевые методы помогают выявлять ключевые факторы, влияющие на надежность, и классифицировать данные.
- Нейронные сети, особенно рекуррентные, используются для анализа временных рядов, таких как показания датчиков и изменения параметров оборудования.
- Кластеризация применяется для группировки оборудования с похожими характеристиками износа, что упрощает управление и обслуживание.

Внедрение методов машинного обучения оказывает значительное влияние на повышение метрологической надежности ОЭЭ:

1. ММО позволяют учитывать многомерные данные и анализировать сложные зависимости между параметрами, недоступные для традиционных методов, что позволяет повысить точность прогнозов.
2. Оптимизация калибровки и обслуживания позволяет минимизировать эксплуатационные расходы.
3. Возможность предсказания отказов заранее снижает риски внеплановых простоев и увеличивает общую эффективность энергосистем.
4. Своевременное выявление неисправностей помогает поддерживать стабильность и точность измерений в критически важных элементах энергосистем, тем самым повысить устойчивость работы энергосистемы.

Методы машинного обучения играют ключевую роль в развитии подходов к прогнозированию надежности объектов электроэнергетики. Они обеспечивают более высокую точность, адаптивность и устойчивость систем, позволяя энергетическим компаниям повышать эффективность работы оборудования и минимизировать риски отказов.

ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

А. С. Казмалы

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(*e-mail*: *sweeteest2020@gmail.com*)

В статье представлен анализ влияния высших гармонических составляющих (ВГС) на электроэнергетические системы и оборудование металлургических предприятий. Рассматривается основной источник генерации ВГС – дуговые сталеплавильные печи (ДСП). Особое внимание уделено негативным последствиям ВГС, включая ухудшение качества электроэнергии, увеличение потерь, сокращение срока службы оборудования и возможность возникновения резонансных явлений. Представлены современные методы и технологии компенсации ВГС, а также рекомендации по их внедрению на металлургических предприятиях.

Современные металлургические предприятия характеризуются наличием мощных электроустановок с нелинейными вольт-амперными характеристиками, что приводит к возникновению ВГС в электрических сетях. ВГС являются неотъемлемым следствием работы нелинейных нагрузок и оказывают негативное воздействие на качество электроэнергии, увеличивают потери, сокращают срок службы оборудования и могут привести к сбоям в технологических процессах [1]. Понимание механизмов влияния ВГС и последствий их воздействия на энергетические системы и оборудование является важной задачей для обеспечения надежной и эффективной работы металлургических предприятий.

ДСП являются ключевым технологическим оборудованием в современной металлургии. Их использование позволяет осуществлять выплавку высококачественного продукта, однако работа ДСП также сопряжена с генерацией значительного количества ВГС в электрической сети [2]. ДСП используют электрическую дугу, возникающую между электродами и металлической шихтой, для нагрева и плавления стали. Дуга представляет собой плазменный разряд с нелинейной вольт-амперной характеристикой. Дуга является нестабильным процессом, постоянно меняющим свои характеристики. Горение дуги характеризуется колебаниями тока и напряжения, которые содержат широкий спектр частот, включая высшие гармоники, как правило, преимущественно нечетных порядков. Наиболее значимыми являются 3, 5, 7, 11 и 13-я гармоники.

Генерация ВГС ДСП оказывает негативное воздействие на электроэнергетическую систему и оборудование, в основном это искажение формы синусоиды напряжения и тока, что негативно сказывается на работе чувствительной электроники, а также дополнительные потери мощности в элементах сети, таких как трансформаторы и кабельные линии, снижение коэффициента мощности сети, что приводит к увеличению нагрузки на питающее оборудование и повышению реактивной мощности у самих ДСП.

Для снижения негативного влияния ВГС на металлургических предприятиях используются так называемые фильтрокомпенсирующие устройства (ФКУ). ФКУ снижают искажения формы напряжения и тока, вызванные нелинейными нагрузками. Это достигается с помощью фильтров различных типов (пассивных, активных, гибридных). Также они уменьшают потребление реактивной мощности из сети, улучшая коэффициент мощности и снижая потери в электросети, что достигается с помощью конденсаторных батарей и управляемых источников реактивной мощности [3].

Подробное рассмотрение источников ВГС на металлургических предприятиях показывает, что каждый из них имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при разработке и реализации систем компенсации гармонических искажений. Понимание механизмов генерации гармоник, их спектрального состава и факторов, влияющих на их уровень, является ключевым для обеспечения надежной и эффективной работы электроэнергетической системы металлургического предприятия. Для эффективной компенсации требуется комплексный подход, включающий анализ гармонического состава, использование активных и пассивных фильтров, а также оптимизацию режимов работы оборудования.

Библиографический список

1. Корнилов, Г. П. Технико-экономическое сравнение компенсирующих устройств для дуговых сталеплавильных печей широкого класса мощности / Г. П. Корнилов, А. А. Николаев, Д. Ю. Пястолова // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 1(30). – С. 34 – 38.

2. Записочный, Е. Д. Мероприятия по улучшению качества электроэнергии в сети объекта с дуговыми сталеплавительными печами / Е. Д. Записочный, М. А. Кулага // Федоровские чтения – 2020 : L Междунар. науч.-практ. конф. с элементами научной школы, Москва, 17 – 20 ноября 2020 года. – М. : Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 328 – 336.

3. Повышение энергоэффективности производства за счет применения силовых фильтров высших гармоник / О. В. Нос, А. С. Востриков, А. А. Штанг, Е. Ю. Малявко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 12. – С. 28 – 36.

ЦИФРОВАЯ ТЯГОВАЯ ПОДСТАНЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

С. В. Кириллов

Мичуринская дистанция электроснабжения ОАО «РЖД», Мичуринск, Россия
(*e-mail*: *kirill_mich@mail.ru*)

Открытое акционерное общество «РЖД», помимо основной сферы деятельности – оказание услуг в сфере железнодорожного транспорта, также является второй по величине электросетевой организацией в РФ. Центрами питания электрических железных дорог являются тяговые подстанции. При системе переменного 25 кВ подстанции расположены на расстоянии 40…60 км друг от друга, имеют высшее питающее напряжение 110 (220) кВ, и основными потребителями являются – электроподвижной состав (ЭПС) и нетяговые потребители – предприятия АПК, промышленные предприятия, население и др., расположенные вблизи железнодорожной инфраструктуры.

Очередной ступенью развития данных центров питания является преобразование системы контроля, принятия решений и управления системой электроснабжения электрической железной дороги в проект «Цифровая тяговая подстанция».

«Цифровая тяговая подстанция» (ЦПС) является иерархическим комплексом аппаратных и программных средств, образующих цифровую модель тяговой подстанции. Отличительной характеристикой ЦПС является использование цифровых технологий для сбора, обработки и передачи данных о работе устройств подстанции, применение вычислительных сетей для автоматизации работы подстанции и процессов управления и использование искусственного интеллекта для формирования цифровой модели подстанции. Данный проект направлен на повышение надежности работы системы электроснабжения, снижение затрат и повышение оперативности принятия решений.

В состав автоматизированной системы ЦПС входят следующие основные функциональные компоненты:

– «Центральный серверный компонент АС ЦПС» отвечает за сбор, обработку, хранение и анализ информации и цифровых моделей, формирование правил ответной реакции, интеграционное взаимодействие с системами верхнего уровня ИТ-ландшафта;

– компонент «АРМ» АС ЦПС предоставляет графический интерфейс пользователю с информацией обо всех объектах подстанции;

– компонент «Конструктор объектов АС ЦПС» входит в состав центрального серверного компонента Платформы и осуществляет настройку модулей АС ЦПС;

– компонент «Модуль интеллектуального анализа данных» выполняет задачи интеллектуального анализа и корреляции данных с формированием конкретных заданий для их передачи эксплуатирующему персоналу;

– компонент «Контроля обобщенного состояния технологических процессов» решает следующие задачи: визуализация локальных технологических процессов и сервисов и проецирование технологических процессов на информационно-телекоммуникационную инфраструктуру и ИТ-ландшафт.

Рис. 1. Процессная модель функционирования проекта «Цифровая тяговая подстанция электрической железной дороги»

Основными результатами (эффектами) от создания ЦПС являются:

1. Качественная многофакторная диагностика и мониторинг параметров оборудования тяговой подстанции в режиме реального времени (онлайн).

2. Оперативное и эффективное планирование работ и принятие мер при критическом изменении параметров и характеристик оборудования.

3. Повышение надежности электроснабжения тяговых и нетяговых потребителей за счет выявления предотказного состояния на ранних стадиях и принятие решений обо всех видах ремонта и(или) замены оборудования.

4. Экономия ресурсов за счет перехода к обслуживанию по «фактическому состоянию» оборудования.

Библиографический список

1. О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL : https://docs.cntd.ru/document/727294161#65C0IR

2. Цифровая трансформация энергетического комплекса ОАО «РЖД» // Транспортная газета Евразия Вести. – URL : http://eav.ru/publ1.php?publid=2019-09a02

3. Санько, В. М. О реформировании энергетического комплекса ОАО «РЖД» и развитии электросетевой деятельности / В. М. Санько // Евразия Вести XI. – 2017. – URL : http://eav.ru/publ1.php?publid=2017-11a01&ysclid=lrxio1b735819210598/ (дата публикации: 30.11.2017).

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

В. В. Клитинов, Д. О. Горячев, С. Ю. Евдокимова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *svetik210102@mail.ru*)

При совершенствовании новых технологических процессов, разрабатываемых для агропромышленного комплекса (АПК), важное значение приобретают малоотходные и безотходные технологии с высокой энергоэффективностью. Процессы переработки растительного сырья сопровождаются отходами ценных компонентов, и в этом отношении следует рассмотреть целый ряд технических подходов, связанных с очисткой корнеплодов и других видов плодоовощной продукции от кожуры. Особое значение это приобретает, если структурные свойства растительного сырья затрудняют очистку от кожуры с минимизацией отходов. В основном это относится к таким видам раститель-

ного сырья, как тыква, свекла, морковь и т.д. При механической обработке таких корнеплодов от кожуры теряется существенная часть растительного сырья, которая переходит в отходы.

Для решения этой проблемы разрабатывается специальное технологическое оборудование, которое использует вакуумирование, энергию пара и режим последующей конденсации пара. За время работы устройства – в один цикл работы происходит трехкратный отвод конденсата из резервуара через сборник, соединенный трубопроводом с внутренней полостью цапфы, в расширитель. При этом крышка закрыта. Из резервуара корнеплоды выгружаются в приемный бункер, наполненный водой, и винтовым конвейером непрерывно отводятся из аппарата, и производится окончательное удаление кожуры.

Для эффективной работы системы, реализующей этот процесс, необходима автоматизация важных режимов работы данной системы. Загрузка и выгрузка происходят автоматизировано, режимы работы используют такие, которые позволяют применять тепловые аккумуляторы для накопления энергии, так как в процессе генерации пара выделяется тепло. Данное тепло можно аккумулировать и в последующем использовать в процессе подогрева воды и получения новой порции правого потока.

Для управления такой системой используется взаимосвязанная группа датчиков температуры и давления. Это позволяет выбрать правильный режим работы и адаптировать под определенные виды растительного сырья.

Таким образом, система отчистки растительного сырья позволяет экономить энергию и получать качественное очищенное растительное сырье с высокой энергоэффективностью. Данная технология позволяет перерабатывать продукцию в больших объемах с высокой энергоффективностью.

ЛИНИЯ СВЯЗИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДРОНОМ ПРИ ИНСПЕКЦИИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А. С. Кожевников, М. Ю. Полушкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *cojevnikov@2019yandex.ru*; *maksim.polushkin@list.ru*)

Современные технологии беспрерывно совершенствуются и применяются для решения сложных задач. В последнее время стали активно развиваться беспилотные транспортные средства. Их применяют как в военной сфере, так и в мирной жизни [1].

В Российской Федерации дроны используют для мониторинга состояния линий электропередачи. Железобетонные и деревянные опоры ЛЭП на 10 кВ получили широкое распространение в нашей стране. Зачастую их обслуживанием занимаются местные провайдеры электроэнергии. Из-за небольшого штата сотрудников и огромной протяженности линий возникают проблемы с инспектированием. Большинство столбов находятся вдоль автомобильных дорог, а некоторые линии проходят через лес. Кроны деревьев нависают над проводами, что приводит к возникновению многочисленных проблем. Кроме того, обследования состояний линий электропередачи обходятся недешево и занимают много времени. По своей сути диагностика ЛЭП – очень важный элемент в управлении электросетевым хозяйством. Без систематизированных данных о нарушениях в их работе электросетевой комплекс уязвим. Если мы не знаем, что и где вышло из строя, не в курсе состояния прилежащих охранных зон, мы не сможем составить корректный бюджет на работы по обслуживанию всей системы, а без этого она рано или поздно перестанет быть системой. С использованием БПЛА задача существенно упростилась [2].

Их можно использовать в труднодоступных местах и при любых обстоятельствах – будь то плохая погода или чрезвычайные ситуации.

Кроме того, квадрокоптер оперативно выдает информацию. Он позволяет объективно оценить точность полученных данных, в отличие от субъективного мнения специалиста, и обходится гораздо дешевле традиционных методов исследования. Обычно наземное обследование труднодоступных участков ЛЭП занимает несколько дней, а может растянуться и на недели. Квадрокоптер сокращает время обследования до нескольких часов. В среднем затраты на мониторинг воздушных ЛЭП с применением квадрокоптера обходятся в 6 раз дешевле, чем наземные методы осмотра. При этом время обследования 1 тыс. км ЛЭП сокращается на 58 дней [1].

На трассе беспилотник может выявить практически все дефекты из возможных. Он с легкостью выявляет дефекты на самой трассе, дефекты опор, а также дефекты проводов и арматуры. В современных условиях, когда протяженность линий электропередачи становится все больше, беспилотные летательные аппараты становятся незаменимыми помощниками.

Библиографический список

1. Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 120 с.

2. Радиотехнические системы / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 495 с.

3. Ярлыков, М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. – М. : Радио и связь, 1993. – 464 с.

МОДЕЛЬ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЯЦИИ OFDMA

А. С. Кожевников, М. Ю. Полушкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *cojevnikov@2019yandex.ru*; *maksim.polushkin@list.ru*)

Модуляция OFDM стала активно применяться благодаря бурному развитию информационных технологий и востребованности в одновременной передаче огромных объемов данных. Эта модуляция обеспечивает передачу информации методом разбития общего потока передаваемых сообщений на несколько потоков на ортогональных несущих частотах [1].

На рисунке 1 представлен фрагмент листинга программы, который как раз и представляет собой передачу данных. Однако при этом сигнал подвергается воздействию шумов и может быть искажен.

На рисунке 2 видно, что из-за различных по величине ошибок координаты передаваемого и принимаемого сигналов разные [2].

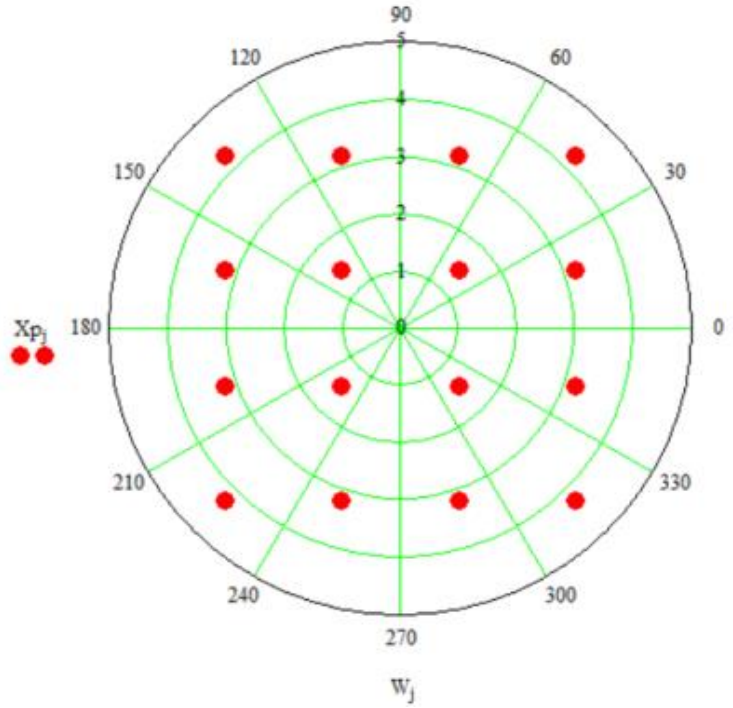


Рис. 1. Фрагмент листинга программы. Фазовое созвездие

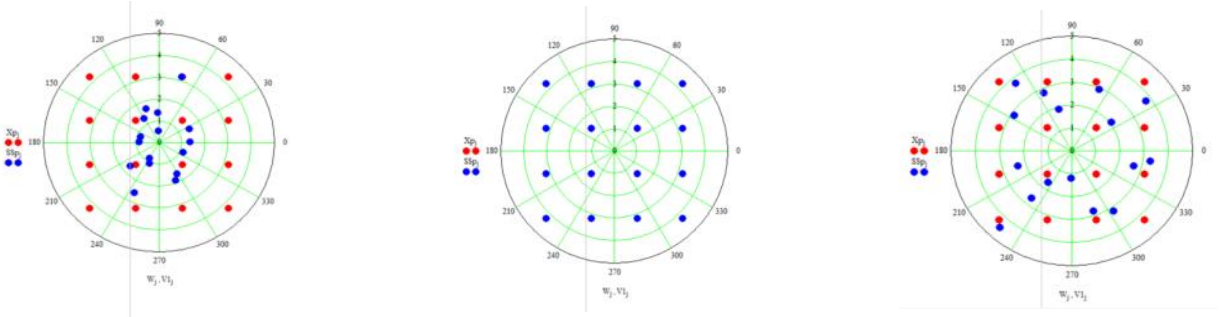


Рис. 2. Фрагмент листинга программы.
Фазовое созвездие переданного и принятого сообщений

На основании всего вышесказанного можно сделать вывод, что данная модуляция является устойчивой к воздействию на нее помех, а также является достаточно простой и эффективной благодаря одновременной передаче огромного объема данных при малых энергетических затратах. Таким образом, модуляция OFDMA на сегодняшний день является лучшим решением по одновременной передаче большого количества информации [3].

Библиографический список

1. Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 120 с.
2. Казаринова, Ю. М. Радиотехнические системы / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 495 с.
3. Ярлыков, М. С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. – М. : Радио и связь, 1993. – 464 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Д. М. Коробов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *dkorobov1160@gmail.com*)

Одним из основных компонентов энергетической системы города являются электротехнические системы уличного освещения (ЭС УО). Под электротехнической системой уличного освещения в контексте данной работы понимается совокупность системы электроснабжения установок уличного освещения, состоящей из источника питания и осветительных сетей, а также самих установок уличного освещения.

От надежности функционирования ЭС УО зависит безопасность и комфорт жителей города. В то же время электротехнические системы уличного освещения являются энергоемкими объектами – расход электроэнергии на нужды освещения может достигать до 40% от общего энергопотребления города. В связи с тем, что энергоэффективность и энергосбережение являются одними из приоритетных направлений развития экономики РФ, обеспечение энергоэффективного функционирования ЭС УО можно считать одним из наиболее важных направлений модернизации электроэнергетической системы города. Под энергоэффективным функционированием ЭС УО в данной работе понимается наименьшее потребление электроэнергии ЭС УО при обеспечении нормативного уровня освещенности дорог и тротуаров, а под алгоритмом энергоэффективного управления – последовательность операционных действий, обеспечивающих энергоэффективное функционирование ЭС УО.

Анализ научных публикаций и технических решений в данной области показал, что в настоящее время используется несколько подходов к повышению энергоэффективности ЭС УО: замена источников света на более эффективные; оптимизация конфигурации осветительных сетей; разработка алгоритмов энергоэффективного управления ЭС УО. Учитывая проведенные исследования, в данной работе в качестве эффективных источников света предложено использовать светодиодные осветительные установки, обладающие возможностью регулирования светового потока и потребляемой мощности.

Отмечая бесспорную ценность проведенных исследований, необходимо заметить, что вопросы оптимизации параметров элементов ЭС УО (определения оптимального числа установок уличного освещения, максимальной протяженности осветительной сети) и ее электрических параметров, обеспечивающих минимальные потери электрической энергии и экономические затраты, в научных исследованиях рассмотрены не в полном объеме.

В связи с тем, что сети уличного освещения являются сетями низкого напряжения и обладают высокой протяженностью, становится актуальным вопрос снижения потерь электрической энергии при ее передаче от источников питания к установкам уличного освещения.

Повышение энергоэффективности систем уличного освещения можно осуществить не только путем повышения эффективности отдельных светильников и замены устаревших дугоразрядных ламп на более экономичные, но и внедрением систем автоматического регулирования уличного освещения.

Для многих электротехнических систем оценка энергоэффективности является комплексной задачей, так как данный показатель учитывает не только

количество потребленной энергии на создание полезного эффекта, но и сам полезный эффект, который во многих случаях не поддается прямой количественной оценке.

Библиографический список

1. Алферова, Т. В. Современные источники света как средство повышения эффективности использования электроэнергии / Т. В. Алферова, О. А. Полозова, В. В. Бахмутская // Электрика. – 2010. – № 9. – С. 26–27.
2. Ильин, П. Разработка источников питания для уличного светодиодного освещения / П. Ильин, А. Соколов // Новости электроники. – 2009. – № 11. – С. 30 – 32.

КРИПТОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТ КИБЕРАТАК

С. В. Кочергин[1], В. Ф. Калинин[2]

[1]*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия*
(*e-mail*: *kochergin_s@mirea.ru*)
[2]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(*e-mail*: *kalinin@tstu.ru*)

Киберфизические угрозы все чаще становятся серьезным вызовом для систем управления электроснабжением [1]. Такие атаки не только нарушают работу автоматизированных систем, но и напрямую воздействуют на физические параметры энергосистем – напряжение, ток, частоту. Традиционные методы мониторинга, основанные на анализе ограниченного набора параметров и предустановленных пороговых значений, могут эффективно выявлять стандартные аномалии, например скачки напряжения из-за короткого замыкания. Но если в результате атаки данные передаются с задержкой или подменяются, система просто не распознает аварийную ситуацию или сделает это слишком поздно.

Для решения этих проблем требуется новый подход. Современные алгоритмы машинного обучения, такие как PCA или рекуррентные нейронные сети, способны обнаруживать скрытые аномалии в больших массивах данных и учитывать взаимосвязь между параметрами. Однако еще важнее обеспечить достоверность самих данных. Использование протокола TLS для проверки их под-

линности позволяет предотвратить подмену информации и гарантировать надежную работу системы, минимизируя риски и обеспечивая своевременное реагирование на угрозы.

Пусть имеется набор временных рядов физических параметров системы:

$$X(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}, \quad t \in T, \tag{1}$$

где $X_i(t)$ – это значение i-го физического параметра в момент времени t.

Пусть также имеется временной ряд, описывающий поведение системы (функциональное состояние, выход системы, или наблюдаемую реакцию):

$$Y(t) \in \mathbb{R} \quad \text{для } t \in T. \tag{2}$$

Для обеспечения подлинности данных, поступающих от удаленных сенсоров или измерительных узлов, используется сетевой протокол (например, TLS), который гарантирует криптографическую аутентификацию и целостность данных. Обозначим двоичный индикатор аутентичности поступающих данных в момент времени t как

$$A(t) = \begin{cases} 1, & \text{если данные в момент } t \text{ подвержены и подлинно аутентичны;} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \tag{3}$$

Считается, что при нормальной работе системы существует определенная статистически устойчивая взаимосвязь между динамикой физических параметров $X(t)$ и поведением системы $Y(t)$, если обозначить ожидаемую (модельную или эталонную) зависимость между ними как функцию:

$$\hat{Y}(t) = f\big(X(t)\big), \tag{4}$$

где $f(\cdot)$ – заранее определенная (или обученная) модель, аппроксимирующая нормальное поведение системы.

Для выявления аномалий или инцидентов вводим меру ошибки предсказания:

$$\varepsilon(t) = \left|Y(t) - \hat{Y}(t)\right|. \tag{5}$$

Если распределение $\varepsilon(t)$ в нормальном режиме работы системы характеризуется определенным средним значением μ_ε и дисперсией σ_ε^2, то существенные отклонения могут указывать на инциденты. Например, можно использовать критерий:

$$\varepsilon(t) > \mu_\varepsilon + \lambda\sigma_\varepsilon, \tag{6}$$

где λ – заданный порог чувствительности.

Для снижения риска ложных срабатываний анализ проводится только при подтвержденной подлинности данных:

$$\chi(t) = A(t) \cdot \mathbb{I}\{\varepsilon(t) > \mu_\varepsilon + \lambda\sigma_\varepsilon\}, \quad (7)$$

где $\mathbb{I}\{\cdot\}$ – индикаторная функция, равная 1, если условие внутри фигурных скобок истинно, и 0 – в противном случае.

Таким образом, событие $\chi(t) = 1$ при $A(t) = 1$ трактуется как потенциальный инцидент (аномалия), выявленный за счет анализа временных рядов физических параметров, коррелированных с поведением системы, при условии аутентичности данных, обеспеченной TLS.

Таким образом, в энергосетях TLS является важнейшим инструментом для обеспечения безопасной передачи данных между компонентами системы, такими как сенсоры, измерительные устройства и серверы. Этот протокол защищает данные от подмены, что критично для стабильной работы автоматизированных систем управления. Однако растущая сложность киберугроз и зависимость энергосетей от цифровой инфраструктуры подчеркивают необходимость дальнейших исследований в этой области. Разработка новых методов применения TLS и анализ его эффективности в различных сценариях помогут усилить защиту данных и предотвратить потенциальные сбои в энергосистемах.

Библиографический список

1. Романов, Г. А. Использование нейронных сетей для обнаружения и локализации кибератак в «умных» сетях электроснабжения / Г. А. Романов, Е. А. Кулешова, В. П. Добрица // Современные информационные технологии и информационная безопасность : сб. науч. ст. 3-й Всерос. науч.-техн. конф., Курск, 2 февраля 2024 года. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 126 – 129.

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛЬНОГО ПОВЕДЕНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К КИБЕРАТАКАМ И ТЕХНИЧЕСКИМ СБОЯМ

С. В. Кочергин, В. А. Шутов

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия
(*e-mail*: *kochergin_s@mirea.ru*; *shutov@mirea.ru*)

Современные энергосистемы, включая интеллектуальные энергосети (Smart Grid), сталкиваются с ростом уязвимостей, вызванных высокой степенью автоматизации и сложностью их структуры [1 – 3]. Кибератаки на системы

управления могут не только нарушить стабильность электроснабжения, но и привести к масштабным отключениям, финансовым потерям и даже угрозе безопасности населения. Например, вмешательство в работу систем управления может вызвать перегрузку сети, отключение критически важных объектов инфраструктуры или неравномерное распределение нагрузки. Подобные инциденты способны повлиять на функционирование больниц, транспортных систем, водоснабжения и других жизненно важных услуг.

Современные кибератаки могут проникать в системы управления электроснабжением различными способами, используя уязвимости в программном обеспечении, человеческий фактор или недостаточную защиту сетей. Одним из распространенных методов является внедрение вредоносного программного обеспечения через фишинговые атаки, направленные на сотрудников. Злоумышленники также могут воспользоваться уязвимостями в протоколах связи, таких как Modbus или DNP3, которые часто используются в промышленной автоматизации.

Аномалии в системах управления электроснабжением представляют собой отклонения от нормального функционирования, такие как изменения параметров сети (напряжение, частота), сбои в передаче данных или появление некорректных команд от устройств управления. Такое поведение часто может свидетельствовать о кибератаках, направленных на дестабилизацию работы системы. Например, атака типа «человек посередине» (MITM) позволяет злоумышленнику перехватывать и изменять данные, передаваемые между оператором и системой SCADA. В результате может возникнуть искажение информации о нагрузке, что приведет к перегрузке оборудования или нарушениям в распределении энергии, ставя под угрозу стабильность энергоснабжения.

Исследования в области киберугроз для систем управления электроснабжением на сегодняшний день остаются недостаточно развитыми, несмотря на растущую сложность и масштаб таких атак. Злоумышленники постоянно совершенствуют методы воздействия, используя новые технологии и подходы для обхода существующих систем защиты. Это создает серьезные риски для стабильности энергосистем и подчеркивает необходимость разработки современных научных подходов.

Методы выявления аномального поведения в системах управления электроснабжением основываются на анализе временных рядов, использовании машинного обучения, спектральных методах и сравнении характеристик систе-

мы. Анализ временных рядов, включая Power Spectral Density (PSD) и многомасштабный анализ, позволяет выявлять изменения в частоте и амплитуде сигналов, которые указывают на наличие аномалий. Машинное обучение предлагает решения для обнаружения таких отклонений, включая модели без учителя, такие как Isolation Forest и DBSCAN, а также глубокие нейронные сети, включая автоэнкодеры и рекуррентные архитектуры, способные анализировать сложные зависимости в данных. Спектральные методы, такие как вейвлет-преобразование, помогают обнаруживать гармонические искажения и нелинейные аномалии. Сравнительный анализ текущих параметров системы с историческими данными, такими как напряжение или частота, дополняет эти подходы, позволяя фиксировать значительные отклонения от нормы.

Разнообразие существующих методов подчеркивает важность разработки алгоритмов, которые смогут объединить их сильные стороны для своевременного обнаружения аномалий. Такие алгоритмы должны быть направлены на снижение рисков, связанных с кибератаками, и предотвращение ситуаций, при которых система управления электроснабжением теряет устойчивость. Это особенно актуально в условиях роста сложности энергосистем и увеличения числа потенциальных угроз.

Библиографический список

1. Романов, Г. А. Использование нейронных сетей для обнаружения и локализации кибератак в «умных» сетях электроснабжения / Г. А. Романов, Е. А. Кулешова, В. П. Добрица // Современные информационные технологии и информационная безопасность : сб. науч. ст. 3-й Всерос. науч.-техн. конф., Курск, 2 февраля 2024 года. – Курск : ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 126 – 129.

2. Технологии РЗА ЦПС, обеспечивающие повышенную устойчивость к кибератакам / А. А. Волошин, Е. А. Волошин, С. М. Нухулов и др. // Релейщик. – 2022. – № 3(44). – С. 52 – 56.

3. Демин, П. Н. Средства обеспечения анонимности в роли средств защиты энергосетей / П. Н. Демин // Инновационная наука. – 2023. – № 6-2. – С. 23 – 28.

РАЗРАБОТКА И ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ И АНАЛИЗА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

А. А. Кудинова

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

Актуальность разработки технологий диагностики электрических кабелей связана с необходимостью повышения как надежности и безопасности, так и в ряде случаев их эксплуатационного ресурса. Несмотря на то, что большинство кабельных линий прокладывается таким образом, что к ним отсутствует постоянный доступ, существуют также кабельные линии, прокладываемые внутри зданий и сооружений, такие как: вводные группы, кабели в подвальных помещениях, в цехах производственных зданий и так далее. Такие электрические кабели также имеют широкое распространение и их необходимо диагностировать и чаще всего они более интенсивно эксплуатируются, чем кабели, прокладываемые закрытым образом. Также стоит отметить, что любая аварийная ситуация может сопровождаться возгоранием, так как кабель содержит полимерную оболочку, которая может самостоятельно гореть и приводить к возгоранию других элементов окружающей среды. В связи с этим диагностика таких кабелей и качественная оценка их технического состояния являются важной составной задачей эксплуатации кабельного электрооборудования, электросетей внутри зданий и сооружений. Диагностика особенно актуальна для кабелей, эксплуатируемых крупными производственными предприятиями, где кабельные линии имеют большой срок эксплуатации, а также вероятна эксплуатация в условиях перегрузок. Обеспечение регулярного и автоматизированного контроля – это задача, которая существенным образом может повысить эффективность эксплуатации электросетей внутри зданий. Такая концепция связана с автоматизированной диагностикой, причем немаловажным фактором является возможность передачи данной информации о состоянии электрического кабеля, соотносится с программой развития EnergyNet и соответствует новым направлениям развития цифровой экономики 4.0. Немаловажным фактором является возможность оценки технического состояния электрического кабеля в режиме работы, что поможет избежать производственных простоев или отключения потребителей электроэнергии.

Аппаратно-программный комплекс позволяет производить качественную оценку состояния электрического кабеля как в режиме работы, так и в статиче-

ском режиме, что позволяет оценить способность кабельной линии выполнять свои функции в заданных условиях эксплуатации.

Аппаратно-программный комплекс включает в себя группу элементов, которые позволяют обеспечить получение информации, которая необходима для оценки состояния кабеля, передачи данной информации, и запись для последующей обработки вторично-измерительным преобразователем. Вторично-измерительный преобразователь состоит из отдельных электронных элементов, которые включают в себя вычислительную часть (с процессором), часть с постоянным запоминающим устройством и оперативным запоминающим устройством, а также с интерфейсами ввода и вывода информации.

Для того чтобы осуществлялась работа электронных элементов аппаратно-чувствительного комплекса, используется специальное программное обеспечение, которое включает в себя коды программы, написанные на языке «С» или «С++». Для того чтобы данный программный комплекс работал, специальный программный код пишется исходя из архитектуры аппаратной части. Программа обеспечивает обработку информации, выявление какой-либо статистической оценки и последующую выдачу информации на элементы персонального компьютера или в виде каких-либо кодов на цифровую индикацию прибора. Система работает полностью в автоматизированном режиме. Оператору необходимо обеспечить контакт измерительных элементов с электрическим кабелем и в дальнейшем происходит автоматизированный сбор информации, ее обработка и вынесение статистической рекомендательной части по поводу состояния кабеля. Кабель может быть оценен в статическом режиме, т.е. когда он находится без напряжения, также может быть диагностирован в режиме работы, когда кабель находится под напряжением, что также возможно учитывать как дополнительный фактор оценки его качественных характеристик.

Для оценки состояния кабеля в первую очередь используется значение удельного электрического сопротивления, которое измеряется на его поверхности, т.е. измеряется поверхностное удельное сопротивление, далее происходит измерение емкости, тангенса угла диэлектрических потерь. В комплексе группа данных параметров позволяет оценить состояние электрического кабеля. Замеры происходят на нескольких участках кабеля, и их количество может быть от четырех до пятнадцати, что позволяет оценить однородность измеряемых параметров. При выявлении существенных нарушений однородности этот фактор также учитывается в качестве аналитических параметров для понимания состояния электрического кабеля и его технических характеристик.

Библиографический список

1. Привалов, И. Н. Современные методы и технические средства для испытаний и диагностики силовых кабельных линий номинальным напряжением до 35кВ включительно : учебное пособие / И. Н. Привалов. – СПб. : ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», 2008. – 82 с.

2. Расчет и измерение напряженности электрического поля в электроустановках сверх- и ультравысокого напряжения / С. В. Бирюков и др. // Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду : пер. докл. Междунар. конф. по большим электрич. системам (СИГРЭ-86) ; под ред. Ю. П. Шкарина. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – С. 6 – 13.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРЯМОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

В. А. Кузнецов, С. А. Кузнецов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
(*e-mail*: *vkbbbad@gmail.com*)

Трубопроводный транспорт нефти является основой топливно-энергетического комплекса России, обеспечивая доставку углеводородов от мест добычи до перерабатывающих заводов и экспортных терминалов. Протяженность магистральных нефтепроводов в стране превышает 50 тысяч километров, что делает Россию одним из мировых лидеров по объему транспортировки нефти. Главными элементами транспортной системы являются магистральные насосные станции (МНС), обеспечивающие перекачку нефти на большие расстояния. Эффективная работа МНС требует тщательного управления пуском насосных агрегатов, так как их неравномерный запуск может вызвать перегрузки оборудования и нарушения в работе системы электроснабжения.

Построим имитационную модель электроснабжения магистральных насосных агрегатов в Simulink для оценки переходных процессов и динамических нагрузок на оборудование. Структура модели представлена на рис. 1.

В качестве электроприводов магистральных насосных агрегатов выбраны асинхронные двигатели АРМ-5000/10, рассчитанные по методике из работы [1]. Параметры АД представлены в табл. 1.

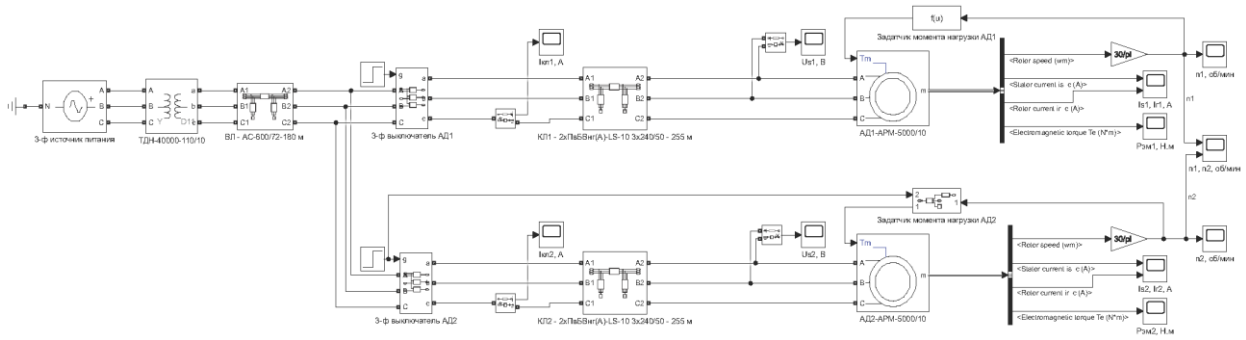
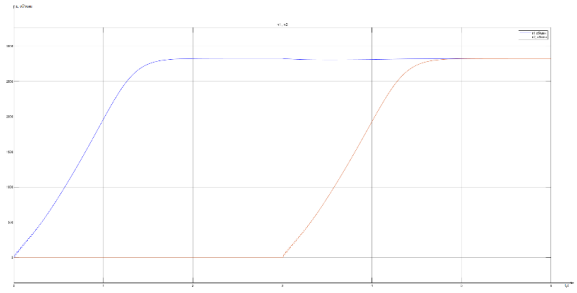


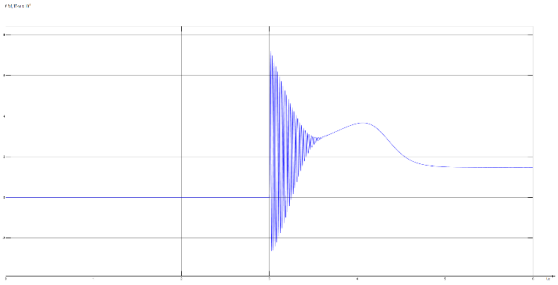
Рис. 1. Имитационная модель электроснабжения магистральных насосных агрегатов

1. Параметры модели двигателя АРМ-5000/10

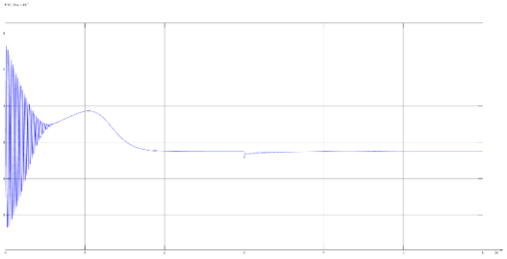
Параметр	Значение
Rs, Ом	0,6003
Lls, Гн	0,005647
Rr’, Ом	1,179
Llsr’, Гн	0,005647
Lm, Гн	0,221
J, кг·м^2	120



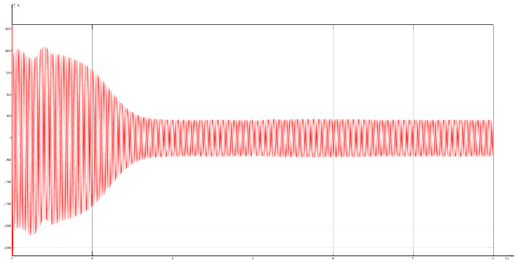
а)



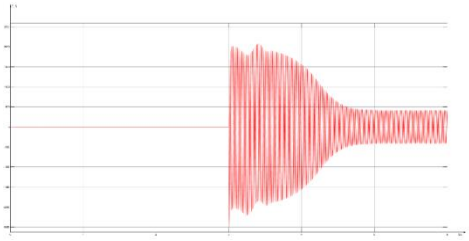
в)



б)



г)



д)

Рис. 2. Результаты моделирования в среде Matlab Simulink:

а – частота вращения двигателей АД1, АД2; *б*, *в* – моменты двигателей АД1, АД2;

г, *д* – токи статора двигателей АД1, АД2

Заключение. Прямой пуск электродвигателей, несмотря на простоту реализации, обладает рядом существенных недостатков, ограничивающих его применение на магистральных насосных станциях. Последовательный прямой пуск сопровождается значительными пусковыми токами (кратность 5 о.е) и (кратность 4,9 о.е), а также снижение напряжения на выводах статорных обмоток двигателя, находящегося в рабочем режиме на 8,5%.

Библиографический список

1. Черных, И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных. – М. : ДМК Пресс, 2007. – 288 с.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО ПРЯМОГО ПУСКА ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

В. А. Кузнецов, С. А. Кузнецов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
(*e-mail*: *vkbbbad@gmail.com*)

Рассмотрим пример совместного пуска двух электродвигателей в электротехническом комплексе насосной станции. Групповой пуск электроприводов требует особого внимания из-за высокой нагрузки на энергосистему и рисков, связанных с пусковыми токами.

Построим имитационную модель электроснабжения магистральных насосных агрегатов в Simulink, пользуясь методикой из работы [1] в соответствии со структурой электротехнического комплекса насосной станции (рис. 1). Пусть 2 электродвигателя АРМ-5000/10 запускаются одновременно, результаты моделирования представлены на рис. 2.

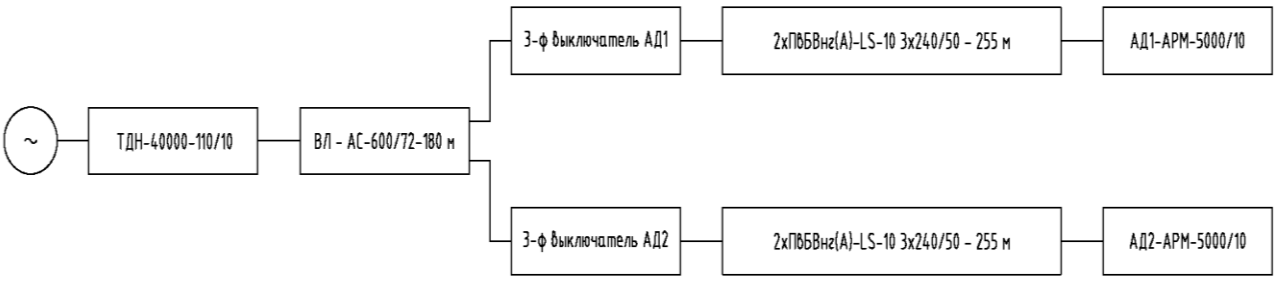


Рис. 1. Структура электротехнического комплекса насосной станции

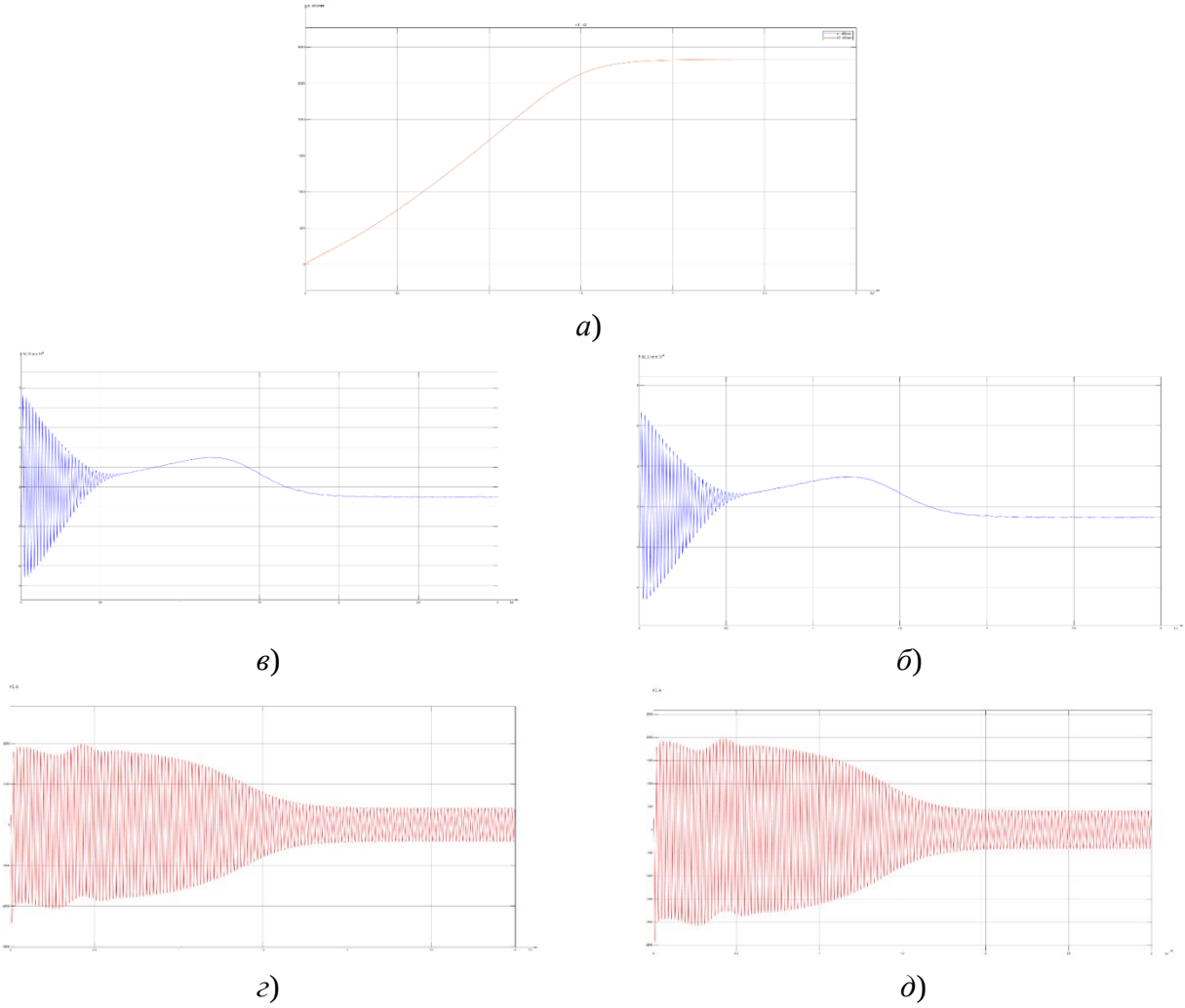


Рис. 2. Результаты моделирования в среде Matlab Simulink:
а – частота вращения двигателей АД1, АД2; *б, в* – моменты двигателей АД1, АД2;
г, д – токи статора двигателей АД1, АД2

Заключение. Имитационная модель группового прямого пуска электроприводов магистральных насосных агрегатов позволила рассмотреть ключевые переходные процессы, влияющие на надежность и эффективность работы системы. Групповой пуск агрегатов сопровождается значительными пусковыми токами и динамическими нагрузками на электродвигатели. Разработанная модель в дальнейшем может быть использована для оптимизации процесса пуска насосных агрегатов с учетом реальных эксплуатационных характеристик.

Библиографический список

1. Терехин, В. Б. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink : учебное пособие для вузов / В. Б. Терехин, Ю. Н. Дементьев. – М. : Юрайт, 2024. – 306 с.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ В СОСТАВЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Р. Ю. Курносов, Т. И. Чернышова

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

На этапе создания и использования цифровых устройств, в частности программно-определяемых платформ, являющихся составной частью информационно-измерительных систем (ИИС), одним из важных вопросов является оценка надежности таких устройств и ИИС в целом. С учетом специфики ИИС как средств измерений особо актуальным является оценка их метрологической надежности. Как известно, метрологическая надежность однозначно определяется уровнем метрологических характеристик средств измерений. При этом погрешность является основной метрологической характеристикой, обеспечивающей точность проведения измерительных экспериментов в производственных условиях с применением рассматриваемых измерительных средств. Поэтому вопрос оценки погрешности представляет важное значение в практике использования средств измерений, в данном случае ИИС.

Исследование актуально в связи с развитием и усложнением таких технических устройств, их сложностью в программно-аппаратной реализации, точностью и важностью выполняемых функций [1]. Сложность в программно-аппаратной реализации блоков аналого-цифрового преобразования (АЦП), входящих в структуру программно-определяемых платформ (ПОП) в составе ИИС, зависит от различных факторов, включая разрешение АЦП, скорость преобразования, тип интерфейса, и требований к точности.

Наиболее важным показателем, оценивающим метрологический уровень АЦП в структуре ИИС и его метрологическую надежность, является точность аналого-цифрового преобразования, численно определяемая величиной погрешности [1, 2].

Проведенный анализ точности такого аналого-цифрового преобразователя показал, что точность АЦП определяется следующими параметрами:

– интегральная нелинейность;
– дифференциальная нелинейность;
– погрешность квантования;
– погрешность коэффициента преобразования;
– погрешность смещения нуля;
– погрешность усиления.

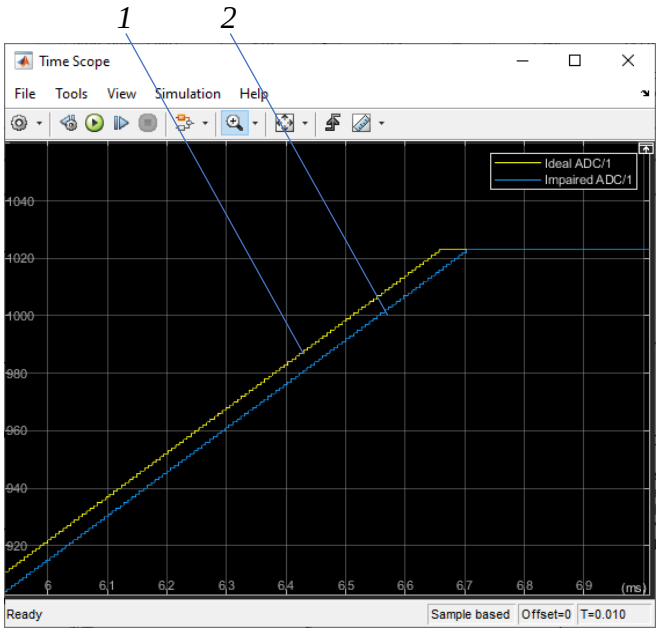


Рис. 1. Результат аналого-цифрового преобразования одноплатного компьютера (график характеристик АЦП):
1 – идеальный АЦП; *2* – АЦП с погрешностью

С учетом анализа всего комплекса факторов и параметров, влияющих на погрешность аналого-цифрового преобразования одноплатного компьютера, в составе которого используется АЦП с применением его в структуре ИИС, была построена модель АЦП в программной среде *Matlab Simulink*.

Разработанная модель, представленная в работе [3], вычисляет указанные выше составляющие полной погрешности, возникающие при функционировании АЦП. В итоге модель определяет результат аналого-цифрового преобразования одноплатного компьютера в сравнении с идеальными условиями его применения в виде соответствующих характеристик АЦП (рис. 1).

Полученная таким образом информация дает возможность сформировать численные оценки указанных выше составляющих полной погрешности АЦП и определить величину этой основной метрологической характеристики АЦП, а также с применением существующих методов оценки метрологической надежности средств измерений [3] получить значения показателей метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя и информационно-измерительной системы.

Библиографический список

1. Курносов, Р. Ю. Метрологический анализ измерительной процедуры цифровых средств измерений / Р. Ю. Курносов, Т. И. Чернышова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 375 – 382.

2. Белоусов, О. А. Моделирование работы системы множественного доступа с конечным числом очередей для проверки теоретических расчетов в программном продукте MATLAB / С. В. Бабкин, О. А. Белоусов, М. М. Кирюпин // Современные проблемы радиоэлектроники : материалы XXII Всерос. науч.-техн. конф. с международным участием, посвященной 125-й годовщине Дня радио, Красноярск, 14–15 мая 2020 года ; Сибирский федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2020. – С. 227 – 233.

3. Курносов, Р. Ю. Оценка погрешности программно-определяемой платформы в структуре информационно-измерительных систем / Р. Ю. Курносов, Т. И. Чернышова // Южно-Сибирский научный вестник. – 2024. – № 3(55). – С. 192 – 197.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПС 35/10 кВ ВАСИЛЬЕВКА ВОЛОВСКОГО РАЙОНА С МОДЕРНИЗАЦИЕЙ ВЛ 10 кВ ПУТЕМ ВВОДА НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Р. В. Лаврухин

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(*e-mail*: *roma.lav021@gmail.com*)

В статье рассмотрена модернизация системы электроснабжения, которая в целом является важной задачей в современном мире. Большое количество подстанций (ПС), линий электропередачи по всей стране было спроектировано еще в прошлом веке и требует обновления. Так, ПС Васильевка, расположенная в Воловском районе, введена в эксплуатацию еще в 1981 году, за это время оборудование уже морально устарело, появились более качественные аналоги. Было принято решение, чтобы улучшить качество доставляемой электрической энергии до потребителей, произвести модернизацию подстанции.

Потребители данной ПС, которые питаются по ВЛ 10 кВ от ПС 35/10 кВ Васильевка, зачастую жалуются на скачки напряжения или же на параметры напряжения, выходящие за его рабочие значения, а также на частые аварийные отключения. Все эти факты могут быть связаны с морально устаревшими линиями электропередачи, пролетами опор, которые даже при малейшем ветре могут схлестнуться или же оборваться. Капитальный ремонт таких ВЛ может включать в себя переустройство старых опор на новые, замену алюминиевых проводов на более качественные СИП, установку на воздушные линии (ВЛ) реклоузеров и умных разъединителей (РМИК), которыми можно управлять

дистанционно, установку индикаторов коротких замыканий (ИКЗ) для более быстрого и качественного отыскания места повреждения.

ПС 35/10 кВ Васильевка имеет 8 ВЛ 10 кВ, которые обеспечивают электроснабжение потребителей Воловского района. Обслуживанием данных ВЛ 10 кВ занимается персонал ПАО «Россети Центр» – Липецкэнерго, входящий в Тербунский район электрический сетей Воловской зоны обслуживания. Необходимыми данными для расчета нагрузки данных потребителей являются замеряемые активные нагрузки каждого потребителя за все 24 ч режимного дня 2024 года.

Так как анализируемая нами подстанция была введена в эксплуатацию в 1981 году, анализ ее текущего местоположения является важным расчетом. Он позволяет убедиться в рациональности ее текущего местоположения, так как больше чем за 40 лет потребители и их число постоянно менялись. Для этого необходимо построить картограмму, на которой будут обозначены сама ПС и ее потребители, которые в свою очередь представляются на ней в виде окружностей, радиус которых прямо пропорционален их мощности и рассчитывается по формуле [1]

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{m_i}}{\pi m}}, \qquad (1)$$

где m – принятый масштаб, кВт/м^2. Для нашей картограммы примем масштаб m равным 0,00001 кВт/м^2. В результате проведенного исследования модернизация электрических подстанций была признана необходимым шагом для повышения надежности и эффективности электросетевого хозяйства. Были рассмотрены современные технологии и решения, такие как автоматизация процессов, внедрение интеллектуальных систем управления и использование альтернативных источников энергии.

Анализ показал, что модернизация может существенно снизить эксплуатационные затраты и уменьшить вероятность аварийных ситуаций, а также повысить качество электроснабжения потребителей. Приведенные примеры успешной реализации проектов модернизации на практике подтверждают целесообразность предлагаемых мер.

Библиографический список

1. Эффективность модернизации тяговых подстанций с применением современных аппаратов / Д. А. Пазов, В. В. Милюшин, А. С. Сафронов, Е. Ю. Пузина // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар.

участием, Иркутск, 22 – 26 апреля 2024 года. – Иркутск : Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2024. – С. 261 – 265.

2. Копейкина, Т. В. Внедрение цифровых комплектных распределительных устройств для модернизации электрической части трансформаторных подстанций / Т. В. Копейкина // Главный энергетик. – 2020. – № 4. – С. 34 – 37.

3. Суханов, А. А. Модернизация комплектной подстанции / А. А. Суханов, В. Ф. Беккер // Молодежная наука в развитии регионов. – 2021. – Т. 1. – С. 120 – 123.

ДРОНЫ И БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ В ДИАГНОСТИКЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Д. А. Лагутин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *lagutin032@mail.ru*)

Обычно высоковольтные линии (ВЛ) достаточно протяженные, и объезд их может занимать много часов, особенно с учетом бездорожья (болота, неровности рельефа и т.п.). В случае же аварии требуется устранить повреждение в короткие сроки.

Благодаря применению специального оборудования для локализации места повреждения возможно сокращение времени возврата ВЛ в рабочее состояние. Это происходит благодаря, в первую очередь, минимизации времени на этапы, которые являются наиболее продолжительными (второй, третий и четвертый этапы на рис. 1).

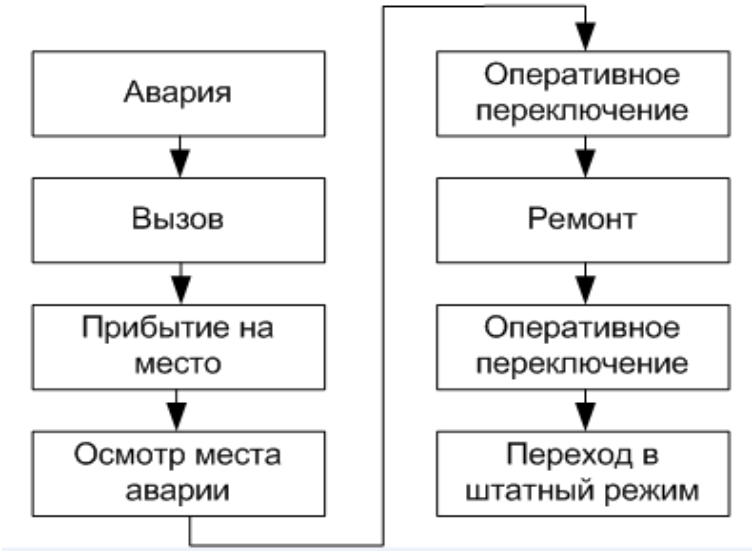


Рис. 1. Этапы восстановления работоспособности ЛЭП после аварии

Применение БПЛА (дронов) – новый метод обследования, который в настоящее время все шире используется на практике.

Список работ, которые могут выполнять беспилотные системы:

– диагностика – наблюдение и фотографирование ВЛ на малых и средних высотах, проверка состояния ВЛ и их охранных зон, выявление нарушений;

– восстановительные работы – облет ВЛ на средних высотах при различных метеоусловиях с использованием обычной оптики или тепловизора;

– топографо-геодезические работы.

Преимущества применения БПЛА:

– быстрота и своевременность;

– работа без создания сложностей в местностях с интенсивным автомобильным и пешеходным движении;

– неограниченный доступ к ВЛ для осмотра с земли. Дрон позволяет выполнять осмотр на расстоянии до нескольких километров от места расположения оператора;

– при хорошем планировании один опытный оператор может заменить бригаду с большим количеством дорогого и громоздкого оборудования;

– и главное – применение дронов для обнаружения неисправностей – это путь к сокращению опасных для жизни ситуаций среди персонала и ускорению процесса осмотра.

Но для того, чтобы все это обеспечить, необходимо иметь надежный канал управления БПЛА. Очевидно, что такой канал должен работать в радиодиапазоне, чтобы обеспечивать двустороннюю связь в любое время суток и в любых погодных условиях.

В процессе создания дронов как средств наблюдения возникает вопрос о точности управления ими. При отслеживании траектории движения беспилотных аппаратов требуется иметь максимально точные данные об их местоположении. В наше время существует большое количество современных датчиков обнаружения и слежения, но говорить о достаточной точности измерения нельзя. Связано это с тем, что в процессе движения часто происходят не плавные, а скачкообразные изменения координат и их производных в случайные моменты времени. Одной из причин, относящихся к функционированию именно радиоканала, является многолучевость распространения сигнала, обусловленная наличием вблизи дрона металлической опоры линии электропередачи и проводов. Следствие этого – замирание сигнала, что в свою очередь приводит к снижению точности и качества управления. Результаты моделирования замираний представлены на рис. 2 в виде гистограммы.

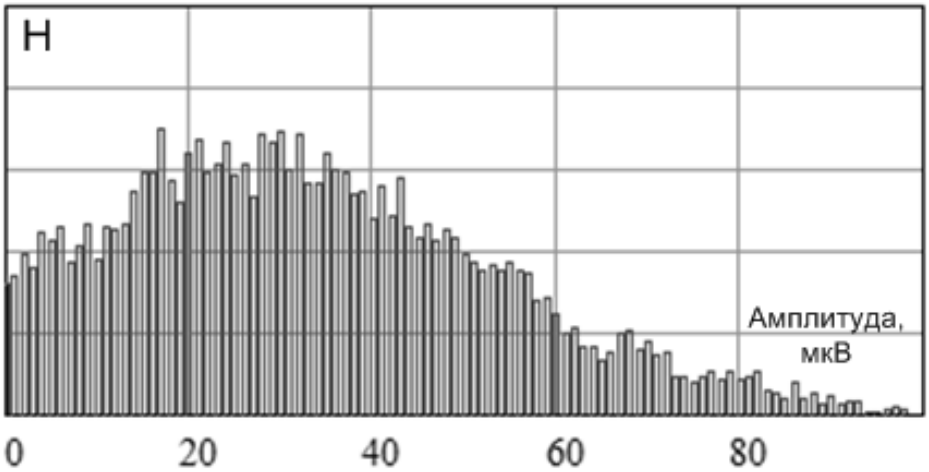


Рис. 2. Гистограмма замирания амплитуды

Библиографический список

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

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

3. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

4. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – С. 374 – 380.

5. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МНОГОЛУЧЕВОСТИ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДРОНОМ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ЛЭП

Д. А. Лагутин, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *lagutin032@mail.ru*; *plabz@mail.ru*)

Одной из причин появления ошибок в радиоканале управления дроном является многолучевость распространения сигнала, обусловленная наличием вблизи дрона металлической опоры линии электропередачи, проводов и строений. Известным следствием этого являются глубокие замирания сигнала, хотя и кратковременные.

Замирание сигнала может спровоцировать ошибки при восстановлении сигнала и является критичным при управлении беспилотным средством. Для оценки возможности возникновения ошибок была создана модель канала радиосвязи с модуляцией 4ФМн (QPSK).

Генерировалось передаваемое сообщение, состоящее из 30 символов, в виде вектора (см. фрагмент листинга, рис. 1).

На полярном графике представлено фазовое созвездие сигнала и траектории вектора при переходе от символа к символу (рис. 1). Показанное на рис. 1 созвездие построено до фильтрации (так называемой обкатки).

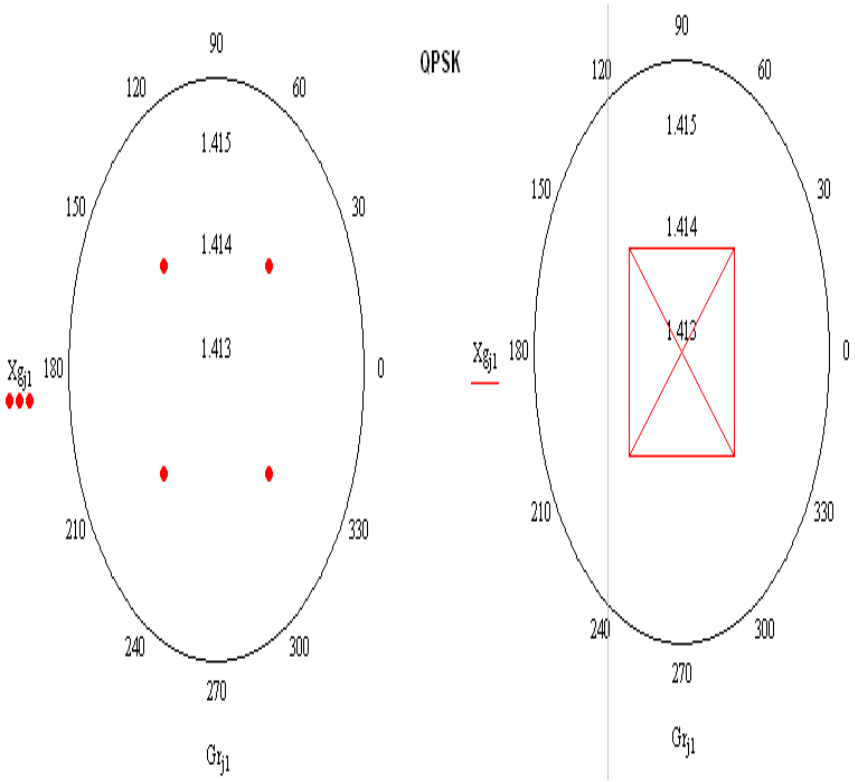


Рис. 1

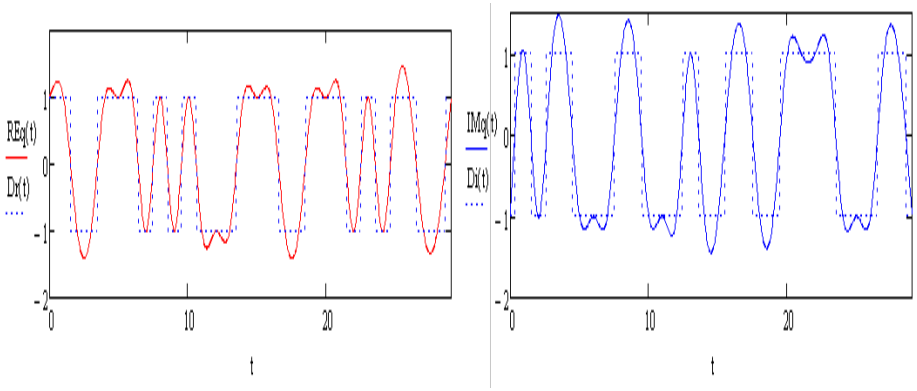


Рис. 2

Далее квадратуры сигнала подвергаются фильтрации в целях уменьшения уровня боковых лепестков спектральной плотности мощности – обкатке. На рисунке 2 пунктиром показан вид квадратуры до обкатки, а сплошной линией – обкатанный сигнал квадратуры.

После переноса обеих квадратур прямого сигнала и сигнала побочного (задержанного) луча на несущую частоту, добавления дискретного гауссовского белого шума, сопровождающего прием сигнала, суммарный (полный) сигнал имеет вид, показанный на рис. 3.

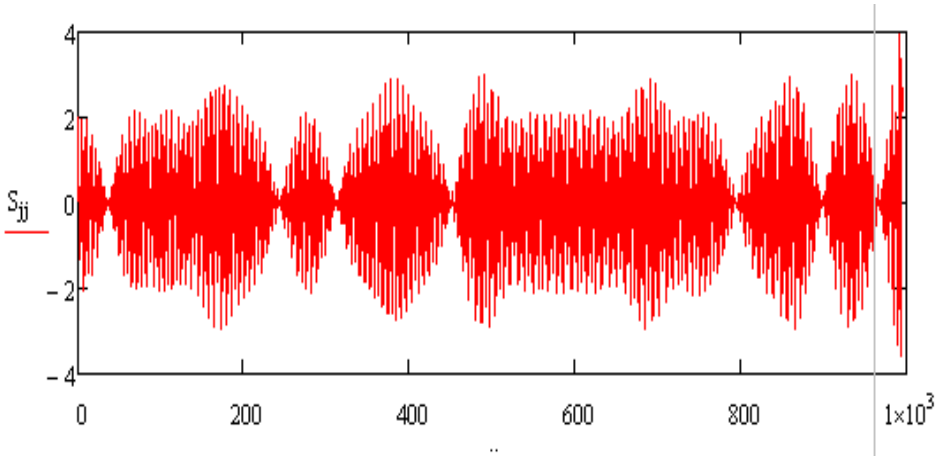


Рис. 3

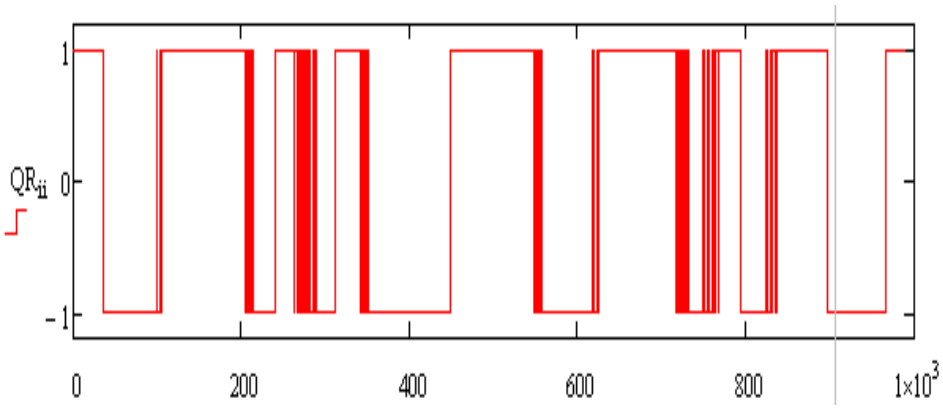


Рис. 4

После демодуляции и восстановления формы символов модель формирует выходной сигнал приемника командной радиолинии. На рисунке 4 показан восстановленный сигнал одной из квадратур. При моделировании для наглядности была задана достаточно большая амплитуда сигнала побочного луча, что привело к появлению ошибок в двух символах (символы 8 и 22). Задавая параметры сигналов, близкие к реальным, можно оценить вероятность битовой ошибки. Для этого возможно циклическое повторение эксперимента нужное число раз.

На практике при возникновении хотя бы одной ошибки в сотне реализаций нужно искать методы для устранения последствий многолучевости.

Библиографический список

1. Synthesis of Algorithm for Range Measurement Equipment to Track Maneuvering Aircraft Using Data on Its Dynamic and Kinematic Parameters / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics : Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032111.
2. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
3. Петров, И. С. Промышленные датчики уровня: Обзор современных решений / И. С. Петров // Электронные системы и контроль. – 2022.
4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
5. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – С. 374 – 380.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭНЕРГИИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ В ЦЕЛЯХ ПОДДЕРЖАНИЯ СТАБИЛЬНОГО БАЛАНСА МОЩНОСТЕЙ В ЭНЕРГОСЕТИ

М. М. Лазуткин

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

Актуальность проблемы сохранения баланса мощностей в энергосистемах становится особенно выраженной в условиях широкомасштабного внедрения возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ), таких как солнечные и ветровые установки. Эти источники характеризуются высокой изменчивостью и непредсказуемостью производства энергии, что делает сложным поддержание стабильного баланса между потреблением и выработкой электричества.

Основной целью решения проблемы сохранения баланса мощностей в энергосистеме при использовании возобновляемых источников электроэнергии является обеспечение стабильности и надежности энергоснабжения при увеличении доли ВИЭ в общем энергопотреблении. Это включает в себя эффективное управление колебаниями выработки энергии, вызванными переменчивостью возобновляемых источников, с использованием современных технологий и методов.

Для оптимального управления мощностями необходимо точно прогнозировать количество энергии, которое будет произведено возобновляемыми источниками в зависимости от погодных условий, времени суток и сезона. Это поможет заранее планировать и корректировать баланс мощности в энергосистеме. Этого можно достичь, решив задачу по разработке и внедрению систем прогнозирования выработки энергии ВИЭ.

Системы прогнозирования выработки энергии возобновляемых источников – это инструменты, которые предсказывают количество энергии, которое будут генерировать солнечные панели, ветряные установки и другие ВИЭ на основе анализа различных факторов, таких как погодные условия, время суток, сезонность и исторические данные. Они могут быть краткосрочными (на несколько часов) и долгосрочными (на несколько дней или недель). Такие системы используют алгоритмы машинного обучения, численные модели и данные с метеостанций.

Прогнозы помогают оптимизировать управление энергосистемами, снижать излишки или дефицит энергии, улучшая баланс нагрузки и минимизировать риски перебоев в электроснабжении. Преимущества применения таких си-

стем включают повышение надежности и эффективности энергоснабжения, уменьшение затрат на резервирование мощности и интеграцию большего количества ВИЭ в сеть.

Решение проблемы сохранения баланса мощностей в энергосистемах при использовании возобновляемых источников энергии требует применения технологий прогнозирования выработки ВИЭ. Эти системы позволяют точно предсказывать выработку энергии, улучшая управление мощностями и позволяют минимизировать риски перебоев в электроснабжении.

Библиографический список

1. Юдаев, И. В. Возобновляемые источники энергии / И. В. Юдаев, Ю. В. Даус, В. В. Гамага. – СПб. : Лань, 2020 – 328 с.

2. Обзор методов прогнозирования генерации энергии [Электронный ресурс]. – URL : https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-prognozirovaniya-generatsii-energii/viewer

КОНТРОЛЬ РАСХОДА ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУРСИВНОГО АЛГОРИТМА ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ РАДИОДАТЧИКОВ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

Н. А. Логвинов, А. Н. Шитов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *logvinov_kolya1@mail.ru*; *sashashitov70@gmail.com*)

В современном мире контроль расхода энергоносителей (уровня жидкостей) в промышленных системах играет важнейшую роль для обеспечения эффективного управления ресурсами и минимизации энергопотребления. Точность измерения уровня жидкости напрямую влияет на энергозатраты, особенно в системах, где насосное оборудование и исполнительные механизмы работают на основе данных датчиков. Снижение ошибок измерений позволяет сократить издержки и повысить общую энергоэффективность предприятия.

Точное измерение количества энергоносителей дает ряд преимуществ:

1. Сокращение энергозатрат за счет оптимального управления насосами и клапанами.
2. Предотвращение переполнения резервуаров и утечек.
3. Оптимизация технологических процессов, что повышает их стабильность и снижает потребление электроэнергии.

Для измерения уровня жидкости используются различные типы датчиков: ультразвуковые, емкостные, поплавковые, радиодатчики. Но только последние обеспечивают высокую точность даже в сложных условиях и не чувствительны к загрязнению и температурным изменениям, не требуют непосредственного контакта с жидкостью и не подвержены износу, особенно в агрессивных средах. Одной из основных причин неточностей при измерении уровня жидкости являются случайные колебания, вызванные волнением поверхности жидкости, наличием пены или осадка, внешними электромагнитными помехами.

Для повышения точности измерений предлагается использовать фильтр, оценивающий текущее среднее значение уровня (рис. 1). Алгоритм этого фильтра прогнозирует истинное значение уровня жидкости, используя текущие и предыдущие измерения, и минимизирует влияние шума.

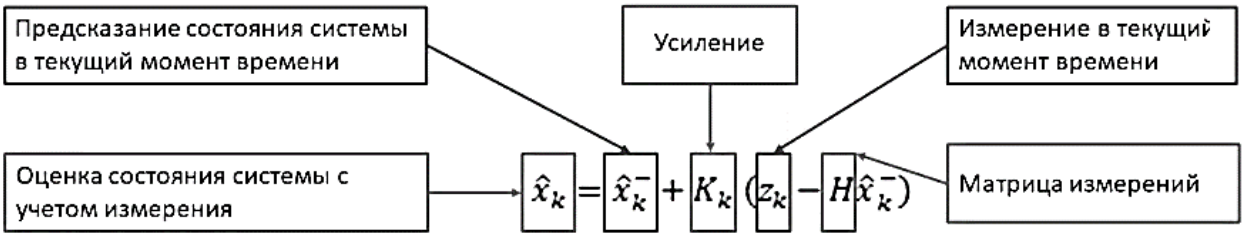


Рис. 1. Алгоритм работы фильтра

Использование рекурсивного алгоритма фильтра при оценке уровня жидкости дает следующие преимущества:

– повышение точности измерений, что особенно важно в условиях сильных колебаний и помех;

– снижение энергопотребления за счет оптимизации работы насосов и других исполнительных механизмов;

– увеличение срока службы оборудования благодаря более точному управлению процессами и снижению износа.

Внедрение радиодатчиков уровня с алгоритмами фильтрации данных позволяет значительно повысить точность измерений и сократить энергозатраты. Это делает такие решения ключевыми для современных предприятий, стремящихся повысить свою энергоэффективность и снизить эксплуатационные расходы.

Библиографический список

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

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

3. Петров, И. С. Промышленные датчики уровня: Обзор современных решений / И. С. Петров // Электронные системы и контроль. – 2022.

4. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 60 – 63.

5. Прогнозирование квазигармонического сигнала в пространстве состояний / С. Н. Данилов, Н. А. Кольтюков, Т. И. Чернышова, С. В. Петров // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – № 3. – С. 374 – 380.

ОБРАБОТКА СИГНАЛА РАДИОДАТЧИКА УРОВНЯ И РАСХОДА ЖИДКОСТИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Н. А. Логвинов, С. Н. Данилов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *logvinov_kolya1@mail.ru*; *plabz@mail.ru*)

Контроль уровня жидкостей в промышленных резервуарах играет важную роль в энергетических системах, поскольку позволяет эффективно управлять расходом ресурсов. Однако датчики уровня жидкости часто сталкиваются с внешними факторами, такими как волнение на поверхности, пена, загрязнения и электромагнитные помехи. Это приводит к большим погрешностям измерений, которые снижают эффективность управлении насосами, клапанами и др.

Рассмотрим работу рекурсивного фильтра, который минимизирует влияние помех. Уравнение для первичного измерителя (радиолокационного датчика)

$$Z_k = HX_k + n_k.$$

Здесь Z_k, X_k – отсчеты соответствующих процессов в моменты $k = 1, \ldots, M$; n_k – дискретный белый шум с дисперсией S.

Уравнение состояния было взято в виде двухкомпонентного вектора X – расстояния до поверхности жидкости R и скорости его изменения V:

$$X(t) = \begin{bmatrix} R(t) \\ V(t) \end{bmatrix};$$

модель прогноза состояния в непрерывной форме имела вид

$$\begin{bmatrix} \dot{D}(t) \\ \dot{V}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D(t) \\ V(t) \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} D(0) \\ V(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_0 \\ V_0 \end{bmatrix}.$$

Дискретный алгоритм фильтрации представлен уравнениями в матричной форме [1 – 4]:

$$\hat{X}_k = \Phi_{k/k-1}\, \hat{X}_{k-1} + K_k\, [Z_k - H\, \Phi_{k/k-1}\, \hat{X}_k],\ \hat{X}_0;$$

$$K_k = P_{k/k-1}\, H^T\, [H\, P_{k/k-1}\, H^T + S];$$

$$P_{k/k-1} = \Phi_{k/k-1}\, P_{k-1}\, \Phi_{k/k-1} + Q;\ P_0;$$

$$P_k = P_{k/k-1} - P_{k/k-1}\, H^T [H\, P_{k/k-1}\, H^T + S]^{-1}\, H\, P_{k/k-1}.$$

Здесь P_k – матрица погрешностей оценки; P_0 – матрица начальных погрешностей оценки; T – знак транспонирования матрицы.

В результате проверки функционирования фильтра на основе вышеприведенного алгоритма были получены следующие результаты.

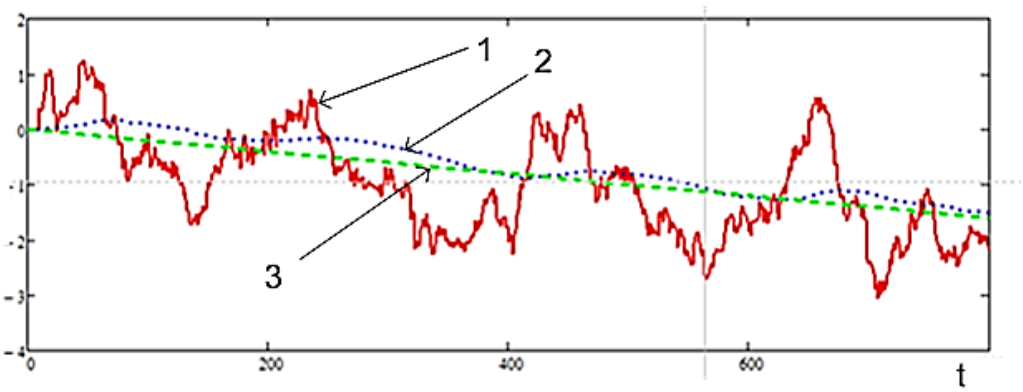


Рис. 1. Результат моделирования алгоритма оценивания уровня жидкости

На рисунке 1 показан колеблющийся уровень жидкости (кривая *1*), снижение среднего уровня жидкости за счет отбора ее через трубопровод (кривая *3*) и оценка этого среднего уровня (кривая *2*).

Анализ показывает, что фильтр эффективно сглаживает резкие колебания, приближая измеренный сигнал к истинному значению [5]. Это позволяет:

– повысить точность измерений;

– оптимизировать работу насосов и других исполнительных механизмов;

– снизить энергопотребление за счет более точного управления.

Таким образом, использование рекурсивного фильтра для обработки сигналов датчиков уровня жидкости в энергетических системах позволяет значительно повысить точность измерений и снизить влияние помех. Это способствует снижению энергозатрат и повышению эффективности работы промышленного оборудования.

Библиографический список

1. Данилов, С. Н. Алгоритм функционирования системы угловой коррекции наземной подвижной антенны, синтезированный на основе систем со случайным изменением структуры / С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – 2013. – № 9. – С 55 – 59.
2. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / И. В. Князев, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, Ю. Н. Панасюк // Радиотехника. – М., 2013. – № 9. – С. 60 – 63.
3. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
4. Synthesis of channel tracking for random process parameters under discontinuous variation / A. P. Pudovkin, Yu. N. Panasyuk, S. N. Danilov, S. P. Moskvitin // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1015, Is. 3, article id. 032112.
5. Чернышова, Т. И. Информационная технология оценки метрологической надежности информационно-измерительных систем с учетом влияния внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская // материалы VI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, молодых ученых и специалистов. – 2019. – С. 172–173.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ БПЛА ПРИ ОСМОТРЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

А. В. Мордовин, С. П. Москвитин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *mordovin-sasha68@mail.ru*; *sergey.msk@mail.ru*)

Для передачи информации, такой как связь между энергоузлами, может использоваться воздушная линия электропередач (ЛЭП). Такой линии необходим плановый осмотр для своевременного обнаружения дефектов и последующего их устранения. Но иногда ЛЭП располагаются в труднодоступных местах, таких как горы, леса или пересеченная местность. Осмотр таких линий человеком может требовать большие затраты, быть затрудненным или опасным.

В таких случаях можно использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА), такие как квадрокоптеры, для визуального осмотра линии. Благодаря

технологиям спутникового отслеживания координат, имеется возможность проводить осмотр с высокой точностью движения и без непосредственного участия человека в управлении, что может уменьшить затраты и упростить процесс [1].

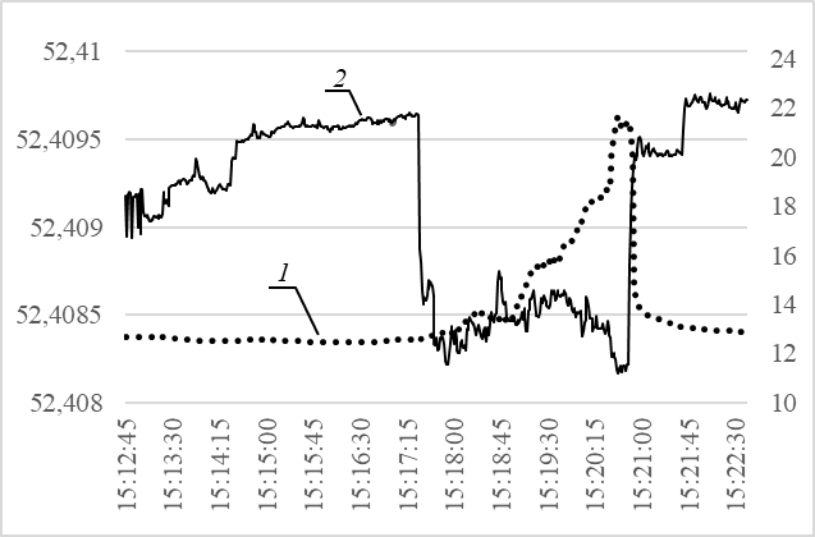


Рис. 1. Влияние внешней помехи на измеренное значение координаты:
1 – изменение координаты; *2* – изменение соотношения сигнал–шум

Для того, чтобы квадрокоптер двигался вдоль ЛЭП без значительных отклонений, необходимо, чтобы он точно определял свои координаты местоположения. Но так как движение происходит вдоль линии с высоким напряжением, то мощное электромагнитное поле наводит значительные помехи на антенне приемника, которые выражаются в появлении аномалий спутникового отслеживания координат, из-за которых точность может увеличиться с условных 10 см до 10 м [2, 3].

Для определения влияния помех на отклонение навигационных данных был проведен эксперимент с постановкой сильной электромагнитной помехи на неподвижный приемник потребительского класса. На рисунке 1 приведены графики изменения координаты северной широты и соотношения сигнал–шум со временем.

На нем видно, что во время действия помехи на входе приемника сильно уменьшается соотношение сигнал–шум, и одновременно увеличивается значение координаты северной широты. Отклонение координаты широты без воздействия помехи составляло примерно 2,5 м, а при поставленной помехе – 141 м.

Решением проблемы недопустимого отклонения квадрокоптера от линии может стать использование инерционной навигационной системы (ИНС) совместно со спутниковой, которая даст возможность БПЛА сверять свои коор-

динаты для последующего устранения ошибок и коррекции движения. Данная навигационная система является не зависящей от каких-либо внешних источников навигационной информации, таких как спутники. Вместо них, информация о движении поступает с гироскопа и акселерометра. Гироскоп определяет углы наклона относительно основных осей: крен, тангаж, рысканье. А акселерометр считывает линейное ускорение квадрокоптера. Также ИНС может быть доукомплектована другими датчиками, например барометрическим высотомером для измерения высоты и магнитометром для измерения магнитного поля.

Для еще большей помехозащищенности от наводок электромагнитного поля ЛЭП и других источников блок ИНС возможно экранировать.

Все это в совокупности позволяет увеличить точность определения координат местоположения БПЛА при движении вдоль линии электропередачи. Также использование ИНС позволяет повысить стойкость к перехвату управлением БПЛА.

Библиографический список

1. Иванов, А. В. Навигация наземных объектов / А. В. Иванов, Н. А. Иванова. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 120 с.

2. Радиотехнические системы / Ю. П. Гришин, В. П. Ипатов, Ю. М. Казаринов и др. – М. : Высшая школа, 1990. – 495 с.

3. Ярлыков, М.С. Марковская теория оценивания случайных процессов / М. С. Ярлыков, М. А. Миронов. – М. : Радио и связь, 1993. – 464 с.

К ВОПРОСУ О МОДЕРНИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ ПС 330 кВ ЖЕЛЕЗНОГОРСКАЯ

Н. П. Моторина[1], Е. В. Тетеревлева[2]

[1]*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова (филиал) НИТУ «МИСИС», Старый Оскол, Россия*
(*e-mail*: *motorina_np@mail.ru*)
[2]*Ухтинский государственный технический университет, Ухта, Россия*

В состав ПАО «Россети» входят восемь филиалов магистральных электрических сетей (МЭС), которые в свою очередь подразделяются на 51 предприятие магистральных электрических сетей (ПМЭС). МЭС Центра – филиал ПАО «Россети», работает на территории Центрального и Северо-Западного

округов с зоной обслуживания 17 субъектов РФ с населением более 38 млн человек. В подчинении находятся шесть ПМЭС – Валдайское, Верхне-Донское, Вологодское, Московское, Приокское и Черноземное. Зона обслуживания филиала ПАО «Россети» Черноземное ПМЭС охватывает территории Орловской, Курской и Белгородской областей. В эксплуатации ПМЭС находятся 2639 км линий электропередачи напряжением 220…750 кВ, 17 подстанций общей трансформаторной мощностью 11 727 МВА.

ПС 330 кВ Железногорская находится на территории Курской области для электроснабжения Северо-Западной части Курской области, города Железногорск и промышленных предприятий этой зоны, а также связывает между собой Курскую, Брянскую и Орловскую энергосистемы. Рабочее напряжение подстанции 330/220/110 кВ, установленная мощность трансформаторного оборудования составляет 1680 МВА. В городе Железногорск расположены крупные промышленные предприятия: АО «Михайловский ГОК им. А. В. Варичева», ЗАО «ЖБИ-3», ЗАО «ГОТЭК», ЗАО «Матис», кроме этого, около 700 коммерческих и торговых предприятий. АО «Михайловский ГОК им. А. В. Варичева» является градообразующим предприятием с установленной мощностью около 450 МВт и крупнейшим потребителем электроэнергии ПС 330 кВ.

В работе рассматривается модернизация компрессорной установки на ПС 330 кВ Железногорская, что в итоге должно привести к росту энергетической эффективности и уменьшению ресурсных затрат, а также в целом к повышению надежности работы оборудования и электроснабжения района.

В состав оборудования ПС 330 кВ Железногорская входят пять распределительных устройств разных классов напряжения 330/220/110/35/10 кВ. Основное оборудование: шесть трехфазных автотрансформаторов напряжением 330/110/10 кВ мощностью 200 МВА типа АТДТН-200000/330/110/10 кВ и два трехфазных автотрансформатора напряжением 330/220/10 кВ мощностью 240 МВА типа АТДЦТГ-240000/330/220/10 кВ и пр. Для защиты автотрансформаторов и коммутаций нагрузочных режимов используются высоковольтные воздушные выключатели. Основу коммутационного оборудования ОРУ 220-110кВ составляют воздушные выключатели типов ВВН-220-10/2000, ВВШ-110-25/2000, ВВН-110-25/2000 в количестве 49 шт. Воздушные выключатели высокого напряжения с воздухонаполненными отделителями серии ВВШ, ВВН предназначены для включения и отключения в нормальных и аварийных режимах линии электропередачи с присоединенным оборудованием трехфазного переменного тока частоты 50 Гц в схемах с большими токами замыкания на

землю. В них размыкание контактов гасительной камеры и отделителя, гашение электрической дуги и создание электрической прочности промежутков между контактами в процессе отключения производятся с помощью воздуха. В отключенном положении выключателя его отделитель заполнен сжатым воздухом. Давление воздуха в баках выключателя должно быть не более 21 атм. Должна быть исключена возможность производства операций с аппаратом при давлении воздуха в баках выключателя ниже 16 атм. Все полости внутри опорной изоляции и разрывов гасительной камеры должны непрерывно вентилироваться. Эксплуатация воздушных выключателей при прекращении вентиляции запрещается. В связи с вышеперечисленными требованиями на ПС 330 кВ Железногорская смонтирована достаточно сложная система воздухоприготовления (рис. 1), требующая модернизации.

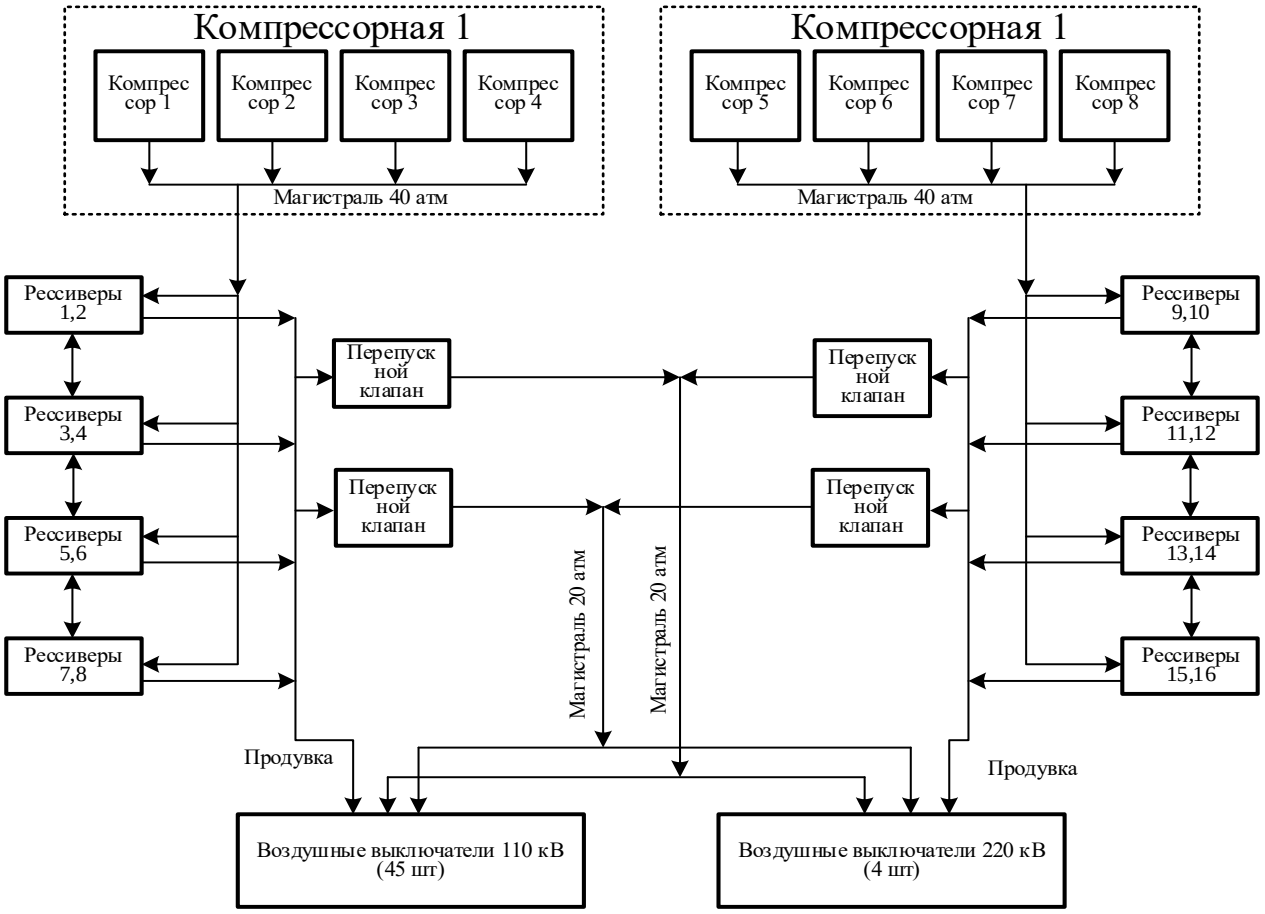


Рис. 1. Технологическая схема системы воздухоприготовления

Ежедневно происходит несколько пусков/остановов резервных компрессоров, что приводит к снижению эксплуатационного ресурса электродвигателей, резким просадкам напряжения в сети 380 В, которые могут привести к аварийному останову компрессоров.

Выводы. Использование системы ПЧ–АД может способствовать решению части проблем, увеличить эксплуатационный ресурс электродвигателей и снизить пусковые токи, кроме этого, регулирование скорости (в том числе производительности компрессоров) позволит снизить количество пусков/остановов резервных установок. Соответственно применение ПЧ позволит увеличить срок эксплуатации АД и компрессоров.

ФУНКЦИЯ ИСТОЧНИКОВ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ В ЦЕНТРАХ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

З. Х. Нго

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия (e-mail: khanhbg339@gmail.com)

С развитием современной цифровой индустрии хранение и обработка данных информации становятся чрезвычайно актуальным вопросом в любой сфере жизни. Центр обработки данных (ЦОД) или дата-центр является одним из распространенных решений для вышеуказанной задачи. Самый важный показатель ЦОД – это его отказоустойчивость, что в значительной степени определяется стабильностью и надежностью источников питания. Все параметры ЦОД не будут иметь значения в случае возникновения серьезного сбоя в его системе питания. Для обеспечения безостановочной работы ЦОД при возникновении проблем с питающей сетью используются источники бесперебойного питания (ИБП).

Цель работы: изучить и определить роль источников бесперебойного питания в центрах обработки данных.

Материалы и методы. Проведены сравнительный анализ и синтез информационных данных в авторских публикационных источниках для представления технической функции ИБП в ЦОД.

Результаты. Дан обзор о международном стандарте безопасности ЦОД. При анализе структурного построения системного бесперебойного электроснабжения (СБЭ) в ЦОД представлена роль ИБП для определения уровня надежности ЦОД. Обеспечены классификация ИБП и их характеристики для рекомендации использования в конкретных задачах. Описаны основные требования к ИБП для обеспечения стабильности и надежности ЦОД. Особое внимание уделено типовым проблемам, возникающим в работе ИБП, и их подходам решения.

Таким образом по мере уменьшения времени, затрачиваемого на поиск необходимой информации, читатели могут оперативно получить общее пред-

ставление о ключевых характеристиках и возможностях ИБП, используемых в ЦОД. Такой подход предоставляет основу для более глубокого изучения данной темы, что особенно важно при выборе наиболее подходящего решения, будь то конкретная модель ИБП или конфигурация ЦОД в целом. Кроме того, это открывает возможности для оптимизации системы энергоснабжения, направленной на снижение эксплуатационных расходов, увеличение срока службы оборудования и повышение общей эффективности работы электронных устройств.

Библиографический список

1. Гуз, И. Д. Анализ эксплуатационной надежности оборудования центра обработки данных крупной компании / И. Д. Гуз, В. А. Острейковский // Надежность и качество сложных систем. – 2019. – № 4(28). – С. 2 – 6.
2. Балабеков, Б. Ч. Обзор современного оборудования для высокоскоростной передачи данных / Б. Ч. Балабеков, Т. Т. Егембердиев // Наука и образование сегодня. – 2017. – № 6(17). – С 18 – 20.
3. Денисенко, Е. А. Источники бесперебойного и автономного электроснабжения / Е. А. Денисенко, М. М. Тарасов, А. А. Кривошей // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 115(01). – С. 2 – 12.
4. Митюгин, А. А. Исследование высоковольтных электромагнитных помех в электрической сети при отключении тока короткого замыкания / А. А. Митюгин, В. И. Яковлев // Энергетика и электротехника. – 2012. – № 1. – С. 103 – 107.
5. Набиев, Р. Н. Некоторые схемотехнические решения при построении стабилизаторов напряжения со ступенчатым регулированием / Р. Н. Набиев, Г. И. Гараев // Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел VII. Практические аспекты энергетики. – С. 231 – 239.
6. Гуревич, В. Источники бесперебойного электропитания: устройство, принципы действия и применение / В. Гуревич // Силовая электроника. – 2012. – № 6. – С. 63 – 70.
7. Вернидуб, А. С. Проблемы и пути обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей / А. С. Вернидуб, О. А. Стародубцева // Общество с ограниченной ответственностью «Центр развития научного сотрудничества». – 2017. – С. 234 – 240.
8. Воробьев, Е. В. Особенности классификации и работы источников / Е. В. Воробьев, А. А. Кривошей // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2015. – № 4-1. – С. 21 – 23.
9. Шпанько, Д. Рекомендации о роли ИБП в инфраструктуре информационной безопасности / Д. Шпанько // Информационная безопасность. – 2024. – № 1. – С. 48–49.

НОВЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М. С. Осипов, Д. Р. Акмурат

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Уральск, Казахстан
(*e-mail*: *sergeewih99@gmail.com*; *akmuratdias@gmail.com*)

Современные технологии стремительно развиваются, и сельское хозяйство не остается в стороне от этих процессов. Одной из важнейших тенденций в аграрной отрасли является внедрение новых электротехнологий, которые обеспечивают повышение эффективности производства, снижение затрат и улучшение экологической устойчивости. Электричество и современные электрические устройства становятся неотъемлемой частью аграрных инноваций, что позволяет создавать более умные, автоматизированные и устойчивые процессы в сельском хозяйстве.

1. *Электропастбища и интеллектуальные системы управления*

Одним из ярких примеров применения электротехнологий в сельском хозяйстве является система электрических пастбищ. Электропастбища – это комплексы, использующие электрические ограды для управления движением скота и его пастбищным режимом. Такая система позволяет более эффективно использовать пастбища, избегать перегрузки определенных участков и минимизировать расходы на ручной труд. Электрическое ограждение является безопасным и энергосберегающим методом, который позволяет улучшить условия для животных и повысить общую производительность сельского хозяйства.

Интеллектуальные системы управления пастбищами могут включать датчики и устройства для мониторинга состояния пастбища и животных. Это позволяет в реальном времени отслеживать местоположение скота, его состояние и даже наличие заболеваний, что значительно снижает затраты на ветеринарное обслуживание и повышает общую продуктивность стада.

2. *Автоматизация орошения*

В сельском хозяйстве, особенно в регионах с недостаточным количеством осадков, орошение играет важную роль. Современные системы автоматизированного орошения, управляемые с помощью электричества, помогают оптимизировать использование водных ресурсов и повышают урожайность. Такие системы включают датчики влажности почвы, которые определяют необходимость полива в зависимости от уровня влаги, и автоматически регулируют

подачу воды. Электрические насосы, насосные станции и системы управления обеспечивают точность и эффективность, снижая потери воды и сокращая затраты на энергоснабжение.

В некоторых случаях такие системы могут быть интегрированы с погодными прогнозами и данными о состоянии культуры, что позволяет применять орошение только тогда, когда оно действительно необходимо, и в оптимальных количествах. Это значительно улучшает экологическую устойчивость и экономическую эффективность аграрных предприятий.

3. *Беспилотные летательные аппараты* (*дроны*) *для мониторинга сельскохозяйственных угодий*

Еще одной важной электротехнологией, которая активно применяется в сельском хозяйстве, являются дроны. Беспилотные летательные аппараты с камерами и датчиками могут использоваться для мониторинга состояния полей, выявления болезней растений, оценки плотности посевов и других параметров. Это позволяет агрономам более точно и своевременно реагировать на проблемы, связанные с состоянием культур, а также значительно сократить время, затрачиваемое на мониторинг больших площадей.

Дроны, оснащенные тепловизионными и инфракрасными камерами, способны выявлять даже скрытые признаки заболеваний и дефицита воды, что помогает фермерам оперативно принимать меры и минимизировать потери. Электрические системы управления дронов делают эти устройства простыми в эксплуатации и доступными для использования на различных стадиях аграрного цикла – от посева до сбора урожая.

4. *Роботизация и автоматизация сбора урожая*

Автоматизация процессов сбора урожая – это одна из наиболее актуальных областей применения электротехнологий. Современные комбайны, уборочные машины и другие устройства на электрической тяге могут работать в автономном режиме, используя датчики и системы машинного обучения для точной оценки зрелости плодов, их сбора и сортировки. Электрическая тяга позволяет сократить расход топлива и улучшить экологическую безопасность, поскольку такие машины обычно работают тише и с меньшими выбросами вредных веществ.

В дальнейшем планируется развитие полностью автоматизированных ферм, где все процессы – от посадки семян до сбора урожая – будут управляться роботами и электрическими системами, которые минимизируют человеческий труд и увеличивают производительность.

Библиографический список

1. Агафонов, С. В. Электротехнологии в сельском хозяйстве / С. В. Агафонов. – М. : Агропромиздат, 2020. (Обзор применения электрификации и электротехнологий в различных аспектах сельского хозяйства.)
2. Федоров, В. И. Электрические машины и установки в сельском хозяйстве / В. И. Федоров. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2018. (Учебник по теории и практике использования электрических машин в сельхозмашиностроении.)
3. Михайлов, В. Н. Электрические системы в агропромышленном комплексе / В. Н. Михайлов. – М. : Агросфера, 2017. (Системы управления и автоматизация процессов в сельском хозяйстве с применением электрических технологий.)

МИКРОВОЛНОВЫЙ МЕТОД И СИСТЕМА БЕСКОНТАКТНОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Д. Ю. Остроухов, В. Н. Чернышов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *denistambov359@gmail.com*; *chvn-51@mail.com*)

В настоящее время повсеместно наблюдается увеличение эксплуатации новых теплозащитных материалов, синтезируемых с помощью нанотехнологий, что позволяет эффективно решать проблему энергосбережения. При этом информация о теплозащитных свойствах материалов в процессе их эксплуатации зачастую является не полной. Поэтому разработка новых бесконтактных методов неразрушающего контроля теплофизических характеристик (ТФХ) материалов и изделий в реальных условиях эксплуатации является актуальной задачей.

Информационный анализ показал, что одними из наиболее прогрессивно развивающихся методов неразрушающего контроля (НК) теплофизических характеристик (ТФХ) материалов являются микроволновые методы, использующие сверхвысокочастотное (СВЧ) магнитное излучение для теплового воздействия на исследуемые объекты [1, 2]. Разработан микроволновый метод НК ТФХ, сущность которого заключается в следующем.

На поверхность исследуемого объекта *1* воздействуют точечным микроволновым источником тепла *2* заданной мощности q, движущимся равномерно относительно объекта со скоростью V по линии в направлении оси x. Источник

СВЧ-излучения сфокусирован на поверхность объекта в точку диаметром 0,001 м. На линии *A* постепенно смещают термоприемник по оси *x* в сторону отставания от источника до достижения заданной температуры T_1 и измеряют расстояние x_1. Далее перемещают термоприемник на линию движения *B* и начинают уменьшать скорость движения источника и термоприемника до момента, когда измеряемое значение избыточной температуры станет равным заданному значению T_1, и фиксируют полученную скорость V_x.

Искомый коэффициент температуропроводности исследуемого материала определяют по соотношению

$$a = \frac{V_x(x_2 - R_x)}{2\ln\dfrac{R_x}{x_1}}, \tag{1}$$

где x_2 – расстояние между точкой воздействия источника и проекцией точки контроля температуры на ось *x* при измерении на линии *B*.

Коэффициент теплопроводности определяется по формуле

$$\lambda = \frac{q}{2\pi T_1}\exp\left(\frac{V_x(x_2 - R_x)}{2a}\right). \tag{2}$$

Для реализации предложенного метода разработана информационно измерительная система (ИИС), блок-схема которой представлена на рис. 1.

Над исследуемым материалом *1* помещают точечный источник СВЧ-излучения *2* и бесконтактный термоприемник *3*, сфокусированные на поверхность, подверженную тепловому воздействию на линии движения *A*. Перемещение термоприемника *3* относительно источника тепла осуществляют до момента, когда T_1 станет равна заданному значению. Значения температур с термоприемника *3* поступают через АЦП *4* в микропроцессор *5*. Микропроцессор *5* выводит данные эксперимента на монитор *6* и соединен с СВЧ-источником *2* через блок питания *7*. К микропроцессору *5* подключена клавиатура *8* и подключен датчик положения *9* термоприемника *3* относительно источника тепла *2*. Блок управления реверсивным двигателем *10* подключен к цепи питания реверсивного двигателя *11*, выход которого соединен с механизмом перемещения *12* термоприемника *3* относительно теплового источника *2* по оси *x*. Перемещение всего информационного зонда ИИС, включающей точечный источник тепла *2* и термоприемник *3*, над поверхностью исследуемых материалов с заданной скоростью *V* осуществляется двигателем постоянного тока *13* через механизм перемещения *14*, который кинематически связан с измерительным зондом.

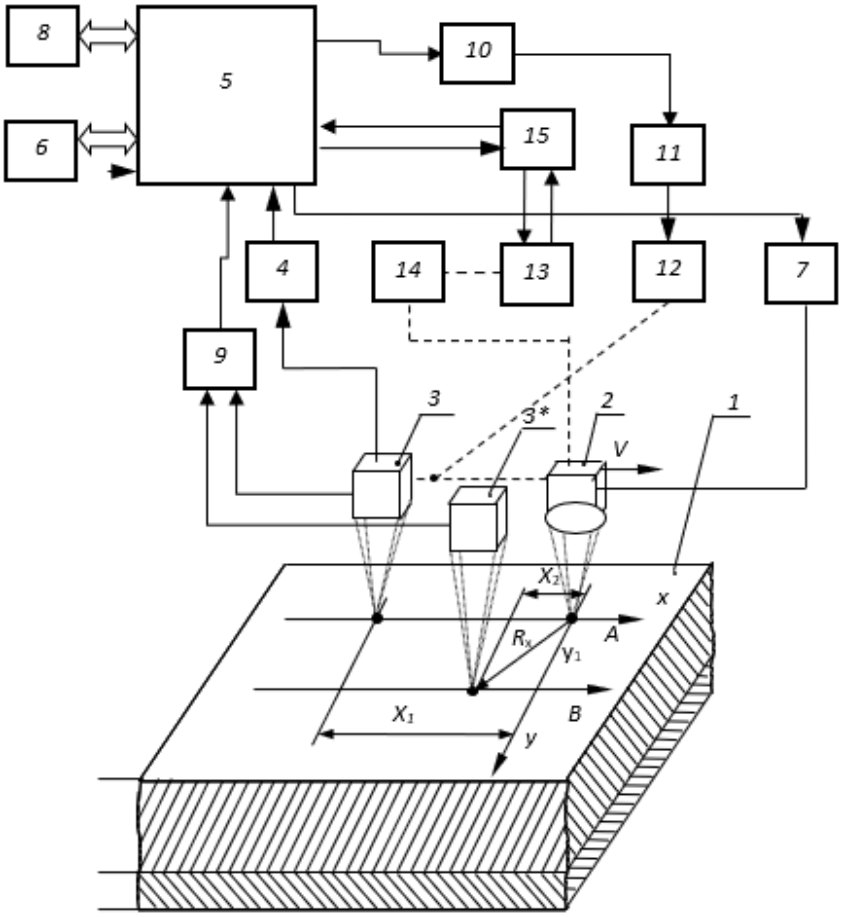


Рис. 1. Блок-схема микропроцессорной ИИС, реализующая предложенный метод

Управление работой двигателя *13* осуществляется микропроцессором *5* через электронный блок управления двигателем *15*. Скорость V_x движения источника и термоприемника осуществляется регулировкой напряжения питания двигателя *13*.

Отличительной особенностью предложенного метода является компенсация влияния тепловых потерь с поверхности исследуемого объекта в окружающую среду от лучистого и конвективного теплообмена, так как в предложенном методе данные температуры практически равны, а потери компенсируются.

Библиографический список

1. Чернышов, В. Н. Микроволновые методы и системы контроля теплофизических характеристик материалов и изделий : монография / В. Н. Чернышов, Т. И. Чернышова. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 124 с.

2. Чернышова, Т. И. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий : монография / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. – СПб. : Экспертные решения, 2016. – 384 с.

ПЕРЕДАЧА РЕЧЕВОГО СООБЩЕНИЯ ПО НИЗКОСКОРОСТНЫМ ЦИФРОВЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ LORA

И. И. Пасечников, М. Ф. Гасанов, В. В. Тарасов, М. В. Тарасов, В. А. Федоров

Тамбовский государственный университет имени Г. Р. Державина, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *pasechnikov_ivan@mail.ru*)

В системах автоматики широко используется технология дальней связи LoRa [1] для телеметрии, в интернете вещей, системах автоматики и др. [1, 2]. Основное преимущество ее состоит в обеспечении дальней беспроводной связи, высокой помехоустойчивости каналов связи и чувствительности радиоприемных устройств, при этом как и во многих технологиях беспроводного доступа и связи (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi и др.) реализован низкий уровень энергопотребления. Одновременно с этим она обладает существенным недостатком – низкая скорость передачи данных – от сотен бит/с до единиц Кбит/с. При этом с увеличением скорости передачи падают помехоустойчивость, чувствительность и дальность связи. Низкая канальная скорость ограничивает ее применимость передачей данных. В системах промышленной автоматики [3] может быть востребована необходимость передачи речевых сообщений как в условиях ее настройки, так и применения ее в виде самостоятельной системы обмена речевой информацией.

Целью работы является решение задачи передачи речевого сообщения по помехоустойчивым каналам связи LoRa с характеристиками, позволяющими за счет повышенной чувствительности приемника осуществлять связь на дальность до пяти и более километров с уровнем излучения 25 мВт.

Для достижения цели решены задачи на передающей стороне:

1) преобразование речевого сигнала в цифровую последовательность с предельным уменьшением скорости передачи, соответствующей требуемой разборчивости речи;

2) демультиплексирование потока данных речевого сигнала на два и более подпотока с целью дальнейшей минимизации потребной скорости передачи в двух и более параллельных каналах связи, число которых определяется количеством подпотоков;

3) параллельная передача данных в независимых как минимум двух каналах цифровой связи, характеризующихся малой скоростью передачи данных, но повышенной помехоустойчивостью, с реализацией способа расширения спектра сигнала.

На приемной стороне решены задачи обратного преобразования.

Решение указанных задач осуществлено в ООО «Конструкторское бюро телекоммуникационных физико-технических систем» (г. Тамбов) на основе разработки портативной двухканальной радиостанции с функцией шлюза (РПШ-2). Для передачи речи используются вокодеры со скоростями 1,6 и 1,2 Кбит/с, применены для параллельной передачи два канала связи LoRa с различными частотами настройки. Режим передачи характеризуется выбором в двух каналах связи, в соответствии с технологией LoRa, коэффициента расширения спектра сигнала (SF7, SF8, SF9, SF10, что соответствует значениям от 128, 256, 512, 1024), помехоустойчивого кода Хемминга (от 4/5 до 4/8). Передача речи осуществляется ЛЧМ-сигналом в виде последовательности чипов [1], длительность которых с увеличением SF увеличивается, что приводит к увеличению помехоустойчивости. Увеличение SF на единицу приводит к уменьшению требуемого отношения сигнал/шум на 3 дБ для обеспечения одинаковой вероятности битовой ошибки [1]. Использование симплексного режима обмена речевыми сообщениями показало, что при выбранных SF7, SF8, SF9 время перехода с приема на передачу менее 1 с, при SF10 оно составляет около 3 с. Применение SF11 и SF12 принципиально возможно при большем количестве параллельных каналов связи LoRa. Основные технические характеристики РПШ-2 приведены в табл. 1.

1. Технические характеристики РПШ-2

Технические характеристики		Значение
Дальность связи в условиях прямой видимости при мощности излучения, км	14 дБ·м	5
	22 дБ·м	6
Класс качества разборчивости речи с использованием кодека на 1600 бит/с в режиме помехоустойчивой передачи 1(SF7, SF8 код 4/8) и мощности излучения 14 дБ·м		II 93%
Класс качества разборчивости речи с использованием кодека на 1200 бит/с в режиме помехоустойчивой передачи 2 (SF7, SF8 код 4/8) и мощности излучения 14 дБ·м		III 92%
Время непрерывной работы в режиме «Передача – 1 мин/прием – 1 мин/пауза – 2 мин» с разрядом аккумулятора до уровня, ч	50%	16
	0%	22
Время непрерывной работы в режиме «Передача – 10 с/прием – 10 с/пауза – 8 мин (режим 2/2/96)», ч		72
Выходная мощность НЧ-приемника, Вт		1
Тип аккумулятора		Li-Pol
Емкость аккумулятора, мАч		3000

Вывод. Применение вокодера с малой скоростью передачи, демультиплексирование потока данных на как минимум два подпотока и передача их по параллельным каналам LoRa позволяет осуществлять речевое взаимодействие в помехоустойчивой системе с малым уровнем излучения.

Библиографический список

1. Леушин, А. В. LoRa как новый вид модуляции, принцип работы, основные параметры, помехоустойчивость / А. В. Леушин // Техника радиосвязи. – 2022. – Вып. 2(53). – С. 28 – 42.
2. Борзин, Р. Ю. Реализация беспроводной передачи данных с помощью технологии LORAWAN / Р. Ю. Борзин, А. А. Силаев // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – Вып. 2. – С. 20 – 24.
3. Свидетельство о регистрации ноу-хау № 2022-0004 от 18.10.2022. Система автоматики водозаборных скважин на основе беспроводного помехоустойчивого канала связи / И. И. Пасечников, А. В. Воспитанюк, А. С. Волков и др. ; ФГБОУ ВО «ТГУ им. Г. Р. Державина».

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ДВУХТРАНСФОРМАТОРНЫМИ ПОДСТАНЦИЯМИ

Р. М. Петрова

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
(*e-mail*: *1998renata@mail.ru*)

Оценка надежности работы систем электроснабжения, как правило, производится на ранних этапах проектирования, реконструкции и эксплуатации [1]. Поэтому необходимы методы оценки надежности, позволяющие использовать достаточный минимум исходных данных и обеспечивать достоверные результаты [2, 3].

Целью данного исследования является оценка параметров надежности схемы системы электроснабжения промышленного предприятия АО «Казанский Завод Медаппаратуры», г. Казань (рис. 1) [3].

Показатели надежности элементов схемы электроснабжения (для рис. 1).

1) Параметр потока отказов $\omega(t)$

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{Q(t, t + \Delta t)}{\Delta t},$$

определяемый вероятностью появления отказа $Q(t, \Delta t)$ в интервале времени t, Δt.

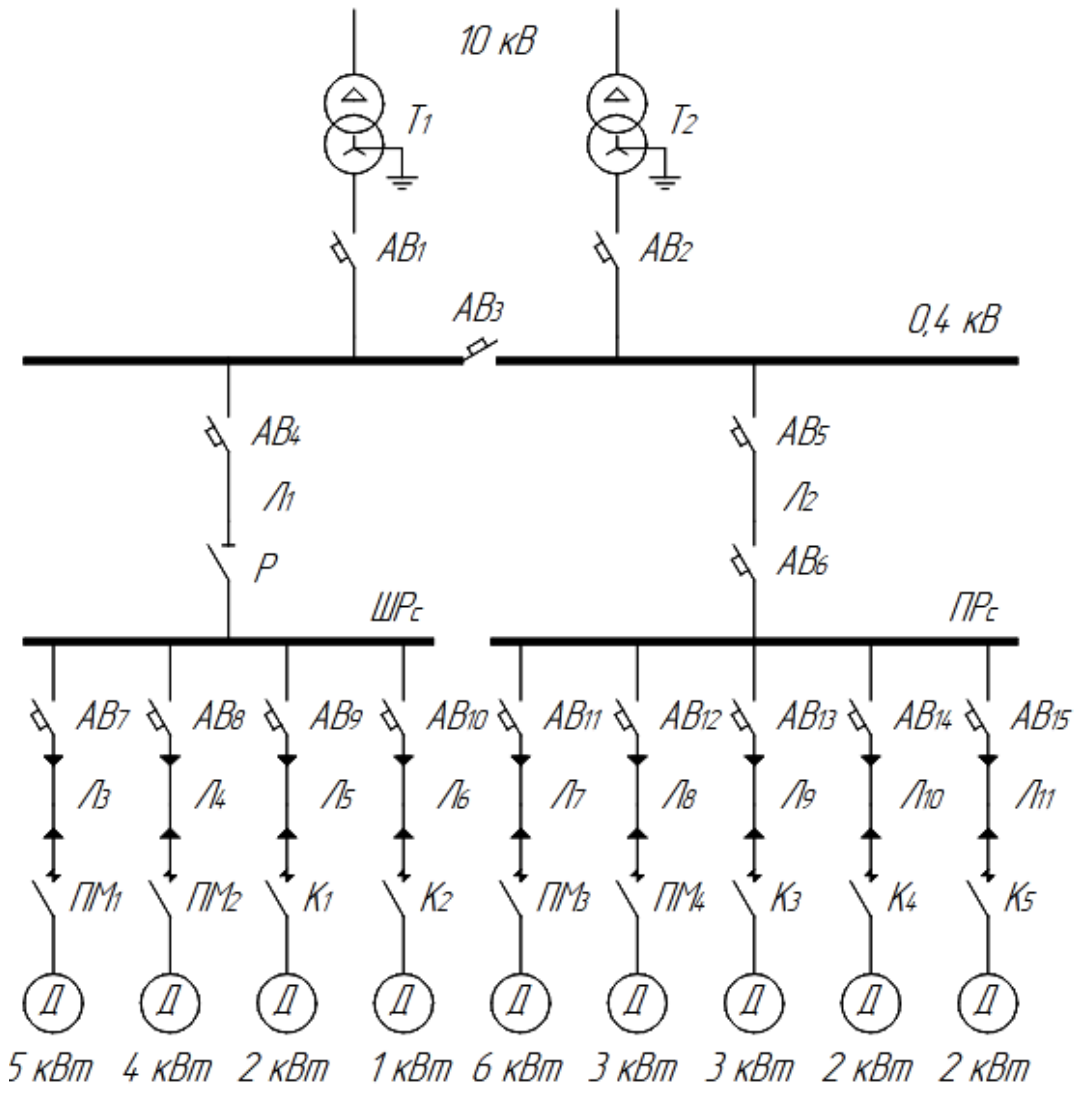


Рис. 1. Схема электроснабжения промышленного предприятия АО «Казанский Завод Медаппаратуры», г. Казань

Если параметр потока отказов элементов $\omega(t)$ обладает ограниченным последействием, то параметр потока отказов $\omega(t)$ совпадает с интенсивностью отказов $\lambda(t)$.

2) Время наработки на отказ

$$T_{\text{нар.отк}} = \frac{1}{\omega}.$$

Исследуем возможные виды электрических схем для рис. 1:

1. Без резервирования;

2. С резервированием (с секционным выключателем AB_3);

3. С двойным резервированием (с секционным выключателем AB_3 и резервной перемычкой на 0,4 кВ).

В таблице 1 приведены результаты расчетов схем по вариантам для двухтрансформаторной подстанции 10/0,4 кВ (рис. 1).

1. Результаты расчета вариантов схем электроснабжения

Варианты схем электроснабжения	Параметр потока отказов $\omega_{схемы}$, откл/год	Время наработки на отказ $T_{нар.отк.}$
Без резервирования	0,7538	1,3266
С резервированием	0,4032	2,4802
С двойным резервированием	0,2380	4,2017

Данные табл. 1 показывают, что параметр потока отказов без резервирования имеет наибольшее значение $\omega_{схемы}$ = 0,7538 и уменьшается при резервировании (при включении секционного выключателя) $\omega_{схемы}$ = 0,4032, а далее при двойном резервировании $\omega_{схемы}$ = 0,238. Что показывает высокую надежность схемы с двойным резервированием при одинаковом количестве присоединений элементов к линии.

Величина времени наработки на отказ $T_{нар.отк}$ обратно пропорциональна параметру потока отказов схемы $\omega_{схемы}$. Время наработки на отказ имеет максимальное значение при двойном резервировании схемы, $T_{нар.отк}$ = 4,2017 и минимальное – без резервирования $T_{нар.отк}$ = 1,3266. Данные расчетов показывают, что надежность схемы без резервирования в 1,87 раза ниже схемы с резервированием и в 3,17 раза ниже схемы с двойным резервированием.

Библиографический список

1. Багаутдинов, И. З. Расчет надежности / И. З. Багаутдинов // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 4(22).
2. Yousef Ibragim. Исследование вероятностных характеристик надежности электрооборудования внутрицеховых систем электроснабжения / Р. М. Петрова, Э. Ю. Абдуллазянов, Е. И. Грачева, S. Valtchev // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2023. – Т. 15, No. 1(57). – С. 93 – 105.
3. Исследование отказоустойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, Р. М. Петрова, Е. И. Грачева // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2024. – Т. 16, № 2(62). – С. 94 – 105.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО УРОВНЯ НАГРЕВА КОНТАКТОВ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АППАРАТОВ

А. Р. Петров

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия
(*e-mail*: *petroval13@mail.ru*)

Одним из эффективных методов контроля технического состояния электрооборудования и коммутационных аппаратов является тепловизионное обследование [1]. К достоинствам данного вида контроля относятся требуемая степень точности, время проведения диагностики, предоставление наиболее полной информации о контролируемом узле или объекте, а также непрерывность самого наблюдения [2, 3].

В таблице 1 приведены «индикаторы» в зависимости от температуры нагрева контактов аппаратов. Данные, представленные в таблице, актуальны для продолжительного режима работы аппаратов при температуре окружающей среды 40 °С.

1. Индикаторы состояния нагрева контактов

Контролируемый узел	Индикатор		
	«контроль»	«опасно»	«дефект»
Контакты главной цепи: – из меди без покрытия; – покрытые серебром/с накладками из серебра; – скользящие с накладками из серебра	 < 45° < 200° < 80°	 45…85° 200…240° 80…120°	 > 85° > 240° > 120°
Контакты вспомогательной цепи с накладками из серебра	< 80°	80…120°	> 120°
Контакты внутри НКА (кроме паяных и сварных): – из меди, алюминия без покрытия от коррозии; – из меди, алюминия с покрытием от коррозии; – из меди с покрытием из серебра	 < 55° < 65° < 95°	 55…95° 65…105° 95…135°	 > 95° >105° > 135°
Контакты внутри НКА (паяные мягким припоем – пайка обеспечивает механическую прочность)	< 60°	60…100°	> 100°
Контакты выводов НКА, предназначенные для соединения с внешними проводниками: – из меди, алюминия без защитных покрытий; – с покрытием неблагородными металлами; – из меди с покрытием из серебра	 < 55° < 70° < 95°	 55…95° 70…110° 95…135°	 > 95° > 110° > 135°

В таблице 1 индикатор «контроль» соответствует допустимой температуре нагрева контактных соединений, которую следует держать под контролем. Индикатор «опасно» обязывает принять необходимые меры по устранению неисправности при ближайшем выводе оборудования в ремонт. Индикатор «дефект» – аварийное состояние, которое требует незамедлительного устранения [1].

Для реализации системы контроля технического состояния НКА с помощью тепловизоров и индикаторов состояния необходимо реализовать автоматизированные программы, которые по заданным критериям в реальном времени будут контролировать состояние аппаратов и при отклонениях от параметров сигнализировать техническому персоналу на объекте о недопустимом состоянии.

На рисунке 1 представлены графические зависимости температуры контактов *T* от коэффициента загрузки $K_з$ для автоматического выключателя с номинальным током 16 А (линия *1*), 32 А (линия *2*), 40 А (линия *3*) и 50 А (линия *4*).

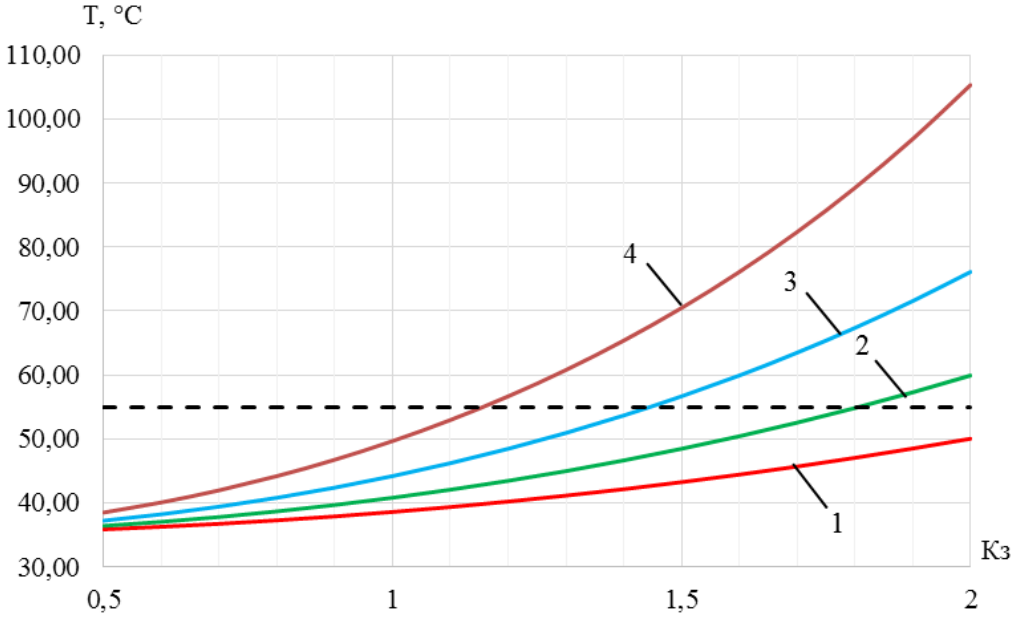


Рис. 1. Зависимости температуры нагрева контактов автоматического выключателя от коэффициента загрузки

Индикатор «опасно» находится при значении 55 °С. Таким образом, можно определить предельно допустимое значение коэффициента загрузки аппаратов. Тепловизионный контроль НКА обладает достаточной эффективностью при определении неисправностей, влияющих на функционирование всей системы электроснабжения низковольтных потребителей.

Библиографический список

1. Тепловизионный контроль электрооборудования промышленных предприятий / А. Н. Шпиганович, А. А. Шпиганович, А. Р. Петров, Е. И. Грачева // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 2. – С. 68 – 77.
2. Львов, М. Ю. Применение термоиндикаторов для контроля состояния контактов и контактных соединений при эксплуатации электрооборудования / М. Ю. Львов, С. Д. Никитина, А. В. Лесив // Электрические станции. – 2023. – № 2. – С. 44 – 51.
3. Зарипова, А. Д. Критерии выявления дефектов оборудования для тепловизионной системы контроля электрической подстанции / А. Д. Зарипова, Д. К. Зарипов, А. Е. Усачев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2017. – № 19(5-6). – С. 51 – 57.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО СНИЖЕНИЯ ПРОСТОЕВ И ЗАТРАТ НА РЕМОНТ

М. А. Петрова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *masha2002petrova@yandex.ru*)

Снижение простоев и затрат на ремонт электрооборудования является актуальной проблемой в современном промышленном производстве, поскольку неплановые остановки оборудования могут привести к значительным финансовым потерям и задержкам в производственных процессах. В этой связи появляется необходимость разработки и внедрения инновационных методов и технологий, направленных на повышение эффективности работы и продолжительности срока службы оборудования, что позволит снизить затраты на его техническое обслуживание и увеличить производственную мощность предприятий.

Основная цель – повышение эффективности работы и снижение затрат на обслуживание электрооборудования путем внедрения автоматических систем для диагностики и обслуживания. Эти системы позволят оперативно обнаруживать неисправности и потенциальные проблемы в работе электрооборудования, что позволит предпринять меры по их устранению до того, как они станут серьезной проблемой.

Задачи:

1. Разработка и внедрение системы мониторинга для автоматической диагностики состояния электрооборудования. Это позволит оперативно определять возможные неисправности и планировать их устранение до того, как возникнут серьезные проблемы.

2. Обучение персонала работе с автоматическими системами диагностики и обслуживания электрооборудования. Важно обеспечить специалистов необходимыми знаниями и навыками для эффективного использования новых технологий и максимальной отдачи от их внедрения.

Автоматические системы для диагностики и обслуживания электрооборудования – это специальные программно-аппаратные комплексы, которые предназначены для мониторинга и контроля состояния электрооборудования, а также проведения диагностики и профилактического обслуживания. Преимущества использования автоматических систем для диагностики и обслуживания электрооборудования включают в себя:

1. Оперативность. Системы позволяют быстро и точно обнаруживать возможные неисправности или предотвращать их возникновение, что позволяет избежать простоев в работе оборудования.

2. Экономия. Благодаря своевременной диагностике и профилактике системы снижают расходы на ремонт и замену комплектующих элементов.

3. Безопасность. Системы помогают обнаружить опасные условия работы оборудования (перегрузки, короткое замыкание и т.д.) и принять меры для их предотвращения.

4. Простота использования. Многие системы имеют удобный интерфейс и возможность удаленного управления, что упрощает процесс мониторинга и контроля состояния оборудования.

Примеры использования автоматических систем для диагностики и обслуживания электрооборудования:

1. Автоматическая система мониторинга состояния электрических сетей, которая позволяет контролировать напряжение, ток, частоту и другие параметры электрооборудования. Она может автоматически обнаруживать возможные проблемы и предупреждать о необходимости технического обслуживания.

2. Автоматическая система диагностики электродвигателей, которая позволяет выявлять отклонения в работе двигателя и предупреждать о возможных поломках. Система также может автоматически проводить тестирование и настройку параметров двигателя.

3. Автоматическая система обнаружения утечек тока, которая позволяет быстро и эффективно находить проблемы с изоляцией в электрооборудовании. При обнаружении утечек система автоматически отключает питание и предупреждает об опасности.

4. Автоматизированная система технического обслуживания электрооборудования, которая позволяет планировать и проводить регулярные проверки, техническое обслуживание и ремонт оборудования. Система может автоматически генерировать отчеты о состоянии оборудования и необходимых мероприятиях по обслуживанию. Эти системы позволяют снизить простои и затраты на ремонт электрооборудования.

Электроэнергетические автоматические системы для диагностики и обслуживания электрооборудования играют ключевую роль в современной промышленности, помогая предотвращать простои и снижать затраты на ремонт электрооборудования. Эти системы обеспечивают непрерывный мониторинг состояния оборудования, позволяя оперативно выявлять возможные сбои или неисправности до их появления. Использование автоматических систем позволяет проводить профилактические работы вовремя, повышая надежность работы оборудования и уменьшая вероятность аварийных ситуаций.

Библиографический список

1. Вдовико, В. П. Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения / В. П. Вдовико // Электричество. – 2010. – № 2.

2. Чичев, С. И. Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций / С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – М. : Спектр, 2011. – 139 с.

СЛОЖНОСТИ В ТЕКУЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

А. Ю. Петрукович

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(*e-mail*: *alpet488@gmail.com*)

Вводная часть. С каждым годом мир делает все больший упор на экологичность, для чего и осуществляется поиск новых технологий. И электромобили являются одними из производных текущих процессов. Ведь автомобили

с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) хоть и являются проверенными временем, но в контексте экологии выглядят не столь перспективно. Однако электромобили также далеко не идеальны, ведь имеют множество нюансов для их успешного внедрения. Целью данной работы является анализ всех сложностей при реализации электромобилей. В качестве примера будет рассматриваться Липецкая область как территория, на которой запустился первый в России специализированной завод электромобилей – ООО «Моторинвест».

Основная часть. Электромобиль – это транспортное средство, работающее вместо бензина на электродвигателе. В этом отличии и кроется один из основных минусов электромобилей. Да, отсутствие бензина хорошо влияет на экологию. Но эксплуатация аккумуляторов также несет риск экологической безопасности. Сначала нужно создать литий-ионную аккумуляторную батарею посредством добычи лития, потом построить сами электрозарядные станции (ЭЗС). Ну и самое главное и сложное – утилизация батарей. Что является трудным процессом, ведь стоит как огромных денег, так и требует определенных технических ресурсов [1].

Для заправки 10 электромобилей требуется хотя бы одна ЭЗС. На текущий момент в Липецкой области 25 ЭЗС, и то большинство из них приходится на город Липецк. Это негативно сказывается на привлекательности электромобилей, ведь возможности заправиться в других городах практически не представлено.

Погодные условия также выступают основной сложностью при использовании электромобилей. Зимой может возникнуть ситуация, что аккумулятор попросту разрядится при отрицательной температуре. Не все электромобили оснащены обогревом для поддержания оптимальной работы. Летом также имеются определенные трудности при эксплуатации электромобиля [2].

Заключительная часть. В ближайшее десятилетие электромобили будут уступать автомобилям с ДВС. Рынок электромобилей еще слабо развит и требует большого вложения ресурсов, чтобы на равных конкурировать с автомобильным. Для решения основных сложностей в реализации электромобилей прежде всего нужны меры государственной поддержки [3]. Будь то субсидирование на постройку новых ЭЗС в Липецкой области, и не только в городе Липецке, или уменьшение стоимости самих электромобилей для повышения их привлекательности на рынке. Также в Липецкой области уже как 2 года открыт завод электромобилей – ООО «Моторинвест», что дает надежду на доступность электромобилей уже скоро. К тому же возможно именно этот завод придумает новые технологии для утилизации литий-ионных аккумуляторных батарей.

Библиографический список

1. Русскова, И. Г. Переход к электромобилям – экологические вопросы утилизации / И. Г. Русскова // Технологии переработки отходов с получением новой продукции : материалы V Всерос. науч.-практ. конф., Киров, 14–15 ноября 2023 года. – Киров : Вятский государственный университет, 2023. – С. 199 – 202.

2. Бояршинов, М. Г. Особенности эксплуатации электромобилей в Пермском крае / М. Г. Бояршинов, А. Г. Шумков // Химия. Экология. Урбанистика. – 2022. – Т. 3. – С. 34 – 38.

3. Состояние и перспективы развития рынка электромобилей в РФ / Н. Л. Кетоева, И. Д. Сазонова, М. Т. Заргарян, М. А. Киселева // Муниципальная академия. – 2022. – № 3. – С. 74 – 85.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УМ С ЦЕЛЬЮ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

В. В. Попов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *vadim.popov.2002@bk.ru*)

Усилители мощности в радиочастотных системах потребляют значительное количество энергии, особенно в нелинейном режиме работы. Линеаризация характеристик усилителя улучшает его эффективность, позволяя работать в более энергосберегающем режиме.

Эффективность усилителя определяется отношением выходной мощности к потребляемой мощности. В нелинейном режиме усилитель генерирует гармоники, которые потребляют энергию, но не способствуют передаче сигнала. Линеаризация характеристик уменьшает гармоники, увеличивая эффективность.

Для исследования линеаризации характеристик УМ за основу взята схема с OFDM-модуляцией, представленной на рис. 1.

Принцип работы схемы заключается в том, что она стремится уровнять воздействия на входе вычитающего элемента автоматически, она стремится уровнять исходный идеальный модулирующий сигнал $w(t)$ и реальный модулирующий сигнал $w'(t)$. В итоге сигнал получается как демодулированный сигнал мощного выходного высокочастотного колебания усилителя мощности. Когерентная демодуляция входного сигнала происходит в демодуляторе, а сам сиг-

нал поступает с направленного ответвителя. Используется такой же опорный высокочастотный сигнал, что и при модуляции, в результате чего происходит когерентность.

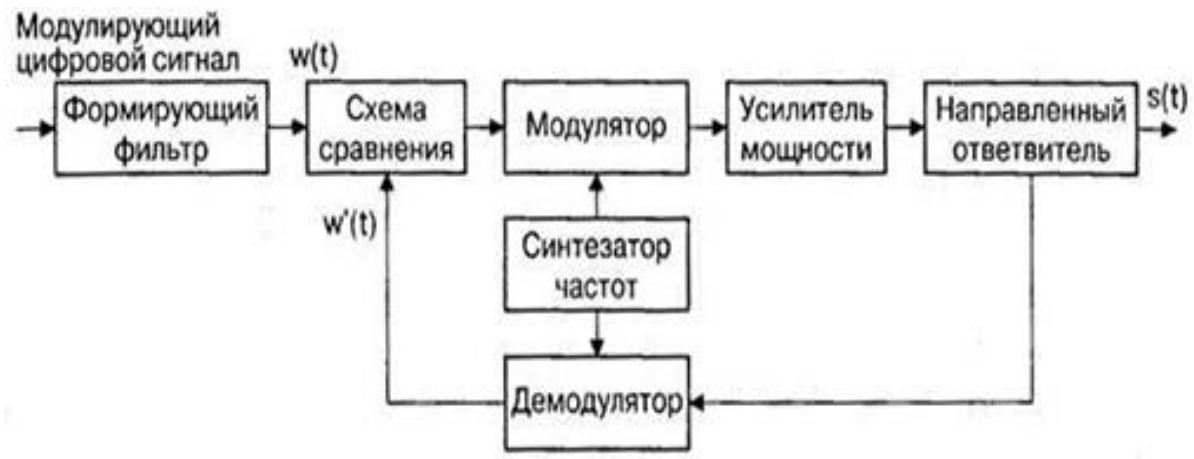


Рис. 1. Схема передатчика с нелинейным усилителем и обратной связью

Высокий пик-фактор сигнала передатчика является одним из главных недостатков систем с OFDM-модуляцией. Принимаются несколько мер для снижения мгновенных и пиковых значений. Так, например, из потока кодирования исключаются последовательности, которые приводят к высоким выбросам группового сигнала.

Рассматриваемое устройство содержит несколько блоков, связь которых обеспечивает функциональность схемы передатчика. Модель разработана в среде Mathcad.

С помощью оператора READPRN («…») была передана квадратура сигнала, представленная в нормированном виде на рис. 2.

Нормирование осуществляется с помощью оператора, который представлен на рис. 3.

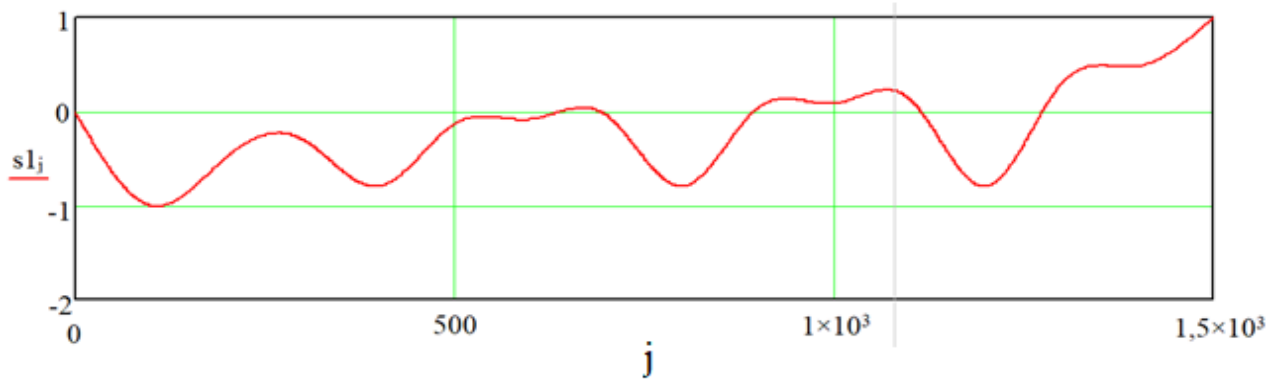


Рис. 2. Квадратура передаваемого сигнала

$$ym1 := \max(y1) \quad ym1 = 20.11$$

$$s1_j := \frac{y1_j}{ym1}$$

Рис. 3. Фрагмент листинга программы

Для линейного усиления используется программный блок, который представляет из себя цикл for, в котором для каждого значения амплитуды устанавливается коэффициент усиления *K*. Затем произведен анализ математической модели, в которой исследовалась зависимость величины ошибки при увеличении коэффициента усиления *k* и величина погрешности на выходе усилителя и пик-фактора сигнала.

В результате анализа данной математической модели передатчика с нелинейным УМ с ДМ в петле ОС были сделаны выводы, что изменение значений коэффициента k_2 и пороговых значений *PR* при неизменных коэффициентах демодуляции k_{demod} и усиления k_1 приводит к уменьшению средней величины погрешности на выходе нелинейного УМ и увеличению пик-фактора сигнала.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.
2. 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.

ОБЩИЙ ОБЗОР ПЕРЕДАТЧИКА С НЕЛИНЕЙНЫМ УМ И ЛИНЕЙНЫМ УСИЛЕНИЕМ

В. В. Попов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *vadim.popov.2002@bk.ru*)

Современные тенденции улучшения качества передачи сигналов и существенного усложнения электромагнитной обстановки объясняют повышение требований к линейности характеристик полосовых усилителей мощности

(power amplifier – PA) с высоким коэффициентом полезного действия (КПД), входящих в состав электрических и радиотехнических систем. Методы борьбы с нелинейными искажениями сигналов в усилительных трактах с высокими энергетическими показателями ориентированы на достижение высокой точности линеаризации характеристик PA при действии широкополосных входных сигналов.

Передатчик с нелинейным усилителем мощности и линейным усилением – это тип передатчика, используемый для передачи высокочастотных сигналов с высокой эффективностью и линейностью. Он состоит из двух основных этапов – нелинейный усилитель мощности и линейный усилитель мощности.

Нелинейный усилитель мощности:

1) усиливает входной сигнал с нелинейной характеристикой, создавая гармоники;

2) использует устройство, такое как вакуумная трубка или транзистор, которое работает в режиме переключения или насыщения;

3) нелинейность усилителя приводит к генерации гармоник, которые можно отфильтровать и использовать для увеличения выходной мощности.

Усилитель мощности является ключевым компонентом нелинейного усилителя и отвечает за увеличение амплитуды сигнала до желаемого уровня. Обычно используемые типы усилителей включают выходные каскады Дарлингтона, MOSFET или полевых транзисторов.

Линейный усилитель:

1) усиливает выходной сигнал нелинейного усилителя мощности с линейной характеристикой;

2) использует устройство, такое как полевой транзистор или транзистор с биполярным переходом, который работает в линейной области;

3) обеспечивает линейное усиление сигнала, подавляя искажения, внесенные нелинейным усилителем.

Линейный усилитель является усилителем с отрицательной обратной связью, который сохраняет линейную форму сигнала при увеличении его амплитуды. Обычно используются операционные усилители или транзисторные усилители с обратной связью.

На рисунке 1 показана схема электрическая принципиальная – передатчик с нелинейным усилителем мощности и линейным усилением, где НУМ – нелинейный усилитель мощности; Ф – фильтр; ЛУМ – линейный усилитель мощности; М – модулятор; А – антенна.

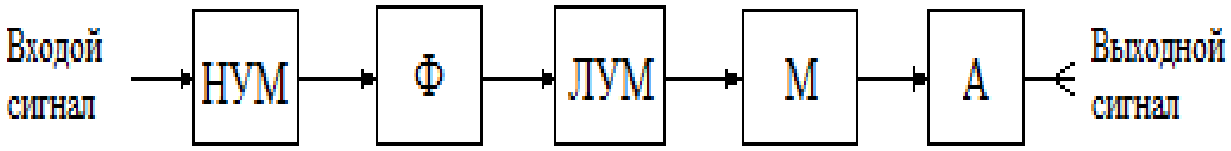


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная – передатчик с нелинейным усилителем мощности и линейным усилением

Передатчик работает следующим образом. Входной сигнал усиливается нелинейным усилителем мощности, генерируя гармоники. Гармоники из нелинейного усилителя мощности фильтруются, чтобы выделить желаемую выходную частоту. Отфильтрованный сигнал усиливается линейным усилителем для дальнейшего увеличения мощности. Линейно усиленный сигнал модулируется с информационным сигналом, который может быть аналоговым или цифровым. Модулированный сигнал передается через антенну.

Связь между нелинейным и линейным усилителями может осуществляться через конденсатор или трансформатор. Конденсаторный соединитель блокирует постоянную составляющую от попадания в линейный усилитель. Трансформаторный соединитель обеспечивает гальваническую развязку между усилителями.

Конечно, у данного передатчика с нелинейным усилителем мощности и линейным усилением есть преимущества и недостатки, так, например, самым важным преимуществом является то, что линейный усилитель подавляет искажения, создаваемые нелинейным усилителем, обеспечивая высококачественную передачу сигнала. Недостатком является то, что нелинейный усилитель может вносить шум в выходной сигнал из-за своей нелинейной характеристики.

Сам передатчик благодаря своей повышенной энергетической эффективности можно использовать в сотовой связи, радиовещании и передаче информации на достаточно большое расстояние с минимальными затратами и потерями информации.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

2. Алгоритм дальномерного канала с учетом информации бортовых датчиков воздушных судов / Ю. Н. Панасюк, С. Н. Данилов, А. П. Пудовкин, И. В. Князев // Радиотехника. – 2013. – С. 60 – 63.

3. 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.

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ПОДСТАНЦИЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 35 кВ И ВЫШЕ

Е. В. Попрядухин, И. Д. Родичев, Н. С. Сорокин, А. Е. Псарев

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

В современном мире АСКУЭ (автоматизированная система контроля и учета электроэнергии) на подстанциях напряжением 35 кВ и выше играет важную роль в обеспечении эффективного управления и мониторинга электроэнергетических систем. Однако в существующих системах есть как достоинства, так и недостатки.

Основными задачами, которые решаются с помощью АСКУЭ на подстанциях, являются контроль показаний приборов учета, построение профилей нагрузки, контроль показателей перетока мощностей, измерение и контроль некоторых параметров показателей качества электрической энергии и т.д. [1, 4, 5].

АСКУЭ на подстанциях напряжением 35 кВ и выше можно разделить на несколько уровней [1, 4, 5]: 1 – Уровень измерения (установка приборов учета на вводах и выводах подстанции и мониторинг параметров электроэнергии); 2 – Уровень передачи данных. Передача собранной информации от приборов учета на уровень обработки данных по различным каналам связи (оптические волокна, радиоканалы, GSM, Ethernet); 3 – Уровень обработки и хранения данных. Центральный сервер или система управления, где данные от различных подстанций собираются, обрабатываются и хранятся; 4 – Уровень управления и мониторинга. Интерфейсы для операторов и диспетчеров, позволяющие в реальном времени отслеживать состояние подстанций и потребление электроэнергии; 5 – Возможности внедрения автоматических решений по управлению нагрузкой и реакцией на ее изменения в параметрах сети.

В основном все виды приборов учета, устанавливаемые в АСКУЭ на подстанциях филиала ПАО «Россети Центр» – «Орелэнерго», подключаются через устройство сбора и передачи данных (УСПД) «ЭНТЕК».

Данное устройство обладает следующими основными функциями УСПД «ЭНТЕК» [2]:

1) защита оборудования: обеспечение защиты от различных аварийных режимов, таких как короткие замыкания, перегрузки и другие неисправности;

2) мониторинг состояния: сбор и анализ данных о состоянии оборудования, что позволяет проводить диагностику и предотвращать потенциальные аварии;

3) управление процессами: автоматизация процессов управления, таких как включение и отключение оборудования в зависимости от условий работы.

Основные проблемы, с которыми сталкивается персонал, используя эти УСПД, – необходимость актуализации прошивки. Так же есть проблемы с надежностью передачи данных из-за прерывания связи, которое может происходить в связи с помехами, нестабильностью сигнала, особенно в условиях массовых подключений или удаленных районов. Также есть проблемы и с безопасностью данной системы. Устройства, передающие данные по сети, могут быть подвержены цифровым атакам, что ставит под угрозу безопасность собранной информации.

Контроль показаний параметров сети и управление приборами учета на подстанциях филиала ПАО «Россети Центр» – «Орелэнерго» осуществляется с применением программного обеспечения (ПО) «Пирамида-Сети» [3].

Однако данное ПО имеет и ряд недостатков:

1) уязвимость к сбоям (если на одном из уровней системы происходит сбой, то это может привести к значительным последствиям для всей сети);

2) сложность управления (сложная структура многослойной сети требует интенсивного управления и координации между разными уровнями);

3) уровень потерь (на каждом уровне передачи электроэнергии могут возникать потери, что может снижать общую эффективность всей системы).

Из вышенаписанного можно сделать вывод о том, что на подстанциях напряжением 35 кВ и выше активно внедряются АСКУЭ. Однако в них есть ряд недостатков, которые в будущем необходимо устранить, что позволит повысить точность и надежность работы данной системы.

Библиографический список

1. Лоскутов, А. Б. Автоматизированная система контроля и учета электроэнергии / А. Б. Лоскутов, А. И. Гардин, А. А. Лоскутов. – Н. Новгород : Изд-во НГТУ, 2018. – 84 с.

2. Устройство сбора и передачи данных УСПД КМ ЭНТЕК E2R2(G)-3. – URL : https://katalog-rek.ru/catalog/291/2898/?ysclid=m3gb7kuzui289785623 (дата обращения: 10.12.24).

3. Программное обеспечение «Пирамида 2.0». – URL : https://sicon.ru/prod/po/pyramid20/?ysclid=m4qrn4gv8y118784894 (дата обращения: 10.12.24).

4. Система мониторинга и управления электрическими сетями 0,4 кВ / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова, В. Е. Большев, Н. С. Сорокин // Энергия: экономика, техника, экология. – 2021. – № 1. – С. 58 – 63.

5. Цифровая трансформаторная подстанция / А. В. Виноградов, Н. С. Сорокин, А. В. Виноградова и др. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. – № 10. – С. 74 – 80.

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ РЕАКТОРОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

И. А. Ростунцова, Р. О. Музалевский, М. В. Карпенко, К. С. Ногина

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия
(*e-mail*: *rostunzeva@mail.ru*)

Анализ современного состояния атомной энергетики по данным работы [1] позволяет сделать следующие выводы:

– эксплуатационная безопасность современной атомной энергетики является приемлемой для существующих масштабов ее использования при условии постепенного замещения действующих энергоблоков на реакторы четвертого поколения;

– ресурсы природного рентабельно извлекаемого из недр урана ограничены. При доминирующей сегодня практике «сжигания» урана в тепловых реакторах эти ресурсы будут исчерпаны уже в наступающем веке как в России, так и в мире в целом. Переработка отработанного топлива при рецикле плутония Pu (MOX- топливо) в тепловых реакторах может лишь ненамного продлить эти сроки, увеличивая затраты и снижая возможность последующего развития атомной энергетики на быстрых реакторах;

– решение проблемы радиоактивных отходов отсрочивается за счет расширения хранилищ облученного ядерного топлива, что не освобождает от необходимости накопления средств для переработки и захоронения отходов атомной энергетики в будущем.

Радикальное снижение рисков аварий является основным компонентом концепции естественной безопасности, которая обеспечивается выбором новых современных реакторов и топливных циклов.

В рамках проекта «Прорыв» [1] к 2029 году планируется ввести в эксплуатацию опытно-демонстрационный энергетический комплекс 4-го поколения с реактором БРЕСТ-300ОД. Отличительной особенностью проекта является концепция «Естественной безопасности». Реактор и его топливо будут безопасными, что не потребует большого количества технических средств и систем автоматики и повлечет упрощение устройства и удешевление АЭС. С 2021 года ведется строительство АЭС с реакторами БРЕСТ в городе Северск Томской области. Проект нацелен на достижение нового качества ядерной энергетики и реализацию замкнутого ядерного топливного цикла на базе реакторов на быстрых нейтронах.

В разработку комплекса входят:

– два энергоблока с реактором БРЕСТ-ОД-300;

– пристанционный завод, замыкающий ядерный топливный цикл;

– модуль переработки облученного смешанного нитридного уран-плутониевого ядерного топлива;

– модуль фабрикации/рефабрикации для изготовления стартовых ТВЭЛов из привозных материалов, а впоследствии – ТВЭЛов из переработанного облученного ядерного топлива.

В активной зоне реактора будут размещаться тепловыделяющие сборки со СНУП-топливом, состоящим из смеси изотопов урана-235, урана-238 и плутония-239.

Составлена принципиальная тепловая схема энергоблока БРЕСТ с турбоустановкой К-300-15,7/3000, которая представлена на рис. 1.

В схеме основную функцию деаэратора выполняют смешивающие подогреватели СППВ и ПНД-2. В работе проведена оценка концентрации кислорода в свинцовом теплоносителе, обеспечивающая коррозионную стойкость сталей через массообменный аппарат при постоянной температуре за счет изменения расхода теплоносителя через засыпку. Проведена оценка технико-экономической эффективности внедрения АЭС с реактором БРЕСТ-300ОД установленной мощностью 600 МВт. Получены следующие результаты: удельная себестоимость отпускаемой электроэнергии 312,4 коп./(кВт·ч), чистый дисконтированный доход проекта 312,4 млн руб., дисконтированный срок окупаемости 24,9 лет. Таким образом, положительные значения всех технико-экономических показателей показывают целесообразность и эффективность ввода в эксплуатацию реактора нового IV поколения БРЕСТ.

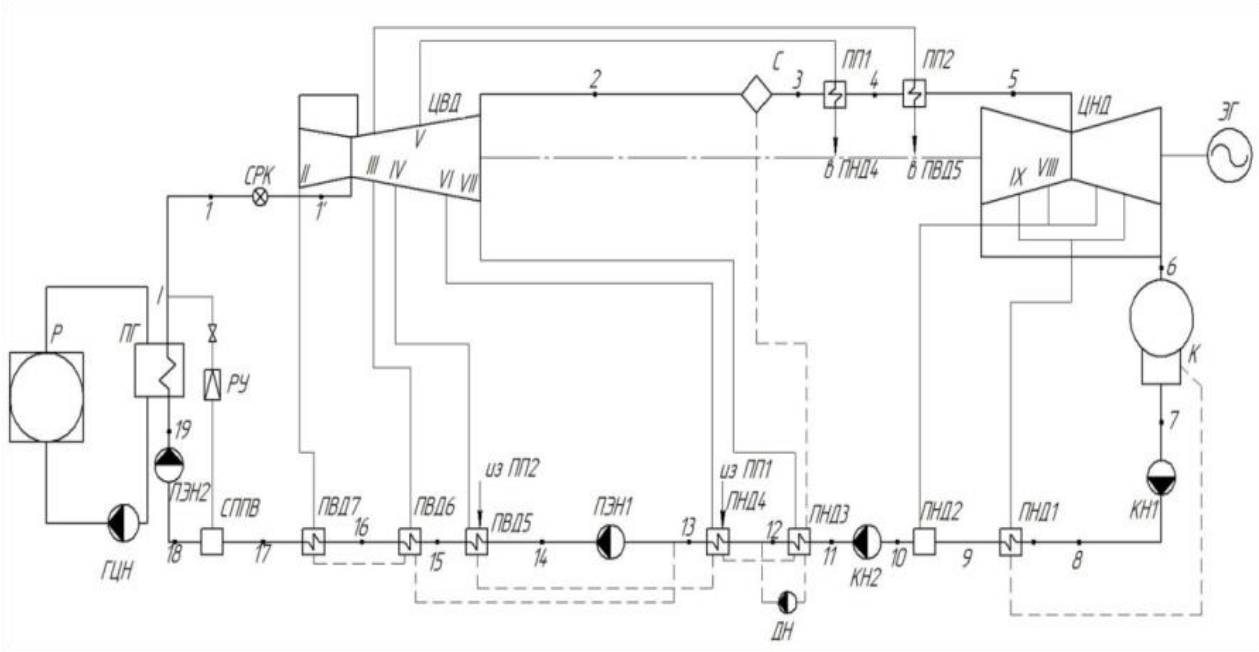


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема энергоблока с реактором БРЕСТ и турбоустановкой К-300-15,7/3000:

Р – реактор; ПГ – парогенератор; ГЦН – главный циркуляционный насос; РУ – редукционное устройство; СРК – стопорно-регулирующий клапан; ЦВД – цилиндр высокого давления; С – сепаратор; ПП1 – пароперегреватель первой ступени; ПП2 – пароперегреватель второй ступени; ЦНД – цилиндр низкого давления; ЭГ – электрогенератор; К – конденсатор; КН1, КН2 – конденсатные насосы первого и второго подъема; ПНД1, ПНД3, ПНД4 – поверхностные подогреватели низкого давления; ПНД2 – подогреватель низкого давления смешивающего типа; ПЭН1, ПЭН-2 – питательные электронасосы первого и второго подъема ПВД5, ПВД6 – поверхностные подогреватели высокого давления; СППВ – смешивающий подогреватель высокого давления

Библиографический список

1. Инновационные проекты и технологии ядерной энергетики : сб. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. (27 – 30 сентября 2016 г., Москва). – М. : Изд-во АО «НИКИЭТ», 2016. – Т. 1 – С. 21 – 30.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ МЕЖДУ ПЛИС И ЦАП В ГЕНЕРАТОРАХ СИГНАЛОВ

Ф. С. Рыжов

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
(*e-mail*: *feodor.sergeevich@yandex.ru*)

С развитием телекоммуникационных технологий и научных исследований возрастает потребность в высокоскоростных генераторах сигналов, которые способны обеспечивать точную и гибкую генерацию сложных электрических сигналов. Такие генераторы находят широкое применение в различных областях, включая радиочастотные технологии, системы связи, а также в научных и медицинских исследованиях. Одним из ключевых элементов этих генераторов является цифрово-аналоговый преобразователь (ЦАП), который должен работать с высокими частотами дискретизации и высокой точностью квантования для получения необходимых характеристик сигнала. Передача данных в такие ЦАП представляет собой значительную проблему проектирования печатных плат, так как ограниченная пропускная способность единичной линии вызывает необходимость использования большого количества линий для связи ЦАП с ПЛИС. Следовательно, трассировка печатных плат становится все более сложной с точки зрения плотности соединений. Одним из традиционных решений для связи ЦАП и ПЛИС является интерфейс LVDS, который использует множество параллельных дифференциальных линий для передачи данных. Такой подход позволяет достичь достаточной скорости передачи при частотах дискретизации до 1 ГГц, однако с увеличением разрядности и числа каналов ЦАП возникает необходимость в увеличении количества линий. Это усложняет трассировку плат, требует контроля импеданса линий и увеличивает размеры устройства. Более того, LVDS имеет ограничение максимальной пропускной способности, что делает его неэффективным для современных высокоскоростных приложений.

Для решения этих проблем был разработан последовательный интерфейс JESD204, который значительно упрощает подключение ЦАП к ПЛИС. JESD204 использует встроенное тактирование, исключая необходимость выделенной линии для передачи тактового сигнала. Вместо множества параллельных линий для передачи данных используется всего несколько высокоскоростных дифференциальных линий, каждая из которых поддерживает пропускную способность до 12,5 Гбит/с в ревизии JESD204B.

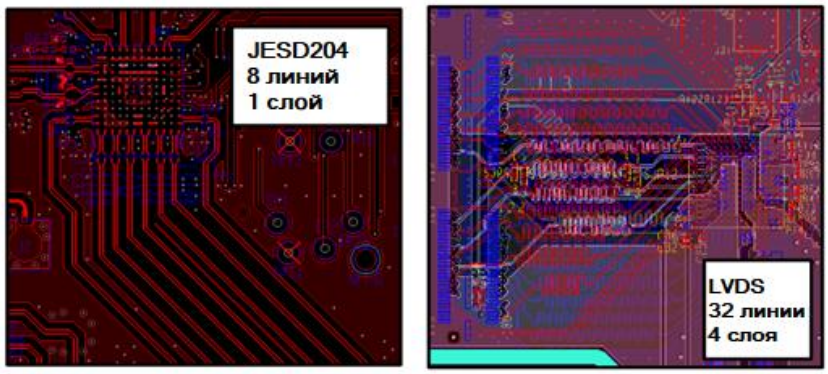


Рис. 1. Топология печатных плат для ЦАП, использующих JESD204 (слева) и LVDS (справа)

Это позволяет сократить число проводников, упростить трассировку и уменьшить размеры печатной платы. JESD204 также реализует детерминированную задержку, что обеспечивает предсказуемость и постоянность временных характеристик, необходимых при цифровой обработке сигналов. Кодирование 8b/10b, применяемое в JESD204, помогает поддерживать равномерное чередование единиц и нулей в передаваемом потоке данных, что упрощает восстановление тактовой частоты на приемной стороне и обеспечивает надежную передачу данных даже на высоких скоростях. Благодаря этим особенностям JESD204 становится предпочтительным выбором для реализации высокоскоростных интерфейсов в современных генераторах сигналов произвольной формы, предоставляя возможность повысить их производительность и надежность.

Библиографический список

1. Введение в технологию коммутационных структур электронных средств : учебное пособие / В. Н. Гриднев, Г. Н. Гриднева, В. П. Жалнин и др. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2024. – 539, [2] с. (Библиотека «Приборостроение». Т. 9).

2. Анализ протоколов передачи данных с позиции пропускной способности / В. А. Латыпова, А. С. Волков, К. А. Муравьев, А. И. Кривошеин // Технологии инженерных и информационных систем. – 2021. – № 4. – С. 42 – 51.

3. Fan, H. Quickly Implement JESD204B on a Xilinx FPGA / H. Fan // Analog Dialogue. – 2015. – No. 49(2).

4. Gupta, S. When is the JESD204B interface the right choice? / S. Gupta // Analog Applications Journal. – 2014. – 1Q.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АДАПТИВНОГО ФИЛЬТРА ДАЛЬНОМЕРНОГО КАНАЛА

И. Д. Рябов, Д. Р. Антоничев

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *20theilyarid01@gmail.com*; *neitherhow@gmail.com*)

Для разработки адаптивного фильтра дальномерного канала с помощью использования цифровых методов была использована трехмерная модель [1, 2]

$$\begin{cases} Д(k) = Д(k-1) + V(k-1) + 0{,}5a(k-1)\tau^2; \\ V(k) = V(k-1) + a(k-1)\tau; \\ a(k) = (1-\alpha_ф\tau)a(k-1) + \xi_a(k-1), \end{cases} \quad (1)$$

где $\alpha_ф$ – постоянная времени маневра; $\xi_a(k-1)$ – гауссовский шум.

При анализе линейного фильтра Калмана без адаптации видно, что матрицы дисперсий измерения R и матрицы дисперсий возмущений Q_x не изменяются во времени [3, 4]. Это приводит к увеличению СКО дальности. Для уменьшения СКО дальности необходимо в калмановский фильтр добавить устройство адаптации, на вход которого поступают дисперсии оценки измерения $R_о(k)$ и возмущений $Q_{xо}(k)$. Дисперсии $R(k)$ $Q_x(k)$ оцениваются на каждом шаге k. Структурная схема адаптивного фильтра представлена на рис. 1.

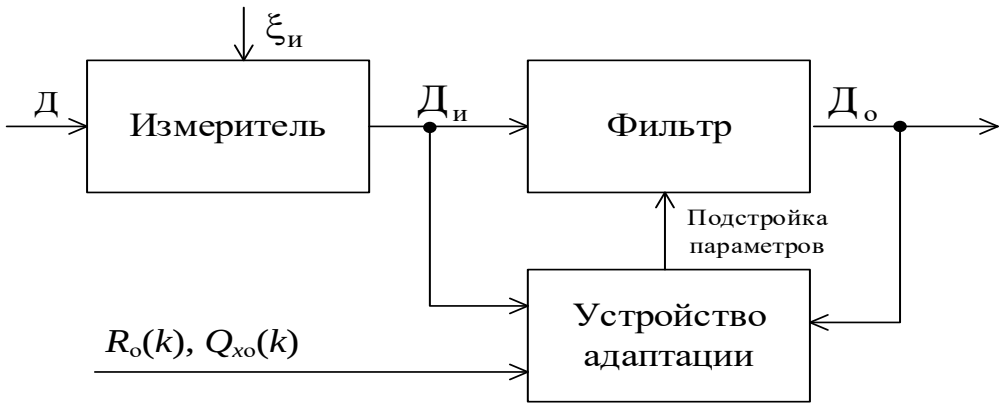


Рис. 1. Адаптивный фильтр

Основные методы адаптивной фильтрации:

1. Оценка дисперсии измерения $R_о(k)$. Этот метод реализации адаптивного фильтра улучшает точностные характеристики при условии, если изменяется ковариация невязки шума наблюдения, а не шума вектора состояния.

2. Оценка возмущений $Q_{xо}(k)$. Данный метод предназначен для адаптации к изменениям модели системы.

3. Гибридный алгоритм. Данный метод объединяет два предыдущих метода для одновременной адаптации к изменению ковариации шума измерений $R_o(k)$ и возмущений $Q_{xo}(k)$.

Таким образом, метод оценки дисперсии измерения улучшает точностные характеристики фильтра, если изменяется ковариация невязки шума измерений, метод оценки возмущений улучшает точностные характеристики фильтра, если изменяется динамические параметры модели системы. В условиях неопределенности, когда неизвестны изменения шума наблюдения или динамические параметры модели системы, целесообразно использовать гибридный алгоритм.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014. – 256 с.

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

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

4. 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.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ

Е. В. Сеченева, Н. Р. Моргунов

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *secheneva.ekaterina48@mail.ru*)

Современные электрические сети сталкиваются с множеством проблем, таких как увеличение нагрузки, интеграция возобновляемых источников энергии, повышение надежности и эффективности. Для управления такими сложными системами требуются передовые технологии, способные обрабатывать большие объемы данных в режиме реального времени. В этом контексте мето-

ды машинного обучения (ML) становятся все более важными для автоматизации процессов анализа данных, прогнозирования поведения системы и оптимизации управления. Новизна проблемы, рассматриваемой в данном исследовании, заключается в применении машинного обучения для решения задачи, которая традиционно решалась только традиционными методами, такими как математическое моделирование. Целью данного исследования является изучение возможностей использования технологии МО в управлении электрическими сетями, включая такие задачи, как прогнозирование, обнаружение аномалий и оптимизация режимов работы. Основные задачи включают анализ существующих методов, исследование применимости алгоритмов МО и выявление перспективных областей для дальнейшего развития.

Машинное обучение предоставляет широкий спектр методов, которые находят применение в управлении электрическими сетями. Одним из ключевых направлений является прогнозирование нагрузки и производства электроэнергии. Например, использование методов временных рядов, таких как рекуррентные нейронные сети (RNN) или модели XGBoost, позволяет с высокой точностью предсказывать изменения нагрузки в зависимости от времени суток, погодных условий и других факторов. Другое важное направление – это обнаружение аномалий в работе сетей. Сложные алгоритмы, такие как автоэнкодеры или методы кластеризации (например, DBSCAN), используются для выявления отклонений от нормальной работы оборудования, что позволяет заранее предотвращать аварийные ситуации. Кроме того, МО применяется для оптимизации управления потоками энергии в сетях. Алгоритмы глубокого обучения (Deep Reinforcement Learning) могут использоваться для разработки стратегий управления, которые минимизируют потери энергии и обеспечивают равномерное распределение нагрузки по сети.

Примером успешного внедрения технологий машинного обучения является система прогнозирования нагрузки в распределительных сетях, разработанная с использованием алгоритмов машинного обучения. Эта система позволяет операторам принимать более точные решения о распределении ресурсов, избегая перегрузок и повышая устойчивость сети. Также широко применяются решения на основе МО для диагностики трансформаторов и других критически важных компонентов инфраструктуры.

Несмотря на значительные успехи, внедрение машинного обучения в управление электрическими сетями сопряжено с рядом вызовов. Один из основных – это необходимость наличия качественных данных для обучения моделей. Кроме того, сложность интерпретации некоторых алгоритмов, особенно нейронных сетей, может вызывать трудности при внедрении их в реальных условиях.

Технологии машинного обучения предлагают мощные инструменты для управления электросетями, позволяя прогнозировать, выявлять аномалии и оптимизировать работу. Их применение будет способствовать повышению эффективности, надежности и устойчивости электросетей. Будущие исследования должны быть направлены на разработку методов, обеспечивающих более высокую точность и устойчивость к несовершенству данных, а также инструментов, упрощающих интерпретацию моделей. Применение машинного обучения в электросетях имеет большой потенциал для повышения управляемости и адаптивности электросетей в условиях меняющихся требований и условий эксплуатации.

Библиографический список

1. Применение метода градиентного нейросетевого управления в биотехнических системах / С. В. Фролов, А. А. Коробов, К. С. Савинова, А. Ю. Потлов // материалы VII Междунар. науч. конф. – М. : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2023. – С. 193 – 195.

2. Смирнов, Б. В. Применение искусственного интеллекта в управлении энергетическими процессами / Б. В. Смирнов // Проблемы науки и технологий. – 2020. – Т. 27, № 3. – С. 45 – 52.

О РАСЧЕТЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕДАЧИ ШЛЕЙФОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ С НЕОДНОРОДНЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ СВЧ-УСТРОЙСТВА НА СВЯЗАННЫХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ВОЛНОВОДАХ С ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЛОЯМИ У БОКОВЫХ СТЕНОК ЕГО ВТОРИЧНОГО КАНАЛА

А. А. Скворцов

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия
(*e-mail*: *sotrudniki.1@yandex.ru*)

В настоящее время в энергоэффективных и энергосберегающих микроволновых системах различного назначения все большее применение находит СВЧ-устройство на связанных по широкой стенке посредством прямоугольных шлейфовых разветвлений прямоугольных волноводах (ПрВ) с диэлектрическими слоями, расположенными симметрично у боковых стенок его вторичного канала (волновода) (рис. 1) [1], которое в ряде практических случаев предпочтительнее структур с другими вариантами расположения диэлектрического слоя.

Одним из путей уменьшения перепада передаточных характеристик шлейфовых разветвлений анализируемого СВЧ-устройства является применение в качестве элементов связи его каналов ПрВ с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя (рис. 2).

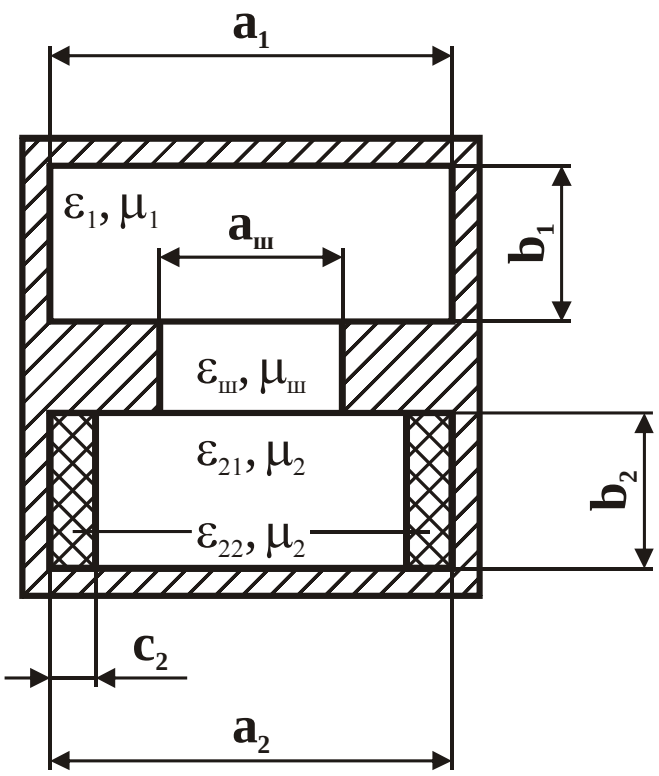


Рис. 1. Поперечное сечение СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством прямоугольных шлейфовых разветвлений ПрВ с диэлектрическими слоями у боковых стенок его вторичного канала

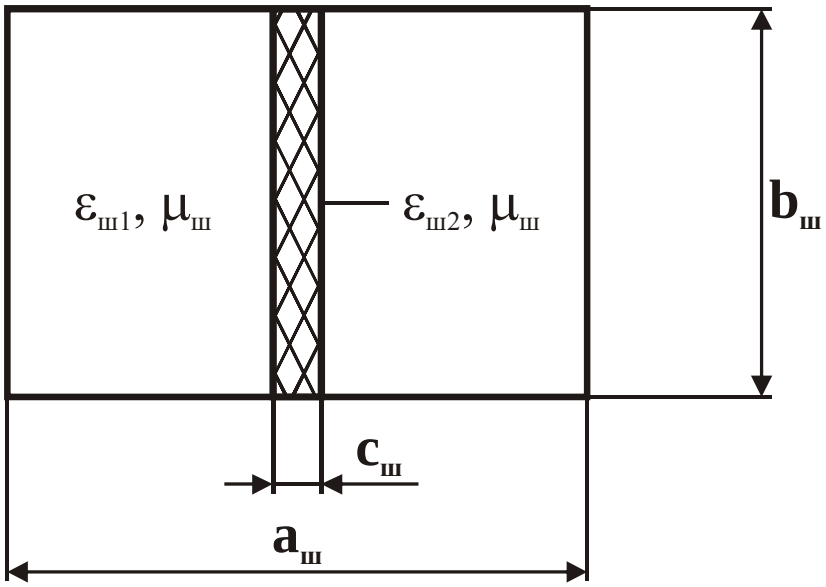


Рис. 2. Поперечное сечение ПрВ связи с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя

Поскольку зависимость коэффициента передачи одного ПрВ со слоистым диэлектрическим заполнением в диапазоне частот аналогична передаточной характеристике шлейфового разветвления, анализ диапазонных свойств коэффициента передачи одного элемента связи позволяет однозначно судить о поведении коэффициента передачи СВЧ-устройства в целом.

Модуль коэффициента передачи одного шлейфового разветвления рассматриваемого СВЧ-устройства можно рассчитать исходя из замены его элементов связи и вторичного канала со слоистыми диэлектрическими заполнениями на ПрВ с однородными диэлектрическими заполнениями по формуле [1]

$$\left|\dot{K}_{\text{ш}}\right| = \frac{a_{\text{ш}} b_{\text{ш}} \lambda_{\text{вш}}}{2\sqrt{k^*}\left(a_1 b_1 a_2 b_2 \lambda_{\text{в}1} \lambda_{\text{в}2}\right)^{1/2}} \left[\left(\cos\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right)\sin\gamma_1\right)^2 + \left(\frac{\lambda_{\text{в}1}}{2a_1}\sin\left(\frac{\pi h_1}{a_1}\right)\cos\gamma_1\right)^2\right]^{1/2} \times$$
$$\times \left[\left(\cos\left(\frac{\pi h_2}{a_2}\right)\sin\gamma_2\right)^2 + \left(\frac{\lambda_{\text{в}2}}{2a_2}\sin\left(\frac{\pi h_2}{a_2}\right)\cos\gamma_2\right)^2\right]^{1/2}, \qquad (1)$$

где $\sqrt{k^*} \approx 1$; h_1 и h_2 – смещения центра шлейфа относительно средней линии соответственно первичного и вторичного волноводов; γ_1 и γ_2 – углы поворота шлейфа относительно средних линий связываемых волноводов; $\lambda_{\text{в}1} = \lambda \Big/ \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1 - (\lambda/2a_1)^2}$, $\lambda_{\text{в}2} = \lambda \Big/ \sqrt{\varepsilon_{2\text{эфф}} \mu_2 - (\lambda/2a_2)^2}$ и $\lambda_{\text{вш}} = \lambda \Big/ \sqrt{\varepsilon_{\text{шэфф}} \mu_{\text{ш}} - (\lambda/2a_{\text{ш}})^2}$ – длины основных волн в первичном и вторичном волноводах и шлейфе; λ – рабочая длина волны в свободном пространстве; ε_1 и μ_1 – относительные диэлектрическая и магнитная проницаемости материала, заполняющего первичный волновод; $\varepsilon_{2\text{ээф}} = \varepsilon_{21} + 2c_2(\varepsilon_{22} - \varepsilon_{21})(1 - (\sin(2\pi c_2/a_2))/(2\pi c_2/a_2))/a_2$ и μ_2 – относительные эффективная диэлектрическая [2] и магнитная проницаемости заполнения вторичного волновода; $\varepsilon_{\text{шэфф}} = \varepsilon_{\text{ш}2} + c_{\text{ш}}(\varepsilon_{\text{ш}2} - \varepsilon_{\text{ш}1})(1 + (\sin(\pi c_{\text{ш}}/a_{\text{ш}}))/(\pi c_{\text{ш}}/a_{\text{ш}}))/a_{\text{ш}}$ и $\mu_{\text{ш}}$ – относительные эффективная диэлектрическая [2] и магнитная проницаемости заполнения шлейфа.

Таким образом, рассмотренная в настоящей работе методика позволила оценить влияние на коэффициенты передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройства слоистого диэлектрического заполнения его элементов связи и вторичного канала, выполненных на основе ПрВ, и может быть с успехом применена при проектировании микроволновых систем различного назначения.

Библиографический список

1. Скворцов, А. А. Определение коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений СВЧ-устройства на связанных прямоугольных волноводах с диэлектрическими слоями у боковых стенок его вторичного канала / А. А. Скворцов // Цифровая трансформация в энергетике: материалы Пятой Междунар. научн. конф. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 162 – 164.

2. Манойлов, В. П. Розрахунок хвилеводів з частковим діелектричним заповненням / В. П. Манойлов, В. В. Чухов // Вісник НТУУ «КПІ». – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. – № 33. – С. 91 – 100.

ОБ УЧЕТЕ ВЛИЯНИЯ СЛОИСТОГО ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАПОЛНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СВЯЗИ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОГО СВЧ-УСТРОЙСТВА НА П-ВОЛНОВОДЕ С ВЫСТУПАМИ НА РЕБРЕ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ ЕГО ШЛЕЙФОВЫХ РАЗВЕТВЛЕНИЙ

А. А. Скворцов

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия
(*e-mail*: *sotrudniki.1@yandex.ru*)

Как известно [1], решение одной из актуальных задач ряда энергоэффективных инновационных производственных процессов, направленной на обеспечение равномерного объемного нагрева диэлектрических материалов, может быть достигнуто применением СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке посредством шлейфовых разветвлений прямоугольном волноводе (ПрВ) и П-волноводе с выступами на ребре (ПВВР) (рис. 1).

Одна из принципиальных возможностей уменьшения перепада передаточных характеристик шлейфовых разветвлений рассматриваемого СВЧ-устройства связанна с применением в качестве элементов связи его каналов ПрВ с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя (рис. 2).

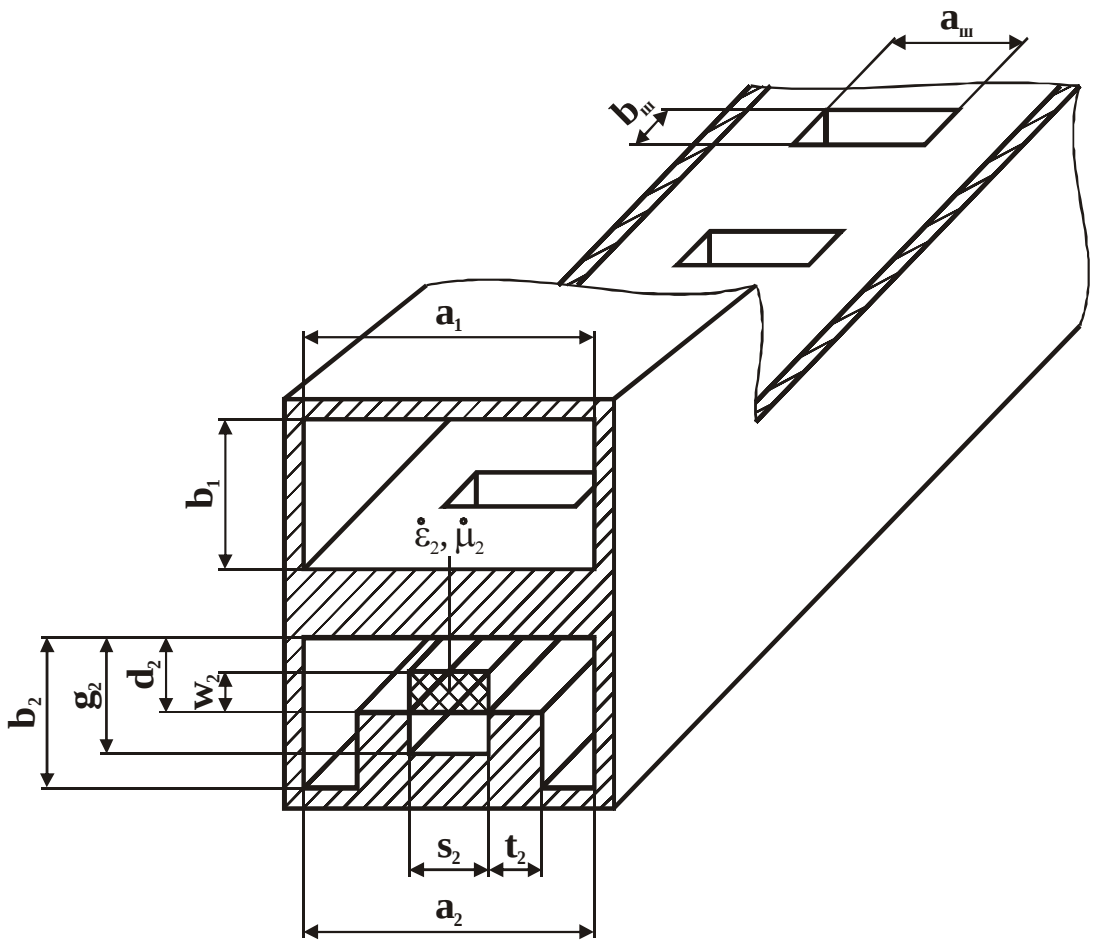


Рис. 1. Поперечное сечение СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке коллинеарных ПрВ и ПВВР

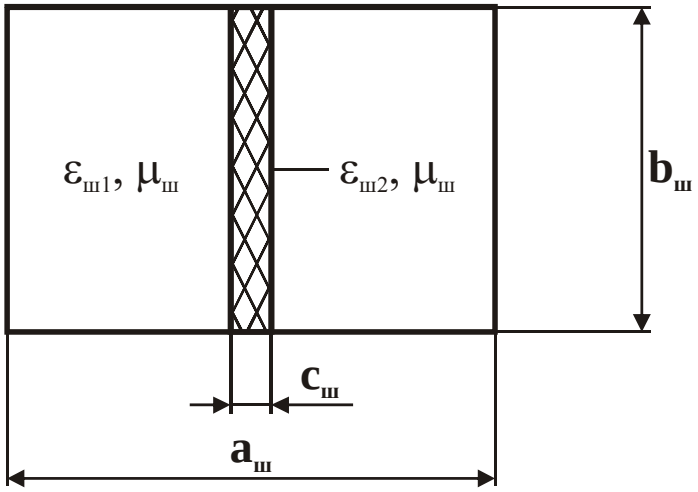


Рис. 2. Поперечное сечение ПрВ связи с центральным симметричным расположением диэлектрического слоя

Оценить влияние на коэффициент передачи одного шлейфового разветвления СВЧ-устройства на коллинеарных ПрВ и ПВВР слоистого диэлектрического заполнения ПрВ связи, широкие стенки которого перпендикулярны про-

дольным осям каналов, а центр совпадает с их серединой, можно исходя из замены его на ПрВ с однородным диэлектрическим заполнением по формуле [1]

$$\left|\dot{K}_{ш}\right| = \frac{a_{ш} b_{ш} \lambda_{вш}}{2\sqrt{k^*}\left(a_1 b_1 g_2 T_2 \lambda_{в1} \lambda_{в2}\right)^{1/2}}, \qquad (1)$$

где $\sqrt{k^*} \approx 1$; $\lambda_{в1} = \lambda \Big/ \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1 - (\lambda/2a_1)^2}$, $\lambda_{в2} = \lambda \Big/ \sqrt{\varepsilon_2 \mu_2 - (\lambda/\lambda_{c12})^2}$ и $\lambda_{вш} = \lambda \Big/ \sqrt{\varepsilon_{шэфф} \mu_{ш} - (\lambda/2a_{ш})^2}$ – длины основных волн в первичном, вторичном волноводах и шлейфе; λ – рабочая длина волны; λ_{c12} – критическая длина основной волны во вторичном волноводе; ε_1, μ_1, ε_2 и μ_2 – относительные диэлектрические и магнитные проницаемости материалов, заполняющих первичный и вторичный волноводы; $\varepsilon_{шэфф} = \varepsilon_{ш2} + c_{ш}(\varepsilon_{ш2} - \varepsilon_{ш1})(1 + (\sin(\pi c_{ш}/a_{ш}))/(\pi c_{ш}/a_{ш}))/a_{ш}$ и $\mu_{ш}$ – относительные эффективная диэлектрическая [2] и магнитная проницаемости заполнения шлейфа; T_2 – параметр, определяемый формой поперечного сечения ПВВР [1].

Влияние диэлектрического материала во вторичном канале рассматриваемого СВЧ-устройства на коэффициент передачи одного шлейфового разветвления определяется выражением [1]

$$\left|\dot{K}_{шε}\right| = \left|\dot{K}_{ш}\right| (\cos\varphi_{Г})^{-1} (\lambda_{в2ε}/\lambda_{в2})^{1/2}, \qquad (2)$$

где $\left|\dot{K}_{шε}\right|$ и $\lambda_{в2ε}$ – модуль коэффициента передачи шлейфового разветвления и длина основной волны во вторичном канале при наличии в нем диэлектрического материала; $\left|\dot{K}_{ш}\right|$ и $\lambda_{в2}$ – модуль коэффициента передачи шлейфового разветвления и длина основной волны во вторичном канале при его отсутствии; $\varphi_{Г} = \mathrm{arctg}(\Gamma''_{c12}/\Gamma'_{c12})$; Γ'_{c12} и Γ''_{c12} – действительная и мнимая части комплексной постоянной распространения основной волны во вторичном канале.

Таким образом, рассмотренная в настоящей работе методика, основанная на представлении элементов связи в виде эквивалентных ПрВ с однородным диэлектрической заполнением, позволила определить коэффициенты передачи прямоугольных шлейфовых разветвлений со слоистым диэлектрическим заполнением элекротермического СВЧ-устройства на связанных по широкой стенке коллинеарных ПрВ и ПВВР.

Библиографический список

1. Скворцов, А. А. Применение двухгребневого волновода и П-волновода с выступами на ребре в качестве вторичных каналов электротермических СВЧ-устройств / А. А. Скворцов // Цифровая трансформация в энергетике : материалы Четвертой Междунар. научн. конф. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – С. 138 – 141.
2. Манойлов, В. П. Розрахунок хвилеводів з частковим діелектричним заповненням / В. П. Манойлов, В. В. Чухов // Вісник НТУУ «КПІ». – Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. – № 33. – С. 91 – 100.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА В ПОЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ХРАНЕНИЕМ ПРОИЗВЕДЕННОГО ЗЕЛЕНОГО ВОДОРОДА

М. Слиманоу, В. Ф. Калинин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *slimanou.meriem@gmail.com*; *kalinin@tstu.ru*)

Экологические вызовы требуют быстрого и эффективного энергетического перехода. В современных условиях растущая зависимость от ископаемого топлива приводит к серьезным последствиям, таким как загрязнение воздуха, истощение природных ресурсов и ускорение изменения климата. Переход к возобновляемым источникам энергии является ключевым для решения глобальных энергетических проблем и смягчения последствий изменения климата [1]. Этот переход включает не только внедрение солнечных и ветровых технологий, но и создание современных инфраструктур для эффективного управления производством, хранением и распределением чистой энергии.

Использование цифровых двойников предлагает инновационное решение для мониторинга, оптимизации и прогнозирования производительности энергетических систем, а также для хранения избыточной энергии в виде зеленого водорода.

Цифровой двойник – это виртуальное представление, разработанное для точного отражения физического объекта Он охватывает жизненный цикл объекта, обновляется на основе данных в реальном времени и использует моде-

лирование, машинное обучение и анализ для облегчения принятия решений [2]. Его функционирование основано на:

- Сборе данных с помощью подключенных датчиков.
- Цифровом моделировании для имитации и оптимизации операций.
- Обратной связи для корректировки системы в реальном времени.

Цифровые двойники позволяют:

- Регулировать работу солнечных панелей в зависимости от уровня солнечного излучения.
- Настраивать ветряные турбины для максимального производства энергии.
- Прогнозировать изменения погодных условий, влияющих на генерацию энергии.

Эффективность электролизеров: цифровой двойник отслеживает производительность и оптимизирует затраты на производство водорода.

Интеграция хранилищ водорода: гибкость управления запасами позволяет адаптироваться к изменению потребностей.

Использование цифровых двойников открывает новые возможности для устойчивого развития. Они позволяют прогнозировать потребление электроэнергии и водорода, одновременно оптимизируя управление энергетическими ресурсами. Благодаря анализу данных в реальном времени и моделированию, цифровые двойники снижают потери, повышают эффективность систем и облегчают интеграцию возобновляемых источников энергии в существующие энергетические сети. Кроме того, они играют ключевую роль в сокращении эксплуатационных затрат, уменьшении воздействия на окружающую среду и повышении устойчивости инфраструктуры к климатическим и экономическим вызовам.

Таким образом, цифровые двойники могут стать ключевым инструментом в модернизации энергетических систем. Их применение охватывает управление производством электроэнергии из возобновляемых источников, оптимизацию работы интеллектуальных сетей (smart grids) и хранение зеленого водорода. В реальном времени цифровые двойники отслеживают емкость хранилищ и корректируют процессы преобразования, что обеспечивает эффективное использование энергии. Они также способствуют лучшему прогнозированию потребностей в энергии, позволяя более точно регулировать производство и потребление в условиях изменчивости. Эти технологии представляют собой устойчивое и инновационное решение, соответствующее мировым целям энергетического перехода и достижения углеродной нейтральности. Они также

обеспечивают большую гибкость в управлении энергетическими сетями, что снижает риски дефицита или перепроизводства.

Кроме того, способствуя интеграции возобновляемых источников энергии в существующую инфраструктуру, они открывают путь для более быстрого и эффективного энергетического перехода. Эти достижения в области цифровых технологий открывают новые перспективы для повышения устойчивости энергетических систем и их способности адаптироваться к глобальным вызовам, таким как изменение климата и необходимость снижения углеродных выбросов.

Библиографический список

1. Слиманоу, М. Улучшение энергетической эффективности преобразователей напряжения и управления мощностью электрического оборудования в микросетях агропромышленного комплекса с использованием гибридных источников возобновляемой энергии и хранением получаемого водорода / М. Слиманоу, В. Ф Калинин // Цифровизация агропромышленного комплекса : сб. науч. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 23 – 25 октября 2024 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2024. – Т. 3. – С. 86 – 88.

2. Что такое цифровой двойник? [Электронный ресурс]. – URL : https://www.ibm.com/fr-fr/topics/what-is-a-digital-twin (дата обращения 10.12.2024).

СПЕЦИАЛЬНАЯ УСТАНОВКА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЖИЛЫХ ДОМАХ

Г. Р. Соломенцев

Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия
(*e-mail*: *g.solomentsev17@mail.ru*)

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) до сих пор являются привлекательной заменой полезным ископаемым, запасы которых рано или поздно истощатся. Направления альтернативной энергетики (гелиоэнергетика, ветроэнергетика, водородная энергетика, биоэнергетика) активно внедряются и в России. Целью же данной статьи является описание специальной установки гелиоэнергетики, или по-другому солнечной энергетики, в жилых домах с будущим принципом ее работы.

Гелиоэнергетику можно использовать по-разному, например, повышая энергоэффективность, с помощью использования новых блоков, или эксплуатацией термоэлектрического генератора [1]. В данной же работе предлагается применение гибридной установки, которая будет использовать как фотоэлементы с системой накопления энергии (СНЭ), так и систему управления с программным комплексом IDEA.Microgrid.

Потребуется многоэтажное здание, на одной стене которого, где отсутствуют окна, будет прикреплена фальшивая стена. На ней будут расположены фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), преобразующие солнечную энергию в электрическую энергию (ЭЭ). С помощью СНЭ и аккумуляторов, которые будут находиться на обратной стороне фальшивой стены, полученная энергия станет приходить на энергопотребление этажа, если у него произойдет недостаток энергии. Все это осуществляется также благодаря инвертору, преобразующему постоянный ток в переменный. Сами генераторы будут расположены на лифте, который за счет рекуперации станет подниматься или опускаться, в случае недостатка электроэнергии на этаже здания. Тем самым, даже в темное время суток или в неблагоприятные для работы ФЭП погодные условия, этаж станет полностью автономен и наделен ЭЭ. Для контроля всего процесса будет использована система управления, которая станет определять, когда и на какой этаж лифту с аккумуляторами нужно ехать.

Для анализа и выбора оптимальных решений в сфере модернизации текущей системы будет произведен расчет показателей Levelized Cost of Energy (LCOE) и Levelized Cost of Heat (LCOH). Оба этих показателя помогут определить, насколько выгодной планируется данная энергоустановка, и выбрать варианты, которые минимизируют затраты на энергоснабжение в долгосрочной перспективе. Подсчет будет осуществляться в программном комплексе IDEA.Microgrid.

Установка находится на этапе разработки. К тому же на первом этапе реализации потребует значительных затрат. Но установка решит основную проблему гелиэонергетики, а именно зависимость от погодных условий, из-за которой порой не хватает мощности на обеспечение энергией. К тому же солнечная энергия перспективнее, так как не подорожает, в отличие от электрической [2]. Тем самым гибридная установка может быть полезна, если задуматься о долгосрочной перспективе.

Библиографический список

1. Котеленко, С. В. Новые технологии генерации энергии солнца в электроснабжении / С. В. Котеленко, Д. М. Прохорова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2019. – № 11. – С. 214 – 219.

2. Потенциальные экологические последствия в развитии альтернативной энергетики / С. Р. Гильденскиольд, Т. И. Крылова, И. В. Левакова, П. А. Логинова ; отв. ред. Ю. П. Молоканова // Экология и здоровье человека : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, памяти профессора Ю. Д. Жилова, Москва, 28 февраля – 1 марта 2022 года. – М. : Московский государственный областной университет, 2022. – С. 119 – 126.

ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ИЗ ТРЕХ КАТУШЕК ДЛЯ КОНТРОЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ю. Н. Татаринцев, А. П. Пудовкин

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *yurok20@mail.ru*; *resbn@mail.ru*)

Метод относится к неразрушающему контролю и может быть использован для достоверности контроля многослойных материалов, повышает качество измерений, которое достигается применением компенсационной катушки на вихретоковом преобразователе.

В работе представлено описание вихретокового метода с применением вихретокового преобразователя с тремя катушками для контроля многослойных материалов. Принцип метода состоит в том, что переменный ток, протекающий в возбуждающей катушке, генерирует переменное магнитное поле. Это магнитное поле индуцирует вихревые токи в находящемся поблизости проводящем материале, а компенсационная катушка размещена в непосредственной близости от возбуждающей катушки, и ее цель – компенсировать магнитное поле, создаваемое возбуждающей катушкой, в отсутствие объекта контроля. Немагнитную электропроводящую пластину (объект контроля) помещают на контролируемый участок так, чтобы визуально наблюдать контролируемый участок, так как вихретоковый преобразователь остается неподвижен. Вихретоковый преобразователь устанавливают соосно с объектом контроля и компенсируют вихре-

токовый сигнал подключенного к электронному блоку накладного вихретокового преобразователя. Затем, не изменяя положения оси вихретокового преобразователя, устанавливают соосно с ним другие электропроводящие пластины и регистрируют с помощью электронного блока изменение вихретокового сигнала относительно скомпенсированного. По величине полученного сигнала с помощью предварительно полученных градуировочных характеристик определяют толщину электропроводящей пластины на участке контроля. Для получения градуировочных характеристик используют контрольные образцы с эталонной пластиной, выполняют вышеописанные операции и получают зависимость результата измерения от эталонной электропроводящей пластины.

Данный метод может быть использован для быстродейственного, бесконтактного определения толщины плоских двухслойных материалов, на которые минимально влияет изменение расстояния между датчиком и объектом контроля, повышается чувствительность метода и помогает компенсировать температурные и другие изменения, влияющие на измерение.

Библиографический список

1. Пудовкин, А. П. Перспективные методы обработки информации в радиотехнических системах : монография / А. П. Пудовкин, С. Н. Данилов, Ю. Н. Панасюк. – СПб. : Экспертные решения, 2014.

2. Пудовкин, А. П. Метод непрерывного контроля толщины и сплошности соединения слоев биметалла / А.П. Пудовкин, Д. В. Семененко // Вестник ТГТУ – Т. 15, № 3, 2009. – С. 667 – 671.

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

А. А. Терехова[1], Б. С. Дмитриевский[1], С. Э. Эктов[2]

[1]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(*e-mail:terehova.aa@tstu.ru*)
[2]*Тамбовский завод «Октябрь», Тамбов, Россия*
(*e-mail: ektov.sam@yandex.ru*)

Эффективное управление энергоресурсами является важнейшим аспектом управления любого производственного объекта. Это обусловлено, во-первых, сложностью, многоровностью и распределенностью систем управления про-

мышленных предприятий, большинство из которых характеризуется многосвязностью производственных процессов, а во-вторых, необходимостью оптимизации использования энергоресурсов на всех уровнях их потребления.

Для представления и дальнейшей работы с производственными процессами предложено использовать информационно-функциональные модели, построенные в виде IDEF0-диаграмм, которые наиболее наглядно показывают структуру и функции системы, а также потоки информации материальных объектов, связывающие эти функции.

Для описания движения энергоресурсов (на примере электрической энергии) и состояния энергооборудования построена информационно-функциональная модель, представленная на рис. 1.

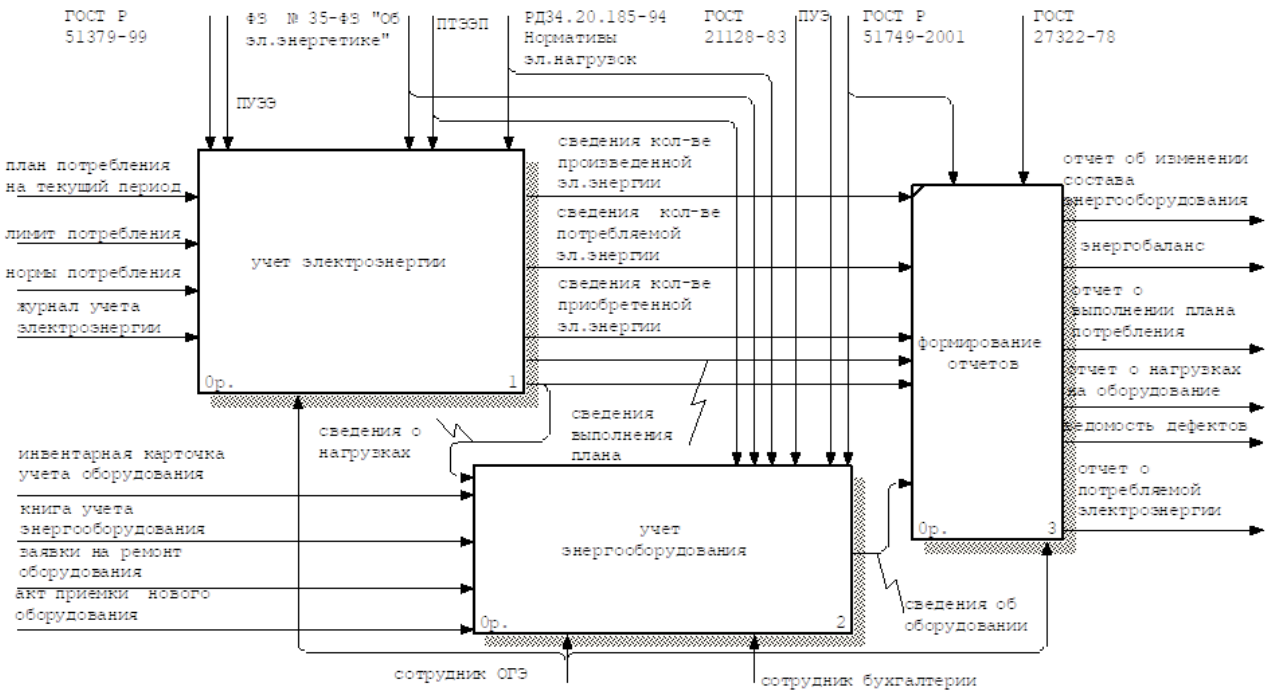


Рис. 1. Управление движением энергоресурсов и состоянием энергооборудования

Входной информацией представленной модели являются показания счетчиков электрической энергии, показывающие расход энергоресурса по участкам и цехам, а также количество произведенной энергии собственными генерирующими мощностями предприятия и количество поставленной энергии сторонними поставщиками.

Проведя анализ входной информации по представленной модели и в соответствии с заданным алгоритмом, в качестве выходных данных можно получить следующую актуальную информацию: нормативы потребления энергопо-

требления для отдельных участков и производственных цехов за заданный промежуток времени, нормативы для определения расчетных энергетических нагрузок, план потребления энергоресурсов на заданный текущий период, план производства энергоресурсов собственными генерирующими мощностями предприятия за заданный текущий период и другие данные, необходимые для оптимизация энергопотребления и повышения энергоэффективности промышленного объекта.

Кроме того, предложенная система управления энергопотреблением в производственных процессах позволяет также отследить и состояние энергооборудования и оптимизировать сопроводительный документооборот внутри предприятия и расчеты с внешними поставщиками и потребителей энергоресурсов, обеспечив при этом оптимальное планирование и управление энергоресурсами и энергооборудованием.

Таким образом, системный подход к энергопотреблению позволяет промышленным предприятиям выявить возможности для оптимизации процесса энергопотребления, определить наиболее проблемные участки производственного процесса и своевременно внедрить необходимые энергосберегающие меры, повысив таким образом энергоэффективность предприятия и снизить финансовые издержки.

Библиографический список

1. Ян, Чун Нам. Проблемы управления энергопотреблением в промышленности / Чун Нам Ян // Молодой ученый. – 2024. – № 9(508). – С. 119 – 122.

2. Разработка программного комплекса системы управления сложными производственными процессами / В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, А. А. Терехова и др. // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 168 – 184.

3. Ворошилов, Е. А. Интеллектуальные системы управления энергопотреблением в производстве // Вестник науки. – 2024. – № 11(80).

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ

А. А. Толстых, С. В. Смирнова

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, Казахстан
(*e-mail*: *sashatolstyjh@gmail.com*; *ssoffkav_1405@mail.ru*)

Цифровизация энергоснабжения – это один из ключевых трендов в энергетике, направленный на повышение эффективности, устойчивости и надежности систем электроснабжения. Основными направлениями являются внедрение Интернета вещей (IoT), цифровизация распределительных сетей, а также использование блокчейн-технологий. Данный доклад раскрывает основные аспекты и перспективы этих инновационных подходов.

Интернет вещей (IoT) в энергоснабжении:

1. *Умные счетчики*

Умные счетчики являются основой IoT в энергоснабжении, предоставляя следующие преимущества:

- Сбор данных в реальном времени о потреблении энергии, позволяющий потребителям оптимизировать свои расходы.
- Двусторонняя связь с энергетическими компаниями для гибкого управления тарифами.
- Улучшение точности расчетов и снижение эксплуатационных расходов через автоматизацию процессов.

2. *Мониторинг и управление сетями*

IoT позволяет:

- Использовать датчики для сбора данных о состоянии сети (напряжение, температура и т.д.).
- Автоматизировать управление для предотвращения перегрузок и аварий.
- Применять алгоритмы машинного обучения для анализа и прогнозирования нагрузки.

3. *Энергоэффективность*

Благодаря IoT оптимизируется работа оборудования и внедряются интеллектуальные системы управления, такие как регулирование уличного освещения и интеграция с возобновляемыми источниками энергии.

4. *Блокчейн в энергоснабжении*

Торговля энергией

Смарт-контракты и децентрализованные платформы позволяют домохозяйствам продавать избыток энергии напрямую, снижая затраты на транспортировку. Примером является проект Brooklyn Microgrid.

Прозрачность и безопасность

Блокчейн обеспечивает неизменяемость данных и прозрачность, упрощая сертификацию возобновляемой энергии.

Кейсы применения

– Микросети: одноранговая торговля энергией с использованием токенов.

– Зарядка электромобилей: автоматизация учета и оплаты.

– Децентрализованные рынки энергии: создание локальных систем с минимальными затратами на инфраструктуру.

Для подробного изучения рекомендуется ознакомиться с исследованиями MDPI и рекомендациями Международного энергетического агентства (IEA).

Аладдин и др. разработали многоагентную модель обучения с подкреплением (MARLA-SG) для повышения эффективности реагирования на спрос на электроэнергию в интеллектуальных сетях (SG), что является альтернативой огромному росту городских поселений, которые стали обширными и густонаселенными.

Отношение пиковой нагрузки к средней (PAR) с соответствующим снижением затрат – главная цель каждого проектировщика интеллектуальных энергосетей такого типа. Эта схема основана на простоте и гибкости выбора или отказа от элементов сети. Его работа основана главным образом на схемах Q-обучения и State-Action-Reward-State-Action (SARSA) для снижения PAR на 12,16 и 9,6%, при этом средняя стоимость снизилась на 7,8 и 10,2% соответственно.

Цифровизация электро- и энергоснабжения обеспечивает переход к более интеллектуальной, устойчивой и надежной энергетической системе. Однако для достижения максимальной эффективности требуется преодоление технических и экономических вызовов, включая стандартизацию, кибербезопасность и интеграцию с существующими системами.

Библиографический список

1. Blockchain Technology: Benefits, Challenges, Applications, and Integration of Blockchain Technology with Cloud Computing / G. Habib, S. Sharma, S. Ibrahim, et al. // Future Internet. – 2022. – No. 14. – P. 341.

2. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities / M. Andoni, V. Robu, D. Flynn, et al. // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2019. – No. 100. – P. 143 – 174.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В СТРУКТУРЕ ЦИФРОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Уютнов[1], М. А. Каменская[1], С. В. Артемова[2]

[1]*Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия*
(*e-mail*: *a.uyutnov@yandex.ru*; *art_mari@bk.ru*)
[2]*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия*
(*e-mail*: *artemova_s@mirea.ru*)

Для оптимизации работы электроэнергетических систем (ЭЭС) необходимым является использование современных информационных технологий. Информатизация технологического процесса ведет к повышению его эффективности, надежности и безопасности. Новые цифровые решения позволяют автоматизировать процессы управления производством, передачи и распределения электроэнергии, а также осуществлять мониторинг состояния оборудования и прогнозирование нагрузок.

Информационно-измерительные системы (ИИС) играют ключевую роль в обеспечении надежного функционирования электроэнергетической системы. В современных электроэнергетических системах ИИС представляют собой совокупность технических средств и программного обеспечения, реализующих сбор, обработку, хранение и передачу данных, характеризующих процесс функционирования электрических сетей и генерирующих установок. ИИС обеспечивают возможность оперативного мониторинга параметров, управления режимами работы энергосистем, диагностики и профилактики неисправностей, оптимизацию загрузки оборудования. Необходимость увеличения спектра функций ИИС создает запрос на рост точности собираемых данных, обеспечивающих работу этих систем.

Информационно-измерительная система состоит из электронных средств измерения (ЭСИ), выполняющих функцию преобразования полученных величин. Метрологическая надежность (МН) ИИС является основным показателем их качества и, прежде всего, определяется метрологической надежностью аналоговых блоков (АБ), входящих в состав ЭСИ. В аналоговых блоках ИИС происходят процессы преобразования и обработки измеряемой информации [1].

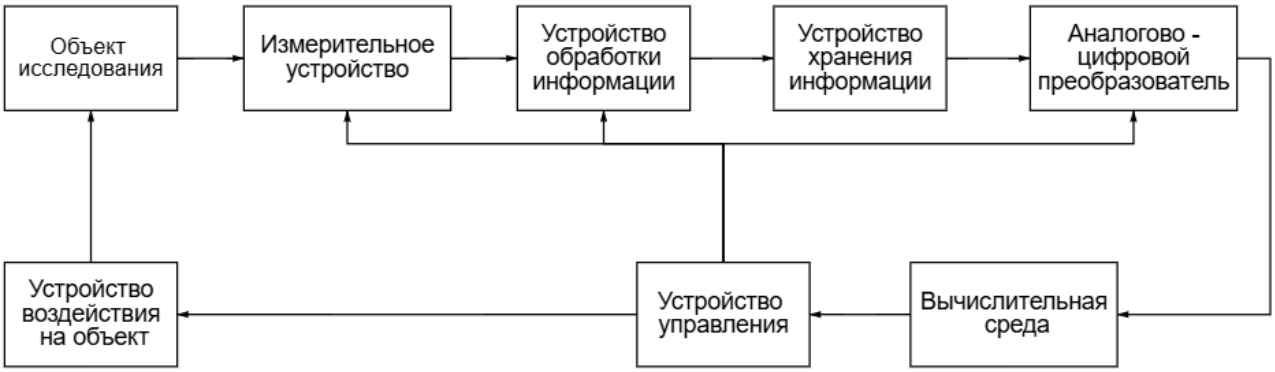


Рис. 1. Обобщенная структурная схема информационно-измерительной системы

Физико-химические процессы, протекающие на молекулярном уровне, являются причиной деградации АБ ИИС. Из-за молекулярных и атомарных изменений происходит разрушение и деградация материалов элементов блоков ИИС, ускоренные дестабилизирующим воздействием внешних факторов окружающей среды (ОС) [2].

В случае отклонения перечисленных факторов ОС от нормальных условий ускоряются деградационные процессы элементной базы ЭСИ. Процесс деградации блоков ИИС вызывает изменение их номинальных значений, приводящее к изменению метрологических свойств ИИС и сокращению ресурса их работы.

Анализируя изменения метрологической надежности, необходимо учитывать влияние условий эксплуатаций на скорость деградации ИИС. Ключевые параметры условий эксплуатации ИИС должны соответствовать значениям, позволяющим минимизировать интенсивность деградации элементной базы АБ ЭСИ. Правильно подобранные условия эксплуатации ведут к росту точности и достоверности собираемых данных параметров энергетических объектов, что в свою очередь влияет на повышение эффективности функционирования ЭЭС.

Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Оценка метрологической надежности информационно-измерительных систем объектов электроэнергетики в условиях нестабильности внешних факторов / Т. И. Чернышова, М. А. Каменская, С. В. Артемова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 4. – С. 534 – 540.

2. 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.

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ РФ

С. А. Фролов

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

Привлечение различных форм государственно-частного партнерства (далее ГЧП) в энергетические правовые отношения становится основой для научного исследования современных зарубежных и российских ученых.

Правовой базой для ГЧП, в том числе в сфере электроэнергетике, является Федеральный закон (далее ФЗ) от 13 июля 2015 г. № 224-ФЗ «О государственно – частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Он вступил в силу с 1 января 2016 г., дополнил уже существующие положения и позволил использовать новые, эффективные и сбалансированные модели ГЧП в российской практике. Ключевой элемент его правового регулирования – это соглашение о государственно-частном партнерстве (соглашение о муниципально-частном партнерстве) СГЧП (СМЧП). Предусмотренная Законом о ГЧП новелла – возможность возникновения частной собственности на публичную инфраструктуру. При этом инвестор обязан обеспечивать полное или частичное финансирование создания такой инфраструктуры и эксплуатацию объекта в соответствии с его целевым назначением, которое регистрируется в качестве обременения объекта. Перечень объектов, по кото-

рому возможна реализация ГЧП в сфере энергетики, закреплен в ст. 7 ФЗ, среди них: объекты трубопроводного транспорта, объекты по производству, передаче и распределению электрической энергии; имущественные комплексы, предназначенные для производства промышленной продукции и осуществления иной деятельности в сфере промышленности и т.д.

В развитие Закона о ГЧП Правительством Российской Федерации к 1 января 2016 г. приняты 14 нормативных правовых актов, необходимых для реализации норм Закона о ГЧП. В частности, приняты и опубликованы на официальном интернет-портале правовой информации десять постановлений Правительства РФ и четыре приказа Минэкономразвития России. Подзаконные акты регламентируют процедуры, связанные с подготовкой, рассмотрением публичной стороной и оценкой предложений о реализации проектов ГЧП (МЧП), а также отдельные этапы конкурсных процедур, последующие контроль и мониторинг реализации СГЧП (СМЧП) [1, с. 14].

Электроэнергетика сегодня составляет основу национальной безопасности России. Однако широко известны ее проблемы: значительный износ основных объектов имущества, сложные географические условия разработки новых месторождений и др. Поэтому ГЧП как нельзя лучше способствует долгосрочному взаимодействию государства и бизнеса в интересах обеих сторон.

Несмотря на трудности внедрения ГЧП в области электроэнергетики, ее проекты получают старт и развитие. Наиболее масштабной по экономическому и социальному влиянию программой ГЧП выступил проект комплексного развития Нижнего Приангарья в Краснодарском крае. Еще в мае 2006 г. на III Красноярском экономическом форуме директор Корпорации развития Красноярского края Михаил Дягилев подал заявку на средства Федерального инвестиционного фонда о реализации первого этапа комплексной программы развития Нижнего Приангарья. Всего через четыре месяца Красноярский край получил от государства 34 млрд руб., а частные инвесторы ГидроОГК и Русал обязались вложить на паритетных началах 179,7 млрд руб. Базовым проектом программы являлось строительство Богучанской ГЭС (БоГЭС), начатой еще в СССР. Программа также предусматривала освоение колоссальных ресурсов углеводородов, строительство Богучанского алюминиевого завода (БоАЗ), строительсво ЛЭП, железнодорожной ветки, подготовку ложа водохранилища и т.д. [2, с. 43].

В результате с момента пуска первых агрегатов в октябре 2012 г. по 31 декабря 2019 г. Богучанская ГЭС произвела и поставила потребителям

83 млрд 726 млн кВт·ч. Благодаря успешной производственной деятельности за 2019 г. ПАО «Богучанская ГЭС» выплатила в бюджеты разных уровней и внебюджетные фонды 6 млрд. 427 млн руб. Федеральный бюджет получил 3 млрд 742 руб., в бюджет Красноярского края выплачено 2 млрд 498 руб., в местный бюджет выплачено 19,04 млн руб. По состоянию на 1 января 2020 г. численность работников ПАО «Богучанская ГЭС» составила 535 человек, из которых более половины сотрудников имеют высшее образование [9, с. 3].

Таким образом, проекты в электроэнергетике выгодны как для частных инвесторов, так и для государства при приемлемых сроках окупаемости инвестиций в крупные инфраструктурные проекты.

Библиографический список

1. Рекомендации по реализации проектов государственно-частного партнерства. Лучшие практики. – М., 2018. – 169 с.

2. Киямова Э.Р. Государственно-частное партнерство в энергетике: проблемы и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2010. – Т. 5, № 18. – С. 42 – 44.

3. Годовой отчет ПАО «Богучанская ГЭС» за 2019 г. – URL : https: // www.boges.ru

ОЦЕНКА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ИСПРАВНОСТИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, П. И. Карелин

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

Информационно-измерительные системы (ИИС), типовая структура которых представлена на рис. 1, в настоящее время широко применяются в практике измерительного эксперимента во всех отраслях промышленного производства, в том числе при контроле параметров энергетических объектов. Разработка метрологического обеспечения таких измерительных средств на стадии их проектирования является одним из определяющих факторов

в достижении требуемой точности проводимых с использованием ИИС измерительных экспериментов. Особо значимыми в составе метрологического обеспечения является показатель метрологический исправности, определяющий состояние ИИС, при котором метрологические характеристики соответствуют установленным требованиям, а также показатель МН, оцениваемый способностью ИИС сохранять установленные значения МХ в эксплуатации при определенных режимах и условиях использования. Таким образом, указанные показатели определяются изменением во времени МХ ИИС с учетом параметров окружающей среды.

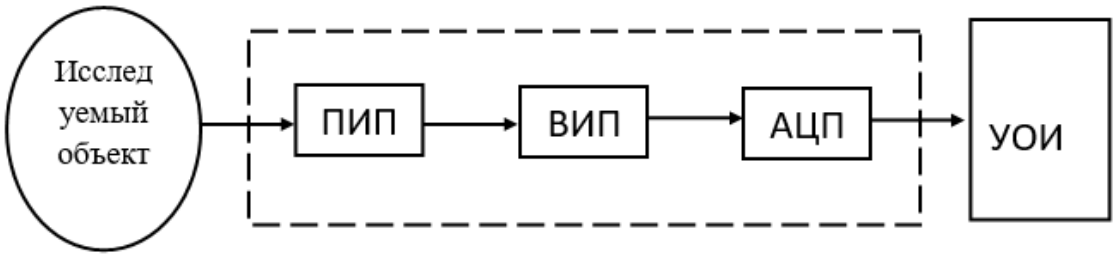


Рис. 1. Обобщенная структурная схема ИИС:
ПИП – первичный измерительный преобразователь;
ВИП – вторичный измерительный преобразователь;
УОИ – устройство обработка информации;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь

Существующие подходы к оценке этих показателей основаны на аналитиковероятностном методе прогнозирования, заключающемся в математическом моделировании проектируемых измерительных средств [1, 2] и построении математических моделей метрологических характеристик с учетом параметров элементной базы рассматриваемых измерительных средств, а также условий их предстоящей эксплуатации. Процедура заключается в математическом моделировании нестационарных случайных процессов изменения во времени блоков проектируемых ИИС, построении многофакторных математических моделей метрологических характеристик ИИС, что является основой для численной оценки метрологической исправности и МН. Для оперативного принятия проектных решений по метрологическому уровню разрабатываемых ИИС предложена информационная технология для реализации применяемого метода определения рассматриваемых показателей с помощью программных средств.

Информационная технология последовательно проводит:

1. Математическое моделирование процессов функционирования блоков ИИС.

2. Математическое моделирование исследуемых метрологических характеристик.

3. Статистическое моделирование, заключающееся в последовательном расчете характеристик законов распределения параметров элементов блоков ИИС с учетом условий эксплуатации и моделировании реализаций метрологических характеристик в различных временных сечениях области предстоящей эксплуатации.

На основе проведенного моделирования производится построение графических зависимостей изменения во времени метрологических характеристик и при различных сочетаниях внешних факторов эксплуатации. Экстраполяция построенных математических моделей на область предстоящей эксплуатации позволит оценить указанные раннее составляющие метрологического обеспечения информационно-измерительных систем.

Разработанная информационная технология дает возможность в существенно малые сроки без проведения длительных испытаний на стабильность получить базу данных по метрологической надежности и метрологической исправности проектируемых ИИС при предстоящей эксплуатации в производственных измерительных экспериментах, определить регламент проведения измерений при метрологических поверках. Кроме того, обеспечивая оперативность принятия решений по уровню метрологической надежности и метрологической исправности ИИС на этапе проектирования, разработанная информационная технология дает возможность оперативно принимать необходимые структурные и схемотехнические решения по изменению блоков информационно-измерительных систем в случае несоответствия рассчитанных показателей метрологической исправности и метрологической надежности требуемым значениям.

Библиографический список

1. Курносов, Р. Ю. Метрологический анализ измерительной процедуры цифровых средств измерений / Р. Ю. Курносов, Т. И. Чернышова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2023. – Т. 29, № 3. – С. 375 – 382.

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.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

И. А. Чупахин, Н. М. Гребенникова

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *ivanchupa1709@gmail.com*)

Основная идея беспроводного устройства заряда электротранспорта заключается в размещении в нижней части транспортного средства приемника, который получает энергию от индукционных катушек, расположенных под дорожным покрытием парковочного места на определенном расстоянии друг от друга (рис. 1).

На основе схемы и данных о компонентах различных зарядных устройств составлен перечень элементов для создания беспроводного устройства заряда электрокара, продемонстрированного на рис. 2 [1]. В список вошли: катушка-передатчик и катушка-приемник; плата заряд/разряд; блок питания 5 В 1 А; аккумулятор 18650; дисплей POWERBANK; батарейный отсек.

Саму сборку можно разделить на несколько этапов работы:

На первом этапе детально ознакомились со схемой и компонентами беспроводного устройства заряда для электротранспорта.

На втором этапе нужно было проверить, какое количество напряжения теряется во время перехода от катушки-передатчика к катушке-приемнику. Потери составили 0,2 В (4%).

Третьим этапом создания беспроводной зарядки для электротранспорта стала сборка электрической цепи [2].

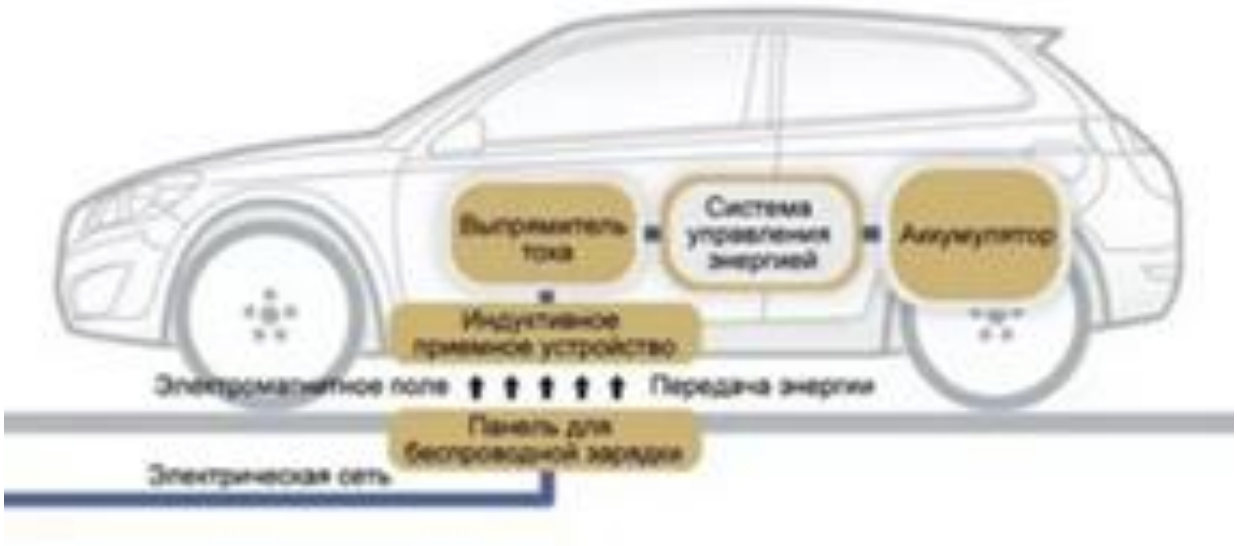


Рис. 1. Схема беспроводной зарядки для электротранспорта

Четвертым этапом стала работа над внешним видом беспроводной зарядки для электротранспорта и конечная сборка устройства (рис. 2). Для выполнения первой части была найдена машинка на пульте управления. Для выполнения второй части был спроектирован эскиз парковочного места в программе КОМПАС-3D.

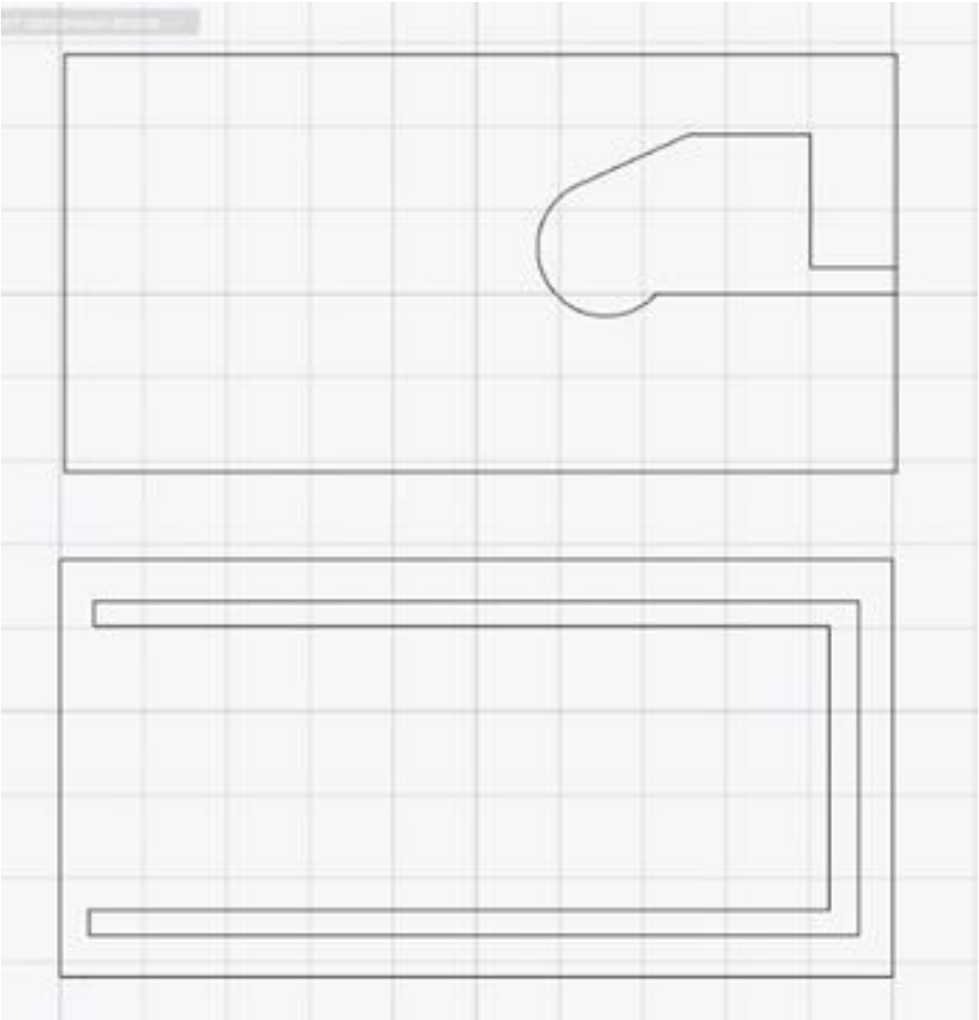


Рис. 2. Эскиз парковочного места

Убедившись в работе устройства, выявили, что каждая машина имеет свой индивидуальный клиренс, который может не подойти для работы катушек. Была предложена электрическая схема на основе Arduino Uno, которая считывая высоту, приводила привод в действие и возвращала его в исходное положение (рис. 3). На основе предложенной схемы и данных о компонентах различных соединений составлен перечень элементов для создания механизма поднятия.

Собрав электрическую схему и записав скетч на Arduino Uno, выявили, что датчик выводит показатели расстояния в сантиметрах [2]. Сервопривод начинает работу (поворачиваться) и поднимает катушку-передатчик к катушке-

приемнику при достижении необходимой высоты на дальномере. В случае если показатель высоты становится больше требуемого значения, сервопривод возвращается в исходное положение зарядную часть устройства.

Убедившись в работоспособности всей цепи, решили начать разрабатывать систему поднятия индукционной катушки. Данный механизм работает по принципу «качели». Сервопривод поворачивает поперечную деталь, которая в свою очередь поднимает и опускает катушку. В программе КОМПАС-3D сделаны и распечатаны компоненты для создания системы, которые склеены для продолжения работы.

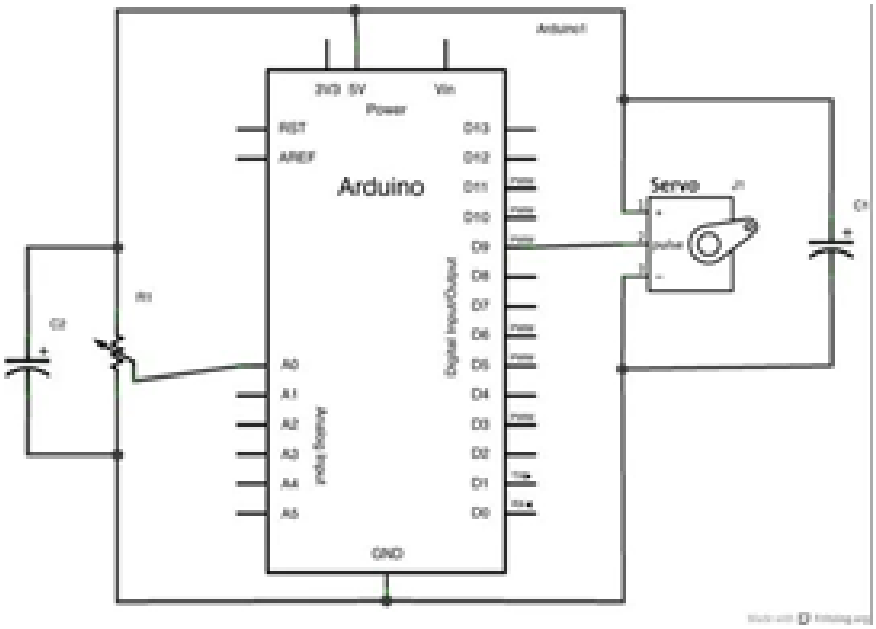


Рис. 3. Электрическая схема подъемного механизма

Все детали подошли друг к другу и имели необходимую подвижность, что позволило осуществить конечную сборку устройства (рис. 4).

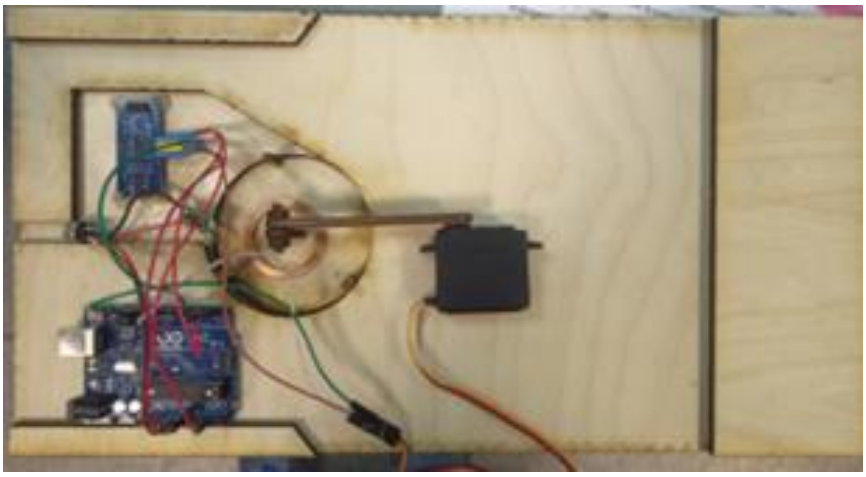


Рис. 4. Конечная сборка

В результате работы был получен прототип беспроводного зарядного устройства, который осуществляет зарядку модели автомобиля, находящегося на парковочном месте. В ходе изготовления были изучены принцип работы со слаботочными схемами, работа в CAD, работа с лазерным станком, а также основы пайки.

Библиографический список

1. Основы робототехники / Н. В. Василенко, К Д. Никитан, В. П. Пономарев, А. Ю. Смолин. – Томск : МГП «РАСКО», 1993. – 470 с.
2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл ; пер. с англ. – Изд. 2-е. – М. : Изд-во «БИНОМ». – 2014. – 704 с.

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВВОДОВ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ И МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В. А. Шеломенцев[1, 2], Р. Н. Хамитов[1], И. С. Сухачев[1], С. В. Сидоров[1]

[1]*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*
(*e-mail*: *apple_27@mail.ru*; *suhachevis@tyuiu.ru*; *sidorovsv@tyuiu.ru*)
[2]*Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*
(*e-mail*: *shelomentsevva72@mail.ru*)

Цифровая трансформация энергетических систем способствует внедрению интеллектуальных технологий мониторинга и диагностики оборудования. Силовые трансформаторы, будучи ключевыми элементами сети, требуют эффективных методов оценки технического состояния. Согласно данным, до 30% отказов трансформаторов обусловлено неисправностями высоковольтных вводов [1]. Традиционные диагностические подходы, основанные на термографическом и визуальном контроле, часто ограничены субъективной оценкой персонала и малым объемом доступных данных [2]. Применение методов компьютерного зрения и глубокого обучения предоставляет возможность улучшить идентификацию дефектов. Для решения данной задачи применялись модели YOLO для детекции объектов [3], ResNet – для классификации [4], а также автоматизированный подбор алгоритмов с помощью FEDOT [5].

Разработанная система анализирует термограммы и визуальные изображения высоковольтных вводов трансформаторов в сочетании с дополнительными параметрами (климатические условия, нагрузка). В ходе экспериментов была проведена бинарная классификация технического состояния вводов (исправен/дефектен) с использованием YOLOv8, ResNet и механизмов оптимизации FEDOT. На основе порядка 200 обучающих записей получено значение ROC AUC примерно 0,75. При внесении искажений в исходные термограммы (размытие, переэкспонирование, термический шум) система сохраняла не менее 85% от исходного значения ROC AUC [6,7]. Алгоритм YOLOv8 осуществлял точную детекцию координат вводов, ResNet выделял признаки для определения дефектов, а FEDOT определял оптимальный метод классификации. Результирующей конфигурацией оказался Random Forest [8].

Время обработки одной термограммы составляло не более нескольких десятков секунд. Полученный подход не требует установки дополнительного оборудования и может быть интегрирован в существующие системы мониторинга [9]. Это обеспечивает переход к риск-ориентированным стратегиям обслуживания, при которых решения принимаются на основании текущих данных и прогнозов остаточного ресурса. Дальнейшее развитие исследования возможно за счет расширения объема данных, совершенствования архитектур глубокого обучения, а также анализа дополнительных типов сигналов, включая химические и виброакустические характеристики [10].

Библиографический список

1. Анализ повреждаемости трансформаторов мощностью 16 и 25 МВА класса напряжения 110 кВ [Электронный ресурс]. – URL : https://pue8.ru/elektricheskie-seti/623-analiz-povrezhdaemosti-transformatorov-moshchnostyu-16-i-25-mva-klassa-napryazheniya-110-kv.html (дата обращения: 19.03.2024).
2. Applied Complex Diagnostics and Monitoring of Special Power Transformers / G. Ivanov, A. Spasova, V. Matveev, I. Marinova // Energies. – 2023. – V. 16, No. 2142.
3. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi // Proc. of CVPR. – 2016. – P. 779 – 788.
4. Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // Proc. of CVPR. – 2016. – P. 770 – 778.
5. Polonskaia, I. S. Automated Evolutionary Design of CNN Classifiers for Object Recognition on Satellite Images / I. S. Polonskaia, I. R. Aliev, N. O. Nikitin // Procedia Computer Science. – 2021. – V. 193. – P. 210 – 219.

6. Diagnostics of construction parts of the dry transformers / M. Gutten, M. Kucera, D. Korenciak, M. Karman // International Conference on Diagnostics in Electrical Engineering. – 2022. – P. 1 – 4.

7. Analysis of modern methods of determination of mechanical status and diagnostic models of power transformers / S. Fazliddinov, B. Kuchkarov, N. Sharibaev, et al. // Journal of Physics: Conference Series. – 2022. – V. 2388. – P. 1 – 5.

8. Time-based partial discharge localization in power transformers by combining acoustic and different electrical methods / S. Hoek, A. Kraetge, O. Kessler, U. Broniecki // IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis. – 2012. – P. 289 – 292.

9. Singh A., Machine Learning Based Transformer Health Monitoring Using IoT Edge Computing / A. Singh, J. Ahamad // 5th International Conference on Computing, Communication and Security (ICCCS). – 2020. – P. 1 – 5.

10. Rathod, V. Partial Discharge Detection and Localization in Power Transformers based on Acoustic Emission: Theory, Methods, and Recent Trends / V. Rathod, G. Kumbhar, B. Bhalja // IETE Technical Review. – 2022. – V. 39, No. 3. – P. 540 – 552.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЛЕСОПИЛЬНО-ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМБИНАТА

С. Р. Ястребов, Е. А. Черняк

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *yastrebov123@list.ru*; *Tambow2019@mail.ru*)

Система электроснабжения лесопильно-деревообрабатывающего комбината включает несколько ключевых элементов, которые обеспечивают надежное и безопасное функционирование предприятия. Электросеть является основой для электроснабжения комбината, и она должна быть спроектирована с учетом высоких требований к надежности и бесперебойности. Высоковольтные кабели используются для передачи электроэнергии на большие расстояния от источника, таких как электростанции или подстанции. Низковольтные кабели передают электричество к различным производственным участкам и оборудованию. Важно, чтобы кабели соответствовали стандартам безопасности и могли выдерживать ожидаемые нагрузки. Трансформаторные подстанции служат для понижения высокого напряжения до уровня, подходящего для использования на производстве. Эти устройства обеспечивают стабильный уровень напряжения, необходимый для функционирования оборудования, и защищают

его от потенциальных повреждений из-за перепадов напряжения. Современные трансформаторные подстанции также могут быть оборудованы средствами автоматизации и мониторинга. Распределительные щиты и панели распределяют электроэнергию по различным цепям и обеспечивают защиту от перегрузок [1].

Энергетическое оборудование включает в себя различные устройства, необходимые для преобразования, передачи и потребления электрической энергии в процессе обработки древесины. Основная часть оборудования приводится в действие электродвигателями, которые подбираются с учетом специфики работы и характеристик оборудования. Эффективные электродвигатели могут значительно снизить потребление энергии и увеличить общую производительность [2].

Контроль и управление системой электроснабжения критически важны для обеспечения стабильной работы комбината и повышения его энергоэффективности. Автоматизированные системы управления (АСУ) позволяют в реальном времени отслеживать состояние электроснабжения и состояние оборудования. Они регулируют рабочие режимы и при необходимости могут автоматически отключать аварийные цепи для предотвращения повреждений. Кроме того, АСУ помогают в мониторинге энергоэффективности, выявляя участки с избыточным потреблением энергии. С помощью АСУ возможно оптимальное распределение нагрузки по времени, что позволяет снизить затраты на электроэнергию и улучшить условия работы оборудования.

Проектирование системы электроснабжения лесопильно-деревообрабатывающего комбината – это комплексный процесс, который требует внимательного подхода и учета множества факторов, влияющих на общую эффективность и безопасность функционирования предприятия. В первую очередь необходимо произвести расчет потребляемой мощности, что является основополагающим этапом проектирования. Этот процесс включает в себя определение необходимой мощности на основании характеристик всего оборудования, которое будет использоваться, а также анализа различных режимов работы.

Следующим важным аспектом является безопасность системы. Для предотвращения любых потенциальных аварий и защиты оборудования должно быть предусмотрено множество защитных механизмов. Установка приборов защиты, таких как автоматические выключатели и предохранители, позволяет мгновенно отключать электрическую цепь в случае перегрузки или короткого замыкания. Заземление элементов электросистемы – еще один важный аспект, который повышает уровень безопасности и защищает как оборудование, так и персонал от электрических ударов и повреждений. Также необходимо внедрение системы аварийного отключения и регулярные проверки электропроводки для обеспечения надежной работы системы. Эти меры способны

предотвратить серьезные инциденты и гарантировать безопасные условия труда для работников.

Экономичность системы электроснабжения – это не менее критичный аспект, который должен быть учтен при проектировании. Использование энергоэффективного оборудования и современных технологий, таких как системы управления энергопотреблением, позволяет значительно сократить затраты на электроэнергию. Внедрение автоматизированных систем, которые регулируют уровень потребления энергии в зависимости от текущих нужд, также способствует снижению расходов. Например, программы, которые контролируют нагрузку и перенаправляют энергоресурсы в периоды пиковой нагрузки, обеспечивают значительное повышение энергоэффективности системы электроснабжения.

В итоге проектирование системы электроснабжения требует комплексного подхода, в котором гармонично сочетаются технические, экономические и экологические аспекты. Ответственное отношение к каждому элементу системы позволяет создать эффективное, безопасное и экологически чистое производство, способное выдерживать конкуренцию на рынке.

Библиографический список

1. Павлов, С. А. Развитие системы электроснабжения деревообрабатывающего предприятия в Смоленской области / С. А. Павлов. – Иваново, 2022. – 102 с.

2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – Изд-во «ЭНАС», 2019. – 672 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СФЕРЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

В. С. Ячменников, С. В. Щегольков

Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия
(*e-mail*: *yachmennikov.wow@gmail.com*; *sfas21@mail.ru*)

С каждым годом во всем мире активнее устанавливается тенденция к осваиванию возобновляемых ресурсов в производственных процессах электроэнергетики, но генерирующие установки, относящиеся к данной категории, к которым следует причислить объекты солнечной, ветровой, приливной генерации, обладают отличными от традиционных электростанций проблемами, препятствующими их прочной интеграции в единую энергетическую систему.

Характеристикой, наиболее негативно влияющей на данный процесс, является неравномерность графиков генерации и потребления энергии от электростанций на возобновляемых видах ресурсов, что снижает гибкость в распределении энергии, а в худшем случае разбалансирует единую энергетическую систему.

Следовательно, необходимым фактором, стабилизирующим потоки мощности в энергосети, должна выступать технология, либо обеспечивающая запас электроэнергии в пики возможности ее максимальной генерации и выдачи в пики максимальной нагрузки, что имеет ограничения на текущий уровень технологического развития, либо организовав систему мониторинга и распределения электрической мощности в соответствии с фактическими потребностями потребителей и учетом сбалансированности их с генерируемой мощностью.

Способствовать эффективнейшему разрешению указанной задачи может внедрение виртуальных электростанций (ВЭС), представляющих собой комплекс приборов, позволяющих удаленно регистрировать и регулировать физические характеристики не только отдельно взятой электростанции, но целой сети с различного типа генерирующими установками как традиционного, так и возобновляемого характера по топливу.

Программное обеспечение, созданное с использованием технологий машинного обучения, распределяет электричество между потребителями, а также резервирует излишки, используя их для компенсации суточных спадов. И тут особенно важны внедренные в код элементы самообучаемого ИИ, которые учатся прогнозировать спады производства и пики потребления, оптимизируя движение энергии внутри системы.

Справедливо сравнение виртуальной электростанции с биржей продавцов и покупателей электроэнергии, которая уравновешивает спрос и предложение энергии. В результате все потребители электричества пользуются «зеленой» энергией так, как если бы она была сгенерирована классической АЭС или ТЭЦ. То есть электричество в сети есть всегда и напряжение в сети постоянное. А производители энергии гарантированно продают произведенное.

Виртуальная электростанция – всегда индивидуальный проект, поскольку структура возобновляемых источников энергии и их потребителей всегда уникальна и зависит от географических и демографических особенностей региона.

Но к базовой структуре, принадлежащей каждой ВЭС, следует отнести:

1. Источники электроэнергии ка возобновляемые, так традиционные,
2. Потребители электричества (бизнес и население),
3. Система накопления энергии (аккумуляторы),
4. Датчики системы интернет-вещей (IoT) для сбора информации и управления работой потребителей,
5. Программное обеспечение, управляющее работой энергосети.

Выстроив подобную структуру в каждом из отдельно взятых районов, можно будет обеспечить более активное развитие систем микрогенерации, часто используемых частными лицами, что улучшат гибкость и обеспеченность таких районных сетей, а также позволит этим объектам микрогенерации иметь возможность получения выгоды за выдачу излишков сгенерированной энергии в сеть.

Препятствиями скорейшей масштабной реализации технологии виртуальных электростанций до сих пор являются технологический (недостаток оборудования, регулирующего распределение мощности, напряжения, систем релейной защиты) и методологический (прежде всего определение стандартизированного подхода к проектированию ВЭС и совмещением его с индивидуальными особенностями отдельно взятой части энергосети) барьеров.

Библиографический список

1. Климовец, О. В. Виртуальные электростанции как экономически эффективный способ управления производством электроэнергии / О. В. Климовец // Современные тенденции в экономике и управлении: новый взгляд. – 2014. – № 29. – С. 175 – 180.

2. Гумерова, Г. И. Модель управления технологическими инновациями в рамках технологической конкурентоспособности новых индустриальных и индустриально развивающихся стран / Г. И. Гумерова, Э. Ш. Шаймиева // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2010. – Т. 6, № 19(76). – С. 19 – 29.

3. Барахтенко, Е. А. Современное состояние исследований в области управления интегрированными энергетическими системами / Е. А. Барахтенко, Н. И. Воропай, Д. В. Соколов // Известия Российской академии наук. Энергетика. – № 4. – С. 23.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

А. А. Адамова
О проблеме коэффициентных методов оценки технологичности …….. 3

В. В. Андреев, О. Р. Кузичкин, В. А. Шахнов, С. А. Корнев
Датчики радиационных излучений для контроля характеристик ионизирующих воздействий ……..……..…….. 5

Д. В. Андреев, В. В. Андреев, К. В. Селиванов
Контроль радиационных излучений с использованием активного чувствительного элемента сенсора радиационных излучений на основе МДП-структур …… 8

Б. В. Артемьев, А. И. Власов, В. П. Жалнин, О. Р. Кузичкин
Стенд для измерения параметров радиационных МДП-датчиков ……. 11

Д. С. Баршутина, С. Н. Баршутин
Исследование этапов разложения углеводородов в пламени ……. 13

И. Г. Волгин
Анализ методов оценивания состояния электрических систем на основе программы SCADA ……..……..……..……... 16

И. А. Воликова
История энергетических переходов в современной энергетической системе России ……. 17

Г. А. Волков, Х. Юнес, М. Хасан
Экспериментальное моделирование цифрового двойника термометра на основе кварцевого резонатора ……..……..…… 20

А. В. Гараев, Д. Д. Чернышов
Аппаратные способы уменьшения потребления электроэнергии устройств «умного дома» 22

М. А. Горбаченок, А. А. Балашов
Выбор оптимального источника тепловой энергии жилого дома …….. 24

А. Н. Грибков, Н. Г. Буранова
Алгоритм построения базы знаний системы оптимального управления теплотехнологическими аппаратами на множестве состояний функционирования …… 27

Д. С. Данилов
Приемопередатчик сотовой связи на основе GSM-модуля ……. 29

Х. Т. Дао
Исследование конструктивно-технологических решений бортовых регистраторов ……... 31

Е. П. Евстигнеева, Т. А. Фролова
Анализ новинок в системе обогрева новорожденного …… 33

М. Д. Злобин
Исследование применения приводного газотурбинного двигателя для выработки электроэнергии ……..……..…… 36

М. Д. Злобин, О. Н. Попов
Парогазовая установка на основе газопоршневого двигателя …… 38

А. И. Иванин, Р. Ю. Курносов
Применение RTL-SDR-радиоприемника с квадрифилярной спиральной антенной для цифровой обработки сигналов метеоспутников …… 40

А. А. Иванков, Д. С. Попова
Широкополосная направленная антенна системы передачи данных автоматизированных объектов теплоэнергетического комплекса ……..…… 43
А. А. Иванов, А. В. Иванов
Этапы разработки информационно-измерительных систем для определения координат и параметров движения подвижных объектов ……..……... 45
К. С. Комбаров
Утилизация теплоты на аммиачных компрессорных агрегатах ……. 47
И. С. Коробенко
Копланарные СВЧ-волноводы с низкими отражениями …… 50
Н. А. Лежнева
Информационно-измерительная система определения высоты летающего беспилотного транспортного средства на основе ГНСС ……..…….. 52
Т. А. Листопадская, А. А. Балашов
Теплопередача при свободной конвекции от вертикальной поверхности …… 55
М. А. Любавина, Т. А. Фролова
Тепловой обмен в неонатальном инкубаторе. Стабилизация температуры и влажности ... 57
Н. В. Макушина, А. А. Солодняков
Качество сборок электронных ячеек ……..……... 59
В. А. Матис
Моделирование температурных полей в двухслойной системе при гармоническом тепловом воздействии ……..……..……. 61
К. И. Милованов, С. Н. Кузьмин
Торрефикация биомассы перегретым паром ……..…….. 64
Д. А. Минаев, О. Н. Попов
Моделирование вихревого эффекта ……..…… 67
Д. Д. Миронова
Обеспечение оптимальных температурных условий в энергетических системах ……... 69
Н. Р. Моргунов, Е. В. Сеченева
Использование цифровых двойников для оптимизации теплоэнергетических процессов … 71
Т. А. Нгуен
Особенности сонификации характеристик углеродных нанотрубок с использованием специфики тональных языков ……..…….. 73
К. В. Нгуен
Система фильтрации сигнала на основе четырехполюсника ……. 75
А. Н. Нури
Применение оптической локации для технической диагностики высоковольтных кабельных линий ……..……..……. 77
П. А. Палатов
Программный модуль имитационного моделирования системы энергосберегающего управления теплотехнологическим объектом при наличии случайных возмущений ……. 80
К. С. Попов
Сравнительный анализ эффективности конвекторов различного типа ……. 82
О. А. Пугина
Вопросы применения административной ответственности за правонарушения в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) …….. 84

А. А. Расюк
Методы и средства предиктивного анализа систем с возобновляемыми источниками энергии …….…….……. 87

Н. О. Сорока, Д. С. Баршутина
Выявление длин волн инфракрасного диапазона для метода определения сахара в исходном сырье сахарных заводов ……..……... 89

В. П. Шарупич, П. В. Шарупич, С. В. Шарупич, Т. С. Шарупич
Методология расчета мощности и надежности теплоэлектроснабжения с четырьмя независимыми источниками перспективного центрального района г. Орла …… 92

Р. А. Щеголихин, С. Д. Лысых, А. А. Шитиков
Определение крутящего момента гидротурбины ……..…….. 94

Секция 2

ЦИФРОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Д. Р. Антоничев, И. Д. Рябов
Использование цифровых методов для исследования алгоритмов в системах РЭС …… 97

Д. Р. Бегдамиров
Анализ использования нетрадиционных источников энергии в энергетических системах сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области ……. 99

А. В. Виноградов
Концепция повышения надежности электроснабжения сельских потребителей и качества поставляемой им электроэнергии средствами цифровой трансформации электрических сетей 0,4…10,0 кВ ……..……... 100

Е. В. Винокуров, Р. А. Тендетник, Н. С. Сорокин, А. И. Псарев
Эволюция стандартов в трансформаторостроении: от ГОСТ 401–41 до ГОСТ 12965–67 …. 102

М. М. Волынкина, Д. Е. Широков
Применение визуальных языков при разработке системы контроля и передачи информации в энергетических системах ……..…… 105

В. А. Воробьев
Очистка от отходов продукта работы электростанций путем установки очищающих установок ……..……..…….. 107

М. С. Воронин
Основные структуры и классификация гибридных фильтрокомпенсирующих устройств ... 109

К. С. Гамбург, Д. С. Волобуев
Применение методов нечеткой логики для модернизации системы управления АЭП вентиляционной установки ……..…….. 110

М. Л. Гогорян
Применение цифровых двойников на цифровых подстанциях …….. 112

А. А. Гордеев
Оценка методов рационального потребления электрической энергии на промышленных объектах ……..……..…… 115

А. Ю. Дмитриевцев, А. А. Мельников
Анализ помехозащищенности канала связи при взаимодействии с БПЛА ……... 117

А. Ю. Дмитриевцев, А. А. Мельников
Характеристика канала связи при взаимодействии с БПЛА …….. 119

Д. Н. Земской, М. А. Каменская, Ж. А. Зарандия, С. В. Артемова
Влияние методов машинного обучения на надежность работы объектов электроэнергетики ……..……..…….. 121

А. С. Казмалы
Влияние высших гармонических составляющих на системы электроснабжения металлургических предприятий ……..…….. 123
С. В. Кириллов
Цифровая тяговая подстанция электрической железной дороги ……... 125
В. В. Клитинов, Д. О Горячев, С. Ю Евдокимова
Разработка энергоэффективного оборудования для переработки растительного сырья …. 127
А. С. Кожевников, М. Ю. Полушкин
Линия связи для управления дроном при инспекции линии электропередачи …… 128
А. С. Кожевников, М. Ю. Полушкин
Модель линии связи на основе модуляции OFDMA ……... 130
Д. М. Коробов
Повышение энергоэффективности систем уличного освещения ……... 131
С. В. Кочергин, В. Ф. Калинин
Криптографическая защита электроснабжения от кибератак …… 133
С. В. Кочергин, В. А. Шутов
Методы выявления аномального поведения в системах управления электроснабжением для повышения устойчивости к кибератакам и техническим сбоям ……. 135
А. А. Кудинова
Разработка и тестирование программно-аппаратного комплекса для оценки и анализа диэлектрической изоляции электрических кабелей …… 138
В. А. Кузнецов, С. А. Кузнецов
Имитационное моделирование последовательного прямого пуска электроприводов магистральных насосных агрегатов ……..…… 140
В. А. Кузнецов, С. А. Кузнецов
Имитационное моделирование группового прямого пуска электроприводов магистральных насосных агрегатов ……..…… 142
Р. Ю. Курносов, Т. И. Чернышова
Оценка погрешности цифровых устройств в составе информационно-измерительных систем ……..……..……... 144
Р. В Лаврухин
Повышение качества электроснабжения потребителей ПС 35/10 кВ Васильевка Воловского района с модернизацией ВЛ 10 кВ путем ввода нового оборудования …… 146
Д. А. Лагутин
Дроны и беспилотные летательные аппараты в диагностике линий электропередачи …... 148
Д. А. Лагутин, С. Н. Данилов
Модель для оценки влияния многолучевости на качество управления дроном при обследовании ЛЭП ……..……. 151
М. М. Лазуткин
Использование систем прогнозирования выработки энергии из возобновляемых источников в целях поддержания стабильного баланса мощностей в энергосети ……... 154
Н. А. Логвинов, А. Н. Шитов
Контроль расхода энергоносителей с использованием рекурсивного алгоритма фильтрации для радиодатчиков уровня жидкости …….. 155
Н. А. Логвинов, С. Н. Данилов
Обработка сигнала радиодатчика уровня и расхода жидкости в энергетических системах …. 157
А. В. Мордовин, С. П. Москвитин
Повышение точности позиционирования БПЛА при осмотре воздушных линий связи …. 159

Н. П. Моторина, Е. В. Тетеревлева
К вопросу о модернизации оборудования ПС 330 кВ Железногорская …… 161
З. Х. Нго
Функция источников бесперебойного питания в центрах обработки данных …….. 164
М. С. Осипов, Д. Р. Акмурат
Новые электротехнологии в сельскохозяйственном производстве ……... 166
Д. Ю. Остроухов, В. Н. Чернышов
Микроволновый метод и система бесконтактного неразрушающего контроля теплозащитных свойств энергосберегающих материалов …….. 168
И. И. Пасечников, М. Ф. Гасанов, В. В. Тарасов, М. В. Тарасов, В. А. Федоров
Передача речевого сообщения по низкоскоростным цифровым каналам связи LoRa …… 171
Р. М. Петрова
Оценка надежности схем электроснабжения с двухтрансформаторными подстанциями ... 173
А. Р. Петров
Определение допустимого уровня нагрева контактов низковольтных аппаратов ……... 176
М. А. Петрова
Использование автоматических систем для диагностики и обслуживания электрооборудования в целях значительного снижения простоев и затрат на ремонт …… 178
А. Ю. Петрукович
Сложности в текущей эффективной реализации электромобилей …… 180
В. В. Попов
Линеаризация характеристик УМ с целью энергосбережения …….. 182
В. В. Попов
Общий обзор передатчика с нелинейным УМ и линейным усилением …… 184
Е. В. Попрядухин, И. Д. Родичев, Н. С. Сорокин, А. Е. Псарев
К вопросу организации автоматизированного учета электроэнергии на подстанциях напряжением 35 кВ и выше ……..…….. 187
И. А. Ростунцова, Р. О. Музалевский, М. В. Карпенко, К. С. Ногина
Анализ внедрения реакторов естественной безопасности как инновационной технологии в энергетике ……..……..……. 189
Ф. С. Рыжов
Особенности высокоскоростных интерфейсов между ПЛИС и ЦАП в генераторах сигналов ……..……..…… 192
И. Д. Рябов, Д. Р. Антоничев
Использование цифровых методов для разработки адаптивного фильтра дальномерного канала ……..……..…… 194
Е. В. Сеченева, Н. Р. Моргунов
Применение технологий машинного обучения для управления электрическими сетями ... 195
А. А. Скворцов
О расчете коэффициентов передачи шлейфовых разветвлений с неоднородным диэлектрическим заполнением СВЧ-устройства на связанных прямоугольных волноводах с диэлектрическими слоями у боковых стенок его вторичного канала …… 197
А. А. Скворцов
Об учете влияния слоистого диэлектрического заполнения элементов связи электротермического СВЧ-устройства на П-волноводе с выступами на ребре на коэффициенты передачи его шлейфовых разветвлений …… 200

М. Слиманоу, В. Ф. Калинин
Использование цифрового двойника в получении электроэнергии из возобновляемых источников энергии с последующим хранением произведенного зеленого водорода …… 203
Г. Р. Соломенцев
Специальная установка солнечной энергетики в жилых домах ……. 205
Ю. Н. Татаринцев, А. П. Пудовкин
Вихретоковый метод контроля с преобразователем из трех катушек для контроля многослойных материалов ……..……... 207
А. А. Терехова, Б. С. Дмитриевский, С. Э. Эктов
Управление энергопотреблением в производственных процессах …… 208
А. А. Толстых, С. В. Смирнова
Цифровые технологии в электро- и энергоснабжении …… 211
А. А. Уютнов, М. А. Каменская, С. В. Артемова
Информационно-измерительные системы в структуре цифровых энергетических объектов ……..……..……... 213
С. А. Фролов
Правовое регулирование государственно-частного партнерства в электроэнергетике РФ ……..……..……. 215
Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносов, П. И. Карелин
Оценка метрологической исправности и метрологической надежности информационно-измерительных систем с применением информационных технологий ……. 217
И. А. Чупахин, Н. М. Гребенникова
Универсальный метод беспроводной зарядки для электротранспорта ……. 220
В. А. Шеломенцев, Р. Н. Хамитов, И. С. Сухачев, С. В. Сидоров
Прогностическая диагностика высоковольтных вводов силовых трансформаторов с использованием термографических данных и методов искусственного интеллекта …… 223
С. Р. Ястребов, Е. А. Черняк
Система электроснабжения лесопильно-деревообрабатывающего комбината …… 225
В. С. Ячменников, С. В. Щегольков
Применение виртуальных электростанций в сфере возобновляемой электроэнергетики ... 227

Научное электронное издание

VI МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

Редактор Л. В. Комбарова
Графический и мультимедийный дизайнер Т. Ю. Зотова
Обложка, упаковка, тиражирование Л. В. Комбаровой

ISBN 978-5-8265-2853-2

Подписано к использованию 21.01.2025.
Тираж 100 шт. Заказ № 5

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